

TANAH, NUTRISI, DAN PEMUPUKAN PADA TEBU

Fitriningdyah Tri Kadarwati

Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat
Jl. Raya Karangploso Kotak Pos 199, Malang
e-mail: fitriningdyah@gmail.com

Ringkasan

Tanaman tebu dapat tumbuh dalam berbagai jenis tanah, namun tanah yang baik untuk pertumbuhannya adalah yang dapat menjamin kecukupan air yang optimal, solum dalam (>60 cm), tekstur lempung berpasir dan lempung liat. Derajat keasaman (pH) tanah yang paling sesuai untuk pertumbuhan tebu berkisar antara 5,5–7,0. Tanaman tebu sangat tidak menghendaki tanah dengan kandungan Cl tinggi. Tanah dengan ketinggian < 500 m dpl. dan curah hujan 1.000–1.300 mm per tahun merupakan lingkungan yang baik untuk tebu. Nitrogen merupakan salah satu unsur utama yang sangat diperlukan oleh tanaman tebu untuk pertumbuhan vegetatif dan meningkatkan hasil serta kualitasnya. Kekurangan nitrogen dapat menyebabkan pertumbuhan tanaman terhambat seperti batang dan daun mengecil. Namun kelebihan nitrogen dapat memperpanjang pertumbuhan vegetatif, memperlambat pemasakan, mengurangi kadar gula, mudah roboh, lebih peka terhadap hama dan penyakit. Untuk meningkatkan efisiensi penyerapan nitrogen, perlu diperhatikan dosis, frekuensi, cara, dan waktu aplikasi pupuk N. Ketersediaan P-tanah dan aplikasi pupuk P sangat memperbaiki pertumbuhan tebu, hasil tebu, rendemen, dan kualitas gula yang dihasilkan. Indeks luas daun dan produksi bahan kering meningkat pada aplikasi pupuk P dosis tinggi. Distribusi pertumbuhan akar tanaman tebu ke arah vertikal dan horizontal juga berhubungan erat dengan ketersediaan P-tanah. Aplikasi pupuk P dosis tinggi dalam strategi pemupukan berimbang sangat meningkatkan hasil tebu dan hasil gula. Perbaikan ketersediaan P-tanah, dapat meningkatkan hasil tebu hingga 31% dibandingkan dengan kondisi kontrol. Pemberian kalium melalui pemupukan pada tebu sering dilakukan. Pada kondisi kadar K tanah sangat tinggi tidak perlu lagi diberikan pupuk K, karena K tersedia dalam tanah dalam bentuk K dapat ditukarkan sangat efektif diserap oleh akar. K sangat dibutuhkan pada fase pemanjangan batang, maka pupuk K dapat diberikan pada saat bersamaan tanam atau pada saat tanaman tebu berumur 1–2 bulan. Peningkatan hasil tebu akibat pemupukan kalium, ada kalanya diikuti oleh peningkatan rendemen, dan ada kalanya tidak diikuti oleh peningkatan rendemen. Penyerapan kalium oleh tanaman tebu yang berlebihan dapat mereduksi pembentukan sukrosa selama proses penggilingan tebu.

Kata kunci: Tebu, tanah, nutrisi, pemupukan

Soil, Nutrition, and Fertilization of Sugarcane

Summary

Sugarcane plant can grow in different types of soil. The best soil for growing sugarcane is one that ensure optimal water availability, with deep solum (>60 cm), land texture of sandy loam and clay. Acidity (pH) of the soil most suitable for cane growth is ranged from 5.5 to 7.0. Sugarcane plants require soil with a very high Cl content. Elevation of less than 500 meters

above sea level with rainfall 1000–1300 mm per year is good living for sugarcane. Nitrogen is one of major element required by sugarcane plants for vegetative growth, increasing yield and quality. Nitrogen shortage can cause stunted plant growth in which the stem and leaf grow shrunked. However, excess nitrogen can cause poisoning, prolonging vegetative growth, slow ripening, reduce blood sugar, more susceptible to pests and diseases. To improve the efficiency of absorption of nitrogen, it is needed to know the dose, frequency, manner and time of application of N fertilizer. Availability of P-soil and P applied fertilizer significantly improve the growth of sugarcane, yield and sugar content. Sugarcane leaf area index and dry matter production increased in high-dose P fertilizer applications. Distribution of the sugarcane plant root growth towards the vertical and horizontal angles are also closely linked to the availability of P-land. P fertilizer application in high doses for balanced fertilization strategy greatly increases the yield of sugarcane and sugar yield. Improvement of P-soil availability can increase the yield of sugarcane by 31% compared with the control condition. Giving potassium through fertilization in sugarcane often increases sugarcane and sugar yield. In condition of very high soil K level there is no longer need to apply K fertilizer, because available K in the soil in the form of exchangeable K can be very effectively absorbed by the roots. K is take a lot on the stem at elongation phase, therefore applying K fertilizer can be done at the same time at planting or at the time of sugarcane crops 1–2 months old. Increased yield of sugarcane as a result of potassium fertilization, sometimes followed by an increase in yield, and not accompanied by an increase in yield. The excessive absorption of potassium by sugarcane crop from the soil can reduce sucrose recovery during sugarcane milling process.

Keyword: Sugarcane, nutrients, fertilization

Pendahuluan

Dalam dua dasa warsa terakhir, sebagai akibat persaingan dengan tanaman pangan, penanaman tebu bergeser dari lahan sawah ke lahan tegalan (kering). Akibatnya, luas areal lahan kering meningkat cukup tajam ditambah setelah beroperasinya pabrik gula di luar Jawa yang menggunakan lahan kering/tegalan (Suhadi *et al.* 1988). Hal ini karena lahan kering umumnya kurang subur. Pergeseran lahan tebu ke lahan kering memberikan konsekuensi terhadap penurunan produktivitas tebu. Hasil tebu lahan kering setara dengan 0,5 hingga 0,7 kali tebu sawah (Toharisman *et al.* 1991). Ini berarti untuk menggantikan satu satuan luasan sawah diperlukan sekitar 1,5 hingga 2 kali luasan lahan kering.

Menurut Hidayat dan Mulyani (2002) lahan kering didefinisikan sebagai suatu hamparan lahan yang tidak pernah digenangi atau tergenang air pada sebagian waktu dalam setahun dan hanya mengandalkan dari air hujan. Budidaya tebu lahan kering bercirikan pada teknik pengelolaan tebu tanpa pengairan (tadah hujan), pengolahan tanah dengan sistem bajak, tanpa saluran drainase yang intensif, serta penggunaan tenaga kerja yang terbatas. Kendala hidrologi di lahan kering adalah keterbatasan jumlah air dan penyebarannya (Pawirosemadi 2011).

Penanaman tebu di lahan kering memerlukan perhatian yang lebih seksama mengingat masalah yang dijumpai di lahan ini lebih banyak dibanding lahan sawah. Kondisi yang sering dijumpai di lahan kering, antara lain miskin hara, jumlah air terbatas, rawan erosi, gulma, dan hama. Tanpa unsur hara atau nutrisi dan air yang cukup tanaman tebu tidak mungkin tumbuh normal (Ahmed *et al.* 2005).

Ketersediaan unsur hara pada pertumbuhan tanaman tebu merupakan salah satu faktor yang menyebabkan tinggi atau rendahnya produksi dan rendemen. Menurut Robinson *et al.* (2007), hasil tebu yang optimum dapat dicapai apabila ketersediaan hara makro primer (N, P, K), hara makro sekunder (Ca, Mg, S) dan hara mikro (Cu, Zn) dalam tanah lebih tinggi dari batas kritisnya. Hara makro dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang banyak, sedangkan hara mikro dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang sedikit.

Tulisan ini mengulas tentang tanah, nutrisi atau hara khususnya hara makro N, P, dan K dan pemupukan tanaman tebu agar pembaca lebih memahami permasalahan tersebut khususnya tebu lahan kering.

Tanah untuk Tanaman Tebu

Tanah merupakan lapisan teratas dari bumi, terbentuk dari batuan yang mengalami pelapukan. Proses pelapukan ini terjadi dalam waktu yang lama bahkan hingga ratusan tahun. Pelapukan batuan menjadi tanah juga dibantu dengan beberapa mikroorganisme, perubahan suhu, dan air sehingga jenis tanah dari satu daerah dengan daerah lainnya berbeda tergantung dari komponen yang ada di dalam daerah tersebut (Kalsim dan Sapei 2003). Komponen di dalam tanah yang baik untuk tanaman adalah mineral 50%, bahan organik 5%, dan air 25%

Tanah yang sesuai untuk tanaman tebu adalah tanah yang bertekstur lempung. Keadaan tanah ini dapat mempengaruhi kadar sukrosa dalam tebu. Beragam jenis tanah di lahan kering, namun tanah vertisol, ultisol, dan inceptisol merupakan tanah-tanah yang dominan di lahan kering di Indonesia (Hidayat dan Mulyani 2002). Tebu yang ditanam di tanah vertisol memiliki pertumbuhan kurang baik karena di samping sangat miskin unsur hara, sifat fisiknya sangat jelek dan teksturnya sangat berat, sedangkan tebu yang ditanam di tanah inceptisol cukup baik karena tanah ini merupakan jenis tanah yang masih muda belum mengalami perkembangan lanjut dan kesuburan sedang (Perez dan Melgar 2000; Ramadhan *et al.* 2014).

Persyaratan Iklim dan Tanah untuk Tanaman Tebu

Secara umum lahan yang sesuai untuk tebu antara lain tipe iklim C dan D (Oldeman), topografi datar sampai berlereng landai (lereng <15%) dan memiliki kedalaman tanah cukup dalam (>1m) (Djaenudin *et al.* 2003 dan Mulyadi *et al.* 2009). Menurut Indrawanto *et al.* (2010), tanaman tebu tumbuh baik pada kondisi iklim tropis dan sub tropis dengan kondisi tanah yang tidak terlalu lembab dan tidak terlalu kering. Pertumbuhan tanaman tebu dipengaruhi juga oleh kondisi tanah, curah hujan, suhu, kelerengan dan pH.

Tanah dengan ketinggian kurang dari 500 m dpl dengan curah hujan 1.000–1.300 mm per tahun termasuk dalam kondisi tanah yang baik (Mulyadi 2013). Dengan curah hujan 1.000–1.300 mm tahun⁻¹, tanaman tebu memperoleh kecukupan dalam kebutuhan air tanaman. Air yang ada di dalam tanah digunakan tanaman untuk tumbuh dan untuk melembabkan tanah dan lingkungan. Kelembaban tersebut mempengaruhi suhu yang ada pada suatu lahan. Suhu ideal untuk pertumbuhan tanaman tebu adalah 24°–34°C, karena pada suhu tersebut pembentukan sukrosa pada tebu menjadi optimal (Indrawanto *et al.* 2010).

Tanah yang baik untuk tebu adalah tanah bersolum dalam (>60 cm), lempung, baik yang berpasir maupun liat. Derajat keasaman (pH) tanah yang paling sesuai untuk pertumbuhan tebu berkisar 5,5–7,0. Tanah dengan pH di bawah 5,5 kurang baik bagi tanaman tebu karena sistem perakaran tidak dapat menyerap air maupun unsur hara dengan baik, sedangkan tanah dengan pH tinggi (di atas 7,0) sering mengalami kekurangan unsur P karena mengendap sebagai kapur fosfat, dan tanaman tebu akan mengalami “chlorosis” daunnya karena defisiensi unsur Fe. Tanaman tebu sangat tidak menghendaki tanah dengan kandungan Cl yang tinggi (Nuryanti 2007; Mulyadi *et al.* 2009).

Secara umum persyaratan iklim dan tanah untuk pertumbuhan tanaman tebu dan estimasi produksi tebu dikemukakan oleh Sys *et al.* (1993) dan Djaenudin *et al.* (2011) selengkapnya disajikan pada Tabel 1.

Kemiringan lereng optimal untuk pertanaman tebu tidak lebih dari 3%, dengan toleransi maksimum 15% dan bentuk lahan yang relatif datar sampai berombak lemah. Pengembangan tebu ke lahan kering memerlukan teknologi untuk mencapai kesesuaian bagi tanaman tebu.

Tabel 1. Persyaratan penggunaan lahan untuk tanaman tebu

Persyaratan penggunaan / karakteristik lahan	Kelas kesesuaian lahan			
	S1	S2	S3	N
Klas kesesuaian lahan				
Estimasi produktivitas (%) dari kemampuan produktivitas tebu optimal	>85–100	>60–85	>40–60	0–40
Temperatur (tc)				
Temperatur rerata (°C) harian	24–30	22–24/30–32	21–22/32–34	<21/>34
Ketersediaan air (wa)				
Curah hujan (mm)	>1.600	1.100–1.600	800–1.100	<800
Kelembaban (%)	≤70	>70		
Tipe iklim	C1, C2	B1, B2, C3	D1	A, D2, E
Ketersediaan oksigen (oa)				
Drainase	Baik, sedang	Agak terhambat	Terhambat, agak cepat	Sangat terhambat, cepat
Nilai Ks (permeabilitas) mm/hari	50–500 (sedang)	>500 (tinggi)	5–50 (lambat)	<5 (sangat lambat)
Media perakaran (rc)				
Tekstur	L, Si, SiL, SCL, CL	LS	SiC	G, C, S, SC, AC >55
Bahan kasar (%)	<15	15–35	35–55	<25
Kedalaman tanah (cm)	>75	50–75	25–50	
Retensi hara (nr)				
KTK total (cmol/kg tanah)	>5	3,5–5	2-3,5	<2
Kejuanh basa (%)	>50	35–50	<35	
pH H ₂ O	5,5–6,5/ 6,5–7,5	5,0–5,5/ 7,5–8,0	4,5–5,0/ 8,0–8,5	<4,5
C-organik (%)	>0,4	≤ 0,4	>0,8	
N (%)	>0,2	0,1–0,2	<0,1	
P (ppm)	>45	25–45	3–25	<3
K (ppm)	>60	30–60	<30	
Bahaya erosi (eh)				
Lereng (%)	<8	8–16	16–30	>30
Bahaya erosi	Sangat rendah	Rendah-sedang	Berat	Sangat berat
Bahaya banjir (fh)				
Genangan	F0	-	F1	>F1
Penyiapan lahan (lp)				
Batuan di permukaan (%)	<5	5–15	15–40	>40
Singkapan batuan (%)	<5	5–15	15–25	>25

Keterangan :

S1 = sangat sesuai; S2 = cukup sesuai; S3 = sesuai marginal; N = tidak sesuai

L = loam; Si = silt; SiL = Silt loam; SCL = Sandy Clay loam; CL = Clay Loam; LS = Loamy Sand;

SiC = Silty Clay; C = Clay; S = Sand; SC = Sandy Clay; F0 = *no flood*, F1 = *slight flood*

Sumber: Sys *et al.* (1993); Djaenudin *et al.* (2011)

Tekstur tanah yang sesuai bagi tanaman tebu berdasarkan sifat olah tanah adalah sedang sampai berat atau menurut klasifikasi tekstur tanah (Buckman dan Brady 1960) yaitu: lempung, lempung berpasir, lempung berdebu, liat berpasir, liat berlempung, liat berdebu dan liat atau yang tergolong ber tekstur agak kasar sampai halus. Menurut Sugiyarta (2012), kemasaman tanah (pH) yang terbaik untuk tanaman tebu adalah pada kisaran 6,0–7,0 namun masih dapat tumbuh pada kisaran pH 4,5–7,5. Kesuburan tanah (status hara), berdasarkan hasil penelitian P3GI yang sesuai untuk tanaman tebu adalah N total >1,5 ppm P₂O₅ tersedia >75 ppm, K₂O tersedia >150 ppm, dan kejenuhan Al <30 %.

Tipologi Lahan untuk Tanaman Tebu

Pemanfaatan lahan harus didasarkan pada kesesuaian lingkungan dengan persyaratan tumbuh tebu (varietas tebu), sehingga dapat diterapkan teknologi andal yang tepat guna. Informasi daya dukung lahan yang dibutuhkan tidak sebatas pada luasannya, tetapi juga perlu dukungan informasi mengenai karakteristik agroekologinya, khususnya mengenai kesuburan tanah dan sifat fisik lahan. Sugiyarta (2012) mengemukakan bahwa karakteristik lahan yang sangat menentukan kesesuaiannya dengan tipe kemasakan varietas tebu adalah tekstur, drainase, dan pengairan. Lebih jauh dikemukakan bahwa faktor lingkungan utama yang berpengaruh terhadap produktivitas tebu adalah tingkat kesuburan tanah untuk mendukung ketersediaan unsur hara dan oksigen serta iklim utamanya ketersediaan air, berkaitan dengan masa tanam dan panen. Pengelolaan lahan tebu dipengaruhi oleh keragaman tanah, maka untuk memudahkan pengelolaan varietas dengan kondisi lingkungan, dilakukan pengelompokan terhadap kondisi tipologi lahan (spesifik lokasi). Tujuan dilakukan pengelompokan adalah untuk memudahkan pengelolaan lahan dalam penerapan teknologi budi daya varietas yang sesuai.

Tipologi lahan merupakan pembagian area penanaman (lahan) kebun berdasarkan tekstur, ketersediaan air, dan drainase. Secara rinci karakteristik lahan untuk menyesuaikan tipologi lahan disajikan pada Tabel 2.

Dari tiga faktor yang masing-masing memiliki dua taraf pembeda didapatkan delapan kombinasi katagori tipologi yaitu: BPL, BHL, RPL, RHL, BPJ, BHJ, RPJ, dan RHJ (Tabel 3).

Tabel 2. Karakter lahan untuk menyusun tipologi lahan

Karakteristik lahan	Kriteria	Penjelasan
1) Tekstur tanah	a) Tekstur Berat (B)	Tanah menunjukkan kandungan liat yang tinggi, terjadi retakan tanah >5 cm pada musim kemarau.
	b) Tekstur Ringan (R)	Kandungan pasir cukup tinggi hingga jenis tanah berlempung.
2) Ketersediaan air	a) Berpengairan (P)	Mendapatkan air dari irigasi, pompa 3 kali atau lebih pada musim kemarau, dan tanaman dengan varietas masak tengah lambat masih bisa tahan tetap segar hingga September.
	b) Tadah hujan (H)	Sepenuhnya mengandalkan air hujan atau hanya dapat diairi kurang dari 3 kali. Varietas masak awal sudah mengering pada Agustus–September.
3) Drainase	a) Lancar (L)	Tidak terjadi genangan air di lahan pada musim hujan;
	b) Jelek (J)	Pada musim penghujan terdapat genangan lahan secara kontinu selama 3 hari atau lebih.

Tabel 3. Tipologi lahan untuk tanaman tebu

1)	BPL	:	tekstur tanah berat, pengairan semi teknis/teknis, drainase lancar
2)	BPJ	:	tekstur tanah berat, pengairan semi teknis/teknis, drainase jelek
3)	BHL	:	tekstur tanah berat, tadah hujan (tidak ada pengairan), drainase lancar
4)	BHJ	:	tekstur tanah berat, tadah hujan (tidak ada pengairan), drainase jelek
5)	RPL	:	tekstur tanah ringan sampai sedang, pengairan semi teknis/teknis, drainase lancar
6)	RPJ	:	tekstur tanah ringan sampai sedang, pengairan semi teknis/teknis, drainase jelek
7)	RHL	:	tekstur tanah ringan sampai sedang, tadah hujan (tidak ada pengairan), drainase lancar
8)	RHJ	:	tekstur tanah ringan, tadah hujan (tidak ada pengairan), drainase jelek

Sumber: Sugiyarta 2012

Setiap tipe wilayah disiapkan 2 varietas yang sesuai dikembangkan pada wilayah tersebut.

Peta tipologi lahan di beberapa wilayah pengembangan tebu telah dihasilkan oleh Kadarwati *et al.* (2013) yaitu di Jawa Timur (Tuban, Lamongan, Bojonegoro, Bangkalan dan Sampang) dan Jawa Tengah (Blora, Rembang, dan Kudus) dan Sulawesi Selatan (Takalar dan Bone). Sebagai contoh ditampilkan peta tipologi lahan dari Kabupaten Rembang (Gambar 1). Peta tipologi lahan tersebut memberikan informasi tentang kondisi pengairan (bisa diairi atau tidak), tekstur tanah, drainase tanah dan kadar air tanah yang tersedia bagi tanaman tebu.

Dari peta tipologi lahan (Gambar 1) dan persyaratan tumbuh suatu tipe kemasakan varietas tebu, yang keduanya di “overlay” atau tumpang tindih maka dapat disusun peta rekomendasi kesesuaian varietas dengan tipologi lahan. Sebagai contoh, peta rekomendasi tersebut seperti pada Gambar 2. Khusus untuk di Kabupaten Rembang direkomendasikan varietas tebu dengan tipe kemasakan awal–tengah (warna ungu) dan tipe kemasakan tengah–lambat (warna toska). Adapun total luasan masing-masing rekomendasi kesesuaian varietas dengan tipologi lahan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Luasan rekomendasi tipe kemasakan varietas untuk tanaman tebu di Kabupaten Rembang

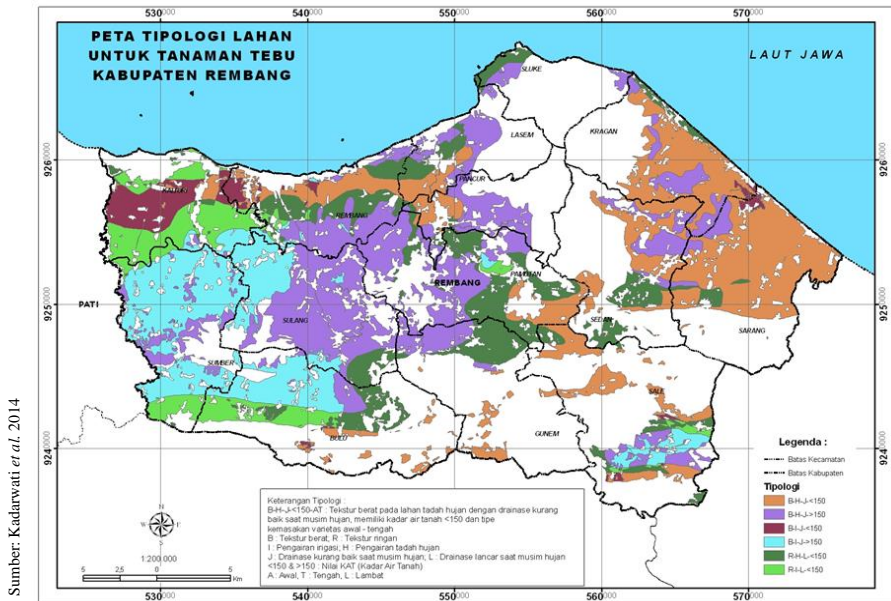
Rekomendasi tipe kemasakan varietas tebu	Luas (Ha)
Awal–tengah	24 729
Tengah–lambat	29 988
Grand total	54 717

Sumber: Kadarwati *et. al.* (2013)

Nutrisi untuk Tanaman Tebu

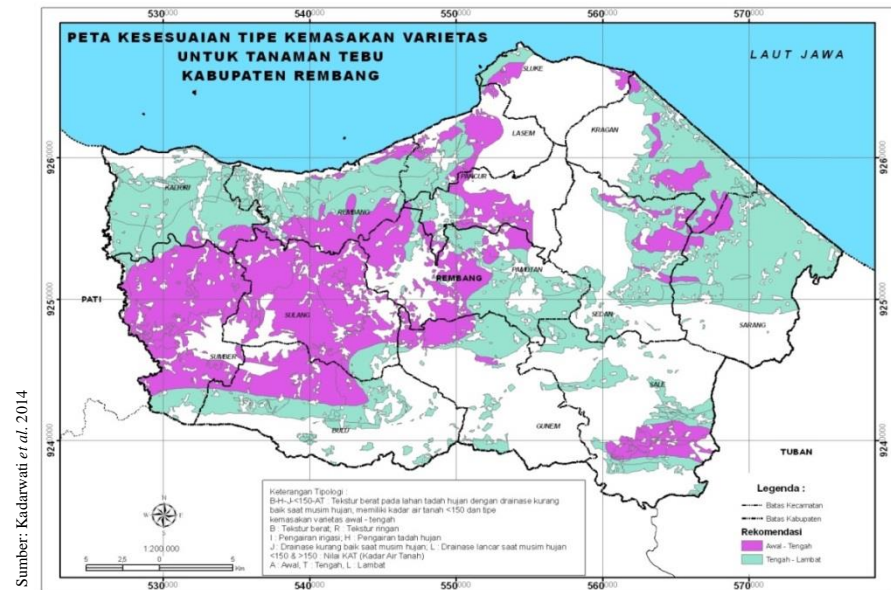
Pengertian yang luas, nutrisi atau hara tanaman adalah bahan-bahan yang diperlukan oleh tanaman untuk pembentukan isi sel-selnya, ditambah bahan-bahan anorganik atau mineral yang diserap dari dalam tanah (Mengel dan Kirby 1982). Pembahasan selanjutnya akan difokuskan pada hara mineral yang diserap tanaman dari dalam tanah. Kingston (2014) menyebutnya dengan unsur hara esensial bagi tanaman tebu dan membaginya kedalam unsur makro primer (N, P, K), unsur makro sekunder (Ca, Mg, S dan bisa juga Si) dan unsur mikro (Cu, Zn, Fe, Mn, B, Mo, dan Cl).

Menurut Robinson *et. al.* (2007), hasil tebu yang optimum dapat dicapai apabila ketersediaan hara makro primer, hara makro sekunder dan hara mikro terutama Cu, Zn dalam tanah lebih tinggi dari nilai kritisnya. Hara makro dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang banyak, sedangkan hara mikro dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang sedikit. Kadar hara dalam tanah diketahui bila dilakukan analisis tanah atau uji tanah. Hasil uji tanah sangat diperlukan dalam pengelolaan hara dan pemupukan bagi tanaman tebu. Tabel 5 memperlihatkan kriteria kadar hara utama tanah untuk menentukan kecukupan hara pada tanaman tebu (Hakim dan Arifin 2011).



Sumber: Kadarwati *et al.* 2014

Gambar 1. Peta tipologi lahan untuk tanaman tebu di Kabupaten Rembang



Sumber: Kadarwati *et al.* 2014

Gambar 2. Peta rekomendasi tipe kemasakan varietas untuk tanaman tebu di Kabupaten Rembang

Kadar hara N tanah dengan kriteria kurang ($<0,1$ %) harus dilakukan pemupukan dengan dosis tinggi, lahan kering untuk tanaman tebu biasanya pada kisaran angka tersebut bahkan jauh di bawahnya. Demikian juga dengan kadar P tanah, dengan nilai P tersedia kurang dari 25 ppm merupakan kriteria kurang untuk tanaman tebu dan biasanya harus ditambah melalui pemupukan. Sedangkan kadar K tanah yang dianggap kurang adalah apabila nilai kadar K tanah kurang dari 0,2 me/100 g tanah.

Tabel 5. Kriteria kadar hara utama tanah untuk pengelolaan tebu di Indonesia

Kategori	Kadar N tanah (%)	Kadar P tanah (ppm)	Kadar K tanah (me/100g)
Sangat baik	$>2,0$	>50	$>0,4$
Baik	1,0–2,0	25–50	0,3–0,4
Sedang	0,1–1,0	15–25	0,2–0,3
Kurang	$<0,1$	<25	$<0,2$

Sumber: Hakim dan Arifin (2011)

Selain kadar hara dalam tanah, status hara dalam tanaman tebu diperlukan untuk melengkapi hara tanah dalam pengelolaan hara. Salah satu cara untuk evaluasi status hara tanaman yaitu pendekatan *Critical Nutrient Level* (CNL) yang sering dikenal dengan nilai kritis. Nilai kritis adalah “konsentrasi hara” di bawah mana produksi tanaman mulai terganggu (Anderson dan Bowen 1990). Nilai kritis hara ini mengacu pada bagian tanaman tertentu pada fase pertumbuhan tertentu, dimana kehilangan produksi mencapai 5–10%. Kisaran optimum hara adalah konsentrasi hara tanaman yang dianggap optimum bagi produksi. Anderson dan Bowen (1990) mengelompokkan nilai kritis hara pada tanaman tebu seperti pada Tabel 6. Semua kadar hara pada tanaman/bagian tanam tebu harus diusahakan pada kisaran optimum agar produksi tebu yang dihasilkan optimum.

Tebu memerlukan hara dalam jumlah yang tinggi untuk dapat tumbuh secara optimum. Di dalam 1 ton hasil panen tebu terdapat 1,95 kg N; 0,30–0,82 kg P_2O_5 dan 1,17–6,0 kg K_2O yang berasal dari dalam tanah (Hunsigi 1993; Halliday dan Trenkel 1992). Ini berarti pada setiap panen tebu akan terjadi pengurasan hara N, P, dan K yang sangat besar dari dalam tanah. Oleh karena itu pada sistem budi daya tebu diperlukan pemupukan N, P dan K yang optimal agar hasil panen tebu tetap tinggi dan daya dukung tanah dapat dipertahankan (Ismail *et. al.* 2009).

Tabel 6. Nilai kritis dan kisaran optimum hara pada daun tebu

Hara	Nilai Kritis (%)	Kisaran Optimum (%)
Nitrogen (N)	1,80	2,00–2,60
Phosphorus (P)	0,19	0,22–0,30
Potassium (K)	0,90	1,00–1,60
Calcium (Ca)	0,20	0,20–0,45
Magnesium (Mg)	0,12	0,15–0,32
Sulfur (S)	0,13	0,13–0,18
Silicon (Si)	0,50	>0,70
mg/kg		mg/kg
Iron (Fe)	-----	50–105
Manganese (Mn)	-----	12–100
Zinc (Zn)	15	16–32
Copper (Cu)	3	4–8
Boron (B)	4	15–20
Molybdenum	0,05	-----

Sumber: Anderson dan Bowen (1990)

Hara Nitrogen

1. Sumber N dalam tanah

Senyawa nitrogen di dalam tanah terdapat dalam 2 bentuk yaitu yang pertama adalah nitrogen organik seperti protein, asam amino, urea. Bentuk kedua yaitu nitrogen anorganik termasuk di dalamnya ammonium (NH_4), gas amonia (NH_3^+), nitrit (NO_2^-), dan nitrat (NO_3^-). Dari kedua bentuk senyawa nitrogen tersebut ada yang larut dalam air dan ada yang tidak, ada yang bersifat aktif bergerak dan ada yang bersifat tidak aktif bergerak, dan ada yang dapat diserap langsung oleh tanaman dan ada yang tidak (Trautmann *et al.* 2007). Nitrogen di dalam tanah sendiri terbentuk secara terus-menerus melalui reaksi fisika, kimia dan biologi yang kompleks dan biasa disebut daur nitrogen. Nitrogen diserap oleh tanaman dalam bentuk NO_3^- (nitrat) atau NH_4^+ (amonium). Senyawa nitrat umumnya bergerak menuju akar karena aliran massa, sedangkan senyawa amonium karena bersifat tidak aktif bergerak sehingga selain melalui aliran massa juga melalui difusi (Buckman dan Brady 1982).

Tanaman tebu memerlukan unsur hara dalam jumlah yang tinggi untuk dapat tumbuh dan berproduksi dengan baik. Satu ton hasil panen tebu terdapat sekitar 2,00 kg N yang berasal dari dalam tanah (Kingston 2014). Oleh karena itu diperlukan pemupukan N yang cukup agar hasil panen tebu tetap tinggi dan kesuburan tanah dapat dilestarikan. Penambahan pupuk N karena

hara N yang tersedia dalam tanah berasal dari luar tanah, yaitu: (1) bahan organik sisa panen tanaman, (2) fiksasi N dari udara oleh mikroba tanah, (3) air irigasi, dan (4) pupuk N (Otto *et al.* 2014).

2. Peranan N pada tebu

Nitrogen merupakan salah satu unsur hara makro primer yang sangat diperlukan oleh tanaman tebu, sehingga seringkali diperlukan pemupukan N untuk mengoptimalkan pertumbuhan dan hasil tebu. Peranan nitrogen bagi tanaman tebu adalah (a) meningkatkan produksi dan kualitasnya, (b) untuk pertumbuhan vegetatif (pertumbuhan tunas, daun, batang). Pertumbuhan vegetatif berarti mempengaruhi produktivitas (Gava *et al.* 2008; Pawirosemadi 2011 dan Kingston 2014).

Tanaman tebu menyerap nitrogen dalam bentuk nitrat (NO_3^-) dan amonium (NH_4^+). Efisiensi relatif absorpsi amonium dan nitrat dipengaruhi oleh pH tanah dan potensial redoks tanah. Pupuk nitrat bersifat sangat mudah berpindah, cepat diserap dalam bentuk ion nitrat (NO_3^-), dan mudah tercuci. Nitrogen dalam bentuk nitrat dapat bergerak ke atas bersama air kapiler selama musim kemarau. Amonium tidak mudah tercuci karena kation ini diikat oleh partikel liat (*clay*), pengikatan ini sedemikian rupa sehingga tidak mudah tercuci, tetapi masih tersedia bagi tanaman (Otto *et al.* 2014).

Unsur N sangat mobile dalam tanaman, dialihtempatkan dari daun yang tua ke daun yang muda. Kadar nitrogen dalam jaringan tanaman adalah 2%–4% berat kering. Kadar nitrogen dalam tanah sangat bervariasi tergantung pada pengelolaan dan penggunaan lahan tersebut. Pertumbuhan optimum selama fase vegetatif diperoleh bila pemupukan N diimbangi dengan pemupukan unsur lain. Sebagai contoh, penyerapan nitrat untuk sintesis menjadi protein dipengaruhi ketersediaan K^+ (Kingston 2014).

Kecukupan hara nitrogen sangat menentukan pertumbuhan tanaman. Indikatornya terlihat jelas pada ukuran daun, tinggi batang, luas permukaan daun dan jumlah anakan tanaman tebu. Defisiensi N sering terjadi pada tanaman tebu yang ditanam pada tanah-tanah berpasir. Aplikasi pupuk N secara bertahap pada tanah berpasir dilakukan selama musim pertumbuhan tanaman tebu untuk mencapai produksi tebu yang optimal (Sime 2013). Kegagalan menyuplai hara N yang kurang pada fase pertumbuhan kritis mengakibatkan tanaman kerdil, pemasakan prematur, dan hasil biomasa serta hasil gula menurun (Muchovej dan Newman 2004). Selain itu, kekurangan unsur ini membuat pertumbuhan tanaman merana, ukuran daun mengecil, kurus dan berwarna kekuningan.

Kapasitas fotosintesis tanaman tebu sangat dipengaruhi oleh ketersediaan N tanah. Nitrogen dapat mempengaruhi laju fotosintesis per unit luas daun, mengubah konsentrasi pigmen fotosintesis atau enzim-enzim fotosintesis. Ada hubungan erat antara laju fotosintesis daun dengan kadar N daun. Akan tetapi seringkali efek utama nitrogen terhadap fotosintesis melalui penambahan total luas daun dan penyerapan cahaya. Sebagian besar N dari aplikasi pupuk diakumulasikan dalam vakuola daun tebu dan dalam akar tebu. Akumulasi N dalam daun dan akar ini menimbulkan efek osmotik, yang mengakibatkan penyerapan air menjadi lebih baik dan penggunaan air lebih efisien. Pada kondisi lengas tanah yang bagus, daun-daun tebu menjadi kaku dan stomatanya membuka lebar, sehingga dapat mempercepat transpirasi. Aktivitas enzim reduktase nitrat dalam daun tebu meningkat dengan adanya pemupukan nitrogen. Enzim ini berperan dalam asimilasi nitrat menjadi pigmen (Amaliotis *et al.* 2004).

Tabel 7 memperlihatkan bahwa pemupukan N tanaman tebu dapat meningkatkan pembentukan komponen kloroplast seperti enzim asimilasi karbon, dan kompleks protein-klorofil per unit area, meningkatkan total karotenoid pada daun terutama pada kondisi intensitas radiasi tinggi. Semua efek positif ini dipadukan dengan efek N terhadap peningkatan luas daun sehingga meningkatkan fotosintesis tanaman. Pemupukan N yang cukup dapat meningkatkan luas daun tanaman tebu, yang selanjutnya akan memperbaiki intersepsi cahaya untuk meningkatkan fotosintesis (Amaliotis *et al.* 2004). Lebih lanjut dikemukakan bahwa peningkatan pemupukan N akan meningkatkan transpirasi tanaman yang pada gilirannya dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air (Tabel 7).

Tabel 7. Pengaruh pupuk N terhadap kadar N-daun tebu, kadar klorofil (SPAD), fotosintesis, transpirasi dan efisiensi penggunaan air tanaman tebu

Perlakuan	Nitrogen (%)	Kadar Klorofil	Fotosintesis ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{S}^{-1}$)	Transpirasi	Efisiensi Penggunaan air ($\mu\text{mol.mmol}^{-1}$)
0 N	0,81	23,37	26,26	2,92	9,02
1/6 N	1,54	32,62	20,74	1,62	15,15
1/3 N	1,59	33,22	18,30	1,63	11,20
½ N	1,84	35,23	24,60	2,39	10,29
1 N	1,92	37,43	26,14	2,61	10,02
2N	2,28	39,25	29,78	3,04	9,79

Sumber: Amaliotis *et al.* 2004

Gejala defisiensi nitrogen pada tebu antara lain: a) daun berwarna kuning pucat, b) ruas lebih pendek, c) pertumbuhan daun semakin lambat, d) batang lebih pendek dan kurus, e) akar lebih panjang, tetapi lebih kecil ukur-

annya, f) jika defisiensi berkelanjutan, ujung daun dan daun yang terbawah menjadi nekrosis (Anderson dan Bowen 1990; Kingston 2014). Lebih lanjut dikemukakan bahwa kelebihan unsur nitrogen dapat berakibat negatif juga yakni: a) efek racun untuk tanaman, b) pertumbuhan vegetatif memanjang, c) memperlambat kemasakan, d) mengurangi kadar gula, e) mengurangi kualitas jus (nira), f) menambah nitrogen yang larut pada jus dalam stasiun klarifikasi, g) mudah roboh, h) lebih mudah terserang hama dan penyakit.

Kehilangan hara N dari lahan tebu dapat terjadi karena penguapan amonia setelah pupuk N diaplikasikan ke tanah. Kehilangan N pada aplikasi pupuk N di permukaan tanah mencapai 59,1%, sedangkan kehilangan N dari aplikasi pupuk N yang dibenamkan sebesar 45,6. Pembenaman pupuk urea ke dalam tanah dapat mengurangi kehilangan penguapan amonia dari 37,3% menjadi 5,5% dari total pupuk N (Fortes *et al.* 2013).

Hara Fosfor (P)

1. Sumber P dalam tanah

Matin *et al.* (1997) dan Bokhtiar and Sakuari (2003) mengemukakan bahwa kandungan P total di lapisan olah tanah (20 cm) sebagian besar tanah berkisar antara 2.000 hingga 3000 kg P₂O₅ per hektar. Delapan puluh persennya berada dalam bentuk organik, dan sisanya dalam bentuk P-terlarut. Unsur P tersedia bagi tanaman hanya merupakan sebagian kecil dari keseluruhan, dan biasanya berada dalam kadar 0,01–0,1 ppm di dalam larutan tanah.

Pengendalian P-tersedia dalam tanah sangat menentukan hasil tebu dan gula. Perkembangan akar tebu menjadi lambat kalau suplai P-tersedia terkendala, sehingga muncul gangguan dalam proses penyerapan air dan hara oleh akar tanaman (Pawirosemadi 2011). Ketersediaan P-tanah dan aplikasi pupuk P sangat memperbaiki pertumbuhan tebu, hasil tebu dan kualitas rendemennya. Indek luas daun tanaman tebu dan produksi bahan kering meningkat pada aplikasi pupuk P dosis tinggi. Distribusi pertumbuhan akar tanaman tebu ke arah vertikal dan horisontal juga berhubungan erat dengan ketersediaan P-tanah.

Hasil tebu maksimum sebesar 76 t/ha atau hasil gula sebesar 12 t/ha dicapai pada tanah yang kaya P-tersedia, sedangkan pada tanah yang miskin P-tersedia ternyata hasil tebu hanya sekitar 53 t/ha atau hasil gula sebesar 8 t/ha (Matin *et al.* 1997). Lebih lanjut dikemukakan bahwa kandungan P-tersedia yang terlalu tinggi dapat menekan penyerapan Zn dan Cu oleh tanaman tebu.

Kandungan P-tersedia dalam tanah yang dianggap optimum adalah 11–17 mg P₂O₅/100 g tanah.

Aplikasi pupuk P dosis tinggi dalam strategi pemupukan berimbang sangat meningkatkan hasil tebu dan hasil gula. Perbaikan ketersediaan P-tanah dapat meningkatkan hasil tebu hingga 31% dibandingkan dengan kondisi kontrol. Pendekatan yang lebih berimbang untuk nutrisi P tanaman tebu sangat diperlukan untuk mencapai hasil tebu dan hasil gula yang optimal (Wood *et. al.* 2003). Lebih jauh di kemukakan bahwa kadar P-tanah ekstrak air (Pw) dapat digunakan sebagai dasar rekomendasi pupuk P bagi tanaman tebu. Rekomendasi pemupukan P disusun berdasarkan hasil analisis contoh tanah yang diambil sebelum tanam. Hasil penelitian merekomendasi dosis pupuk fosfat bagi tebu berkisar antara 0–75 kg per hektar. Tanah-tanah yang mempunyai Pw lebih besar dari 6 kg per hektar tidak perlu dipupuk fosfat.

2. Persyaratan P bagi tanaman tebu

Fosfor mempunyai pengaruh yang dominan terhadap perkembangan akar dan tunas. Hara P membantu pembentukan protein, hal ini terjadi di inti sel-sel yang hidup dan diperkirakan mengendalikan sebagian besar kegiatan sel. Hara P juga sangat penting bagi pembelahan sel yang menyebabkan pemanjangan akar dan batang atau pertumbuhan tanaman. Panjang dan diameter ruas meningkat, daun menjadi lebih panjang dan lebar, tetapi lebih tipis. Nisbah berat pucuk dan berat batang tanaman menurun, demikian pula nisbah akar dan tunas (Pawirosemadi 2011). Hara P juga memacu kegiatan fotosintesis, daun-daun berkadar P tinggi mempunyai kegiatan fotosintesis yang lebih besar dibanding daun berkadar P rendah. Hasil fotosintesis yang diperoleh pada tanaman kena naungan kurang dari sepertiganya dari tanaman yang tidak ter-naungi. Peranan unsur P, nyata sekali terutama proses fotofosforilasi dalam kaitannya dengan penangkapan tenaga cahaya matahari untuk kegiatan fotosintesis (Kingston 2014).

Hara P pada tanaman tebu terhimpun di pusat-pusat kegiatan yang tertinggi dalam proses pembentukan ATP dan ADP yang merupakan energi tertinggi dalam siklus tanaman. Selain itu, fosfor sangat berperan dalam sintesis sukrose dan dalam sistim enzim.

3. Gejala defisiensi P

Fosfor merupakan unsur utama yang penting sebagai hara tanaman tebu, gejala defisiensinya kurang jelas dan lebih sukar dipastikan daripada gejala-gejala kebanyakan unsur hara lainnya. Tanaman tebu yang kekurangan P mem-

punyai daun yang lebih sempit dan lebih pendek, pengurangan lebar daunnya lebih besar daripada pengurangan panjang daunnya. Warna daun tidak begitu tampak dipengaruhi, atau bahkan menjadi lebih tua, biru kehijauan, sebagian disebabkan oleh akumulasi nitrogen, namun kemudian daun yang lebih tua menjadi hijau kekuningan, akhirnya coklat kekuningan, selanjutnya ujung dan tepinya mengering. Pada varietas yang mempunyai kemampuan mengembangkan anthosianin, pada keadaan kahat P akan memperlihatkan peningkatan pigmentasi anthosian sehingga helaian daun akan tampak jelas keungu-unguan. Daun-daunnya juga mempunyai kecenderungan menjadi tegak (Kingston 2014)

Defisiensi P banyak terjadi pada tebu *ratoon*. Bentuk P terlarut dari pupuk yang diberikan ke dalam tanah, banyak yang bereaksi dengan besi, aluminium, liat, bahan organik dan karbonat-karbonat sehingga menjadi tidak tersedia bagi tanaman. Oleh karena itu, jarang suatu tanaman memperoleh lebih dari 15 hingga 20 persen P dari pupuk yang diberikan secara langsung (Glendenning 1999). Bahkan pada tanah-tanah masam efisiensinya sangat rendah, dengan perolehan kembali oleh tanaman hanya 1 hingga 5% (Pramo 1995) dan gejala defisiensi semakin parah dengan bertambahnya umur tanaman.

P bersifat mudah berpindah dalam tubuh tanaman, sehingga gejala defisiensi muncul pertama pada daun tua. Defisiensi P ini mengakibatkan pertumbuhan tanaman kerdil. Panjang ruas, panjang batang dan diameter batang tebu semuanya mengecil kalau terjadi defisiensi P. Mula-mula gejala defisiensi pada daun tidak tampak, kemudian daun menjadi silinder dan berwarna hijau kebiruan. Warna merah dan ungu juga dapat muncul, terutama di bagian pucuk daun dan tepi daun yang terkena cahaya langsung. Akhirnya helai daun mati mulai dari ujung daun dan menjalar sepanjang tepi daun (Pawirosemadi 2011).

Hara Kalium (K)

Kalium umumnya cukup banyak dijumpai di dalam tanah dan sebagian besar berada dalam senyawa bentuk mineral. Sumber alam kalium biasanya berupa mineral silikat primer dan mineral liat. Silikat primer yang mengandung kalium antara lain muskovit, biotit, ortoklas, mikroklin, mika-K, feldspar-K dan beberapa mineral lain. Sedangkan mineral liat yang mengandung kalium di antaranya adalah ilit, vermikulit, kaolinit, monmorilonit, zeolit dan alofan (Glendenning 1999)

1. Sumber K dalam tanah

Secara umum, total kandungan kalium (K) tanah bervariasi. Tanah dalam kategori rendah dengan kadar $K \leq 5$ g/kg dan sebarannya menduduki 88,5%; dalam kategori sedang dengan K dalam tanah 5–10 g/kg dan sebarannya menduduki 9,6 %; dalam kategori tinggi dengan K tanah 10–15 g/kg dan tersebar 1,9 %, serta tidak ada K tanah melebihi dari 15 g/kg (Glendenning 1999).

Kalium mempunyai peranan yang sangat penting, ikut serta pada semua aktivitas tanaman, di antaranya adalah fotosintesis, sintesis protein, translokasi dan transformasi gula dan protein. Kalium bertindak sebagai katalisator dalam proses metabolisme tanaman, dan dijumpai bilamana terjadi transformasi energi tinggi. Keberadaannya memungkinkan pembentukan gula dari senyawa karbohidrat sederhana, dan mengubah gula menjadi zat tepung dan karbohidrat dengan berat molekul tinggi lainnya (Kingston *et.al.* 2009). Kalium juga berfungsi sebagai aktivator enzim serta K sangat penting dalam sintesis dan translokasi sukrosa dari daun menuju ke jaringan penyimpanan dalam batang. Kalium juga berperan dalam mengendalikan hidrasi dan osmosis dalam *guard-cel* stomata.

Pergerakan karbohidrat dari daun menuju batang berlangsung dengan kecepatan sekitar 2,5 cm/menit dalam tanaman yang kecukupan kalium. Kekurangan kalium akan mereduksi kecepatan pengangkutan ini hingga separuhnya. Oleh karena itu kekurangan K dalam tanaman akan mengakibatkan sebagian hasil fotosintesis tetap berada di daun, tidak dapat dikirim dan disimpan dalam batang. Selanjutnya kalau tanaman kekurangan kalium, aktivitas hidrolisis dari enzim invertase akan meningkat dan hasilnya adalah tanaman tebu kaya gula-reduksi dan kandungan sukrosanya rendah (Medina *et. al.* 2013)

Peranan kalium dalam pengendalian air sangat penting. Kalium mempunyai peranan dalam pengaturan tekanan osmotik sel, bekerjanya stomata dan laju transpirasi sehingga meningkatkan turgiditas sel-sel tanaman, dan memelihara tegangan jaringan tanaman. Keberadaan kalium dinding sel jaringan tanaman juga diperkuat (Rajendra *et al.* 2007).

Kalium diserap tanaman dalam bentuk K^+ , kalium banyak terkandung pada abu. Pucuk tebu yang muda mengandung 60–70% K_2O . Satu ton hasil panen tebu terdapat 1,17–6,0 kg K_2O yang berasal dari dalam tanah (Wood 1990 dan Kingston 2014). Kalium terdapat di dalam sel-sel yaitu sebagai ion di dalam cairan sel dan sebagai persenyawaan adsorptif di dalam zat putih telur dari sitoplasma. Inti sel tidak mengandung kalium. Sebagai ion di dalam

cairan sel, kalium berperan dalam melaksanakan turgor yang disebabkan oleh tekanan osmotis.

Medina *et al.* (2013) telah mempelajari distribusi kalium pada tanaman tebu selama musim pertumbuhannya. Konsentrasi kalium dalam akar, batang dan daun diukur setiap dua sampai tiga bulan dimulai sekitar lima bulan setelah tanam tebu. Hasilnya menunjukkan konsentrasi K lebih tinggi pada awal perkembangan tanaman dan menurun dari waktu ke waktu, ada osilasi konsentrasi K di setiap bagian tanaman, mencapai konsentrasi yang lebih rendah pada saat tanaman dewasa. Evolusi distribusi kalium dalam tebu digambarkan Medina *et al.* (2013) sebagai model untuk menafsirkan hasil tebu berdasarkan distribusi kalium dalam batang dan daun selama pertumbuhan tebu.

Pada tanaman tebu di Jawa, 30 hingga 80 persen dari kandungan kalium tanaman (tidak termasuk akar dan bagian dari klaras=*trash*) terdapat di dalam nira perahan. Persentasenya lebih tinggi (70–80) pada tanaman yang kandungan kaliumnya tinggi, dan lebih rendah (30–40) pada tanaman yang kandungan kaliumnya rendah (Pawirosemadi 2011). Kandungan kalium daun meningkat dari daun yang tertua ke daun yang termuda, dengan bagian pangkal masing-masing daun kandungan kaliumnya tertinggi dan menuju ke ujung daun tersebut kandungannya berangsur berkurang (Perez and Melgar 2000).

2. Defisiensi K

Tanaman tebu yang kekurangan kalium cepat mengayu atau menggabus. Hal ini disebabkan kadar lengas dalam jaringan tanaman yang lebih rendah. Kalium berpengaruh pada pembentukan dinding-dinding sel sehingga sel-sel lebih baik kandungan airnya, dan tumbuh lebih baik, lebih kuat dan lebih panjang.

Kalium dalam tanaman tebu bersifat mudah berpindah, gejala awal defisiensi K muncul pada daun-daun tua. Bagian tepi dan pucuk daun-daun tua menunjukkan gejala klorosis kuning-oranye dengan becak-becak khlorosis dan selanjutnya menjadi becak-becak klorosis kecokelatan. Gejala ini akan mengurangi luas daun hijau dan dapat mereduksi kemampuan fotosintesis tanaman.

Laju fotosintesis menurun dengan meningkatnya tingkat keparahan defisiensi K, pertumbuhan tanaman terhambat, ruas menjadi memendek, batang tebu menjadi lebih pendek, dan diameter batang tebu menjadi lebih kecil. Tanaman tebu yang defisien K tidak mampu berfotosintesis dengan baik kalau kadar K-daun mencapai 0.40 % K atau kurang (Khuhro *et al.* 2014)

Gejala defisiensi kalium tampak 2 hingga 5 bulan setelah tanaman kekurangan kalium. Pertumbuhan tanaman secara keseluruhan terhambat, batang-

nya menjadi kecil dan lentur, ke arah atas tirus dengan cepat dan menghasilkan susunan daun pucuk seperti kipas. Pertunasan menurun meskipun jauh lebih kecil daripada yang terjadi pada tanaman yang kahat nitrogen atau fosfor. Daun-daunnya memperlihatkan suatu pola perubahan warna yang khas. Pada kebanyakan daun yang masih aktif (daun nomor 2–6 Kuijper), warna pada sepanjang kedua tepi daun berubah menjadi kuning. Perubahan warna ini dimulai dari ujung dan berjalan terus hingga mendekati pertengahan helaian daun. Perubahan warna ini diikuti pengeringan ujung daun, dan wilayah kering berangsur menyebar dalam suatu bentuk huruf V terbalik menuju ke bawah, berakhir pada suatu jalur tepian kering yang sempit pada kedua sisi helaian daun. Jalur-jalur atau garis-garis kering dipisahkan dari bagian daun yang hijau oleh suatu jalur kuning yang sempit (Pawirosemadi 2011).

Pada daun yang lebih tua, selain terjadi kematian daun dari ujung dan tepi daun, tampak bercak-bercak berwarna kuning-jingga yang kemudian menjadi coklat dengan pusat-pusat yang mati. Bila bercak-bercak tersebut menjadi satu akan menghasilkan daun yang berwarna coklat. Bercak daun meningkat dengan cepat sekali dengan bertambah tuanya daun. Gejala yang paling akhir ini serupa dengan gejala keracunan magnesium dan kalium. Gejala semacam ini di lapangan sering tampak bilamana nisbah K/Mg yang biasanya berkisar antara 5–8, menurun menjadi kurang dari 1 (Santo *et al.* 2000).

Kandungan gula pada tanaman tebu yang mengalami defisien kalium biasanya rendah, demikian pula rendemennya. Nisbah pucuk terhadap tebugiling meningkat. Perkembangan sistem perakaran pada tanaman yang defisien kalium relatif terpacu, dan karena perkembangan bagian tanaman di atas tanah kurang baik, maka nisbah akar-tunas meningkat (Ahmed *et al.* 2005).

Hara Makro Sekunder dan Mikro

Hara makro sekunder terdiri dari kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan sulfur atau belerang (S), sedangkan unsur hara mikro diperlukan dalam jumlah sangat sedikit. Peranan Ca pada tanaman tebu masih sedikit yang diketahui. Kadar kalsium tertinggi terdapat pada jaringan meristem dan daun-daun yang lebih muda. Kingston dan Aitken (2000) melaporkan bahwa defisiensi kalsium pada tanaman tebu pada tanah masam dapat mengakibatkan pengaruh buruk yang lebih parah daripada defisiensi unsur yang lain unsur hara yang lain.

Meskipun peranan Mg secara mendalam belum diketahui, namun peranan umum di dalam tubuh tanaman tebu dapat meliputi (a) pembentuk klorofil, seperti yang telah disebutkan dimuka; (b) bersama dengan kalium mempertahankan pH di dalam kloroplast dan sitoplasma tetap berada sekitar 6,5 hing-

ga 7,5 dibandingkan dengan pH cairan vakuola yang jauh lebih rendah, yaitu antara 5,0–6,0; (c) proses fotosintesis yang mencakup pembentukan gula dan protein; (d) bertindak sebagai pembawa fosfor dari dalam tubuh tanaman (Kingston 2014). Laju penyerapan magnesium oleh tanaman tebu serupa dengan serapan terhadap kalsium, magnesium ditimbun di daun-daun hijau tebu muda. Jika tebu menjadi dewasa sebagian besar magnesium berada di batang dan daun kering. Jumlah magnesium yang ditimbun di daun-daun kering jauh lebih kecil daripada yang terjadi pada kalsium (Skilton *et al.* 2000).

Gejala defisiensi magnesium dalam beberapa hal mirip dengan defisiensi kalsium (Kingston dan Aitken 2000). Daun-daun yang muda berwarna hijau muda sedangkan daun yang lebih tua berwarna hijau kekuningan. Perubahan warna itu makin tegas jika kekahatan tersebut berlanjut. Pada daun-daun yang lebih tua terdapat bercak-bercak (noda) klorotik kecil yang kemudian berubah menjadi coklat tua. Jika jumlah bercak ini banyak dapat menyatu dan menjadikan daun tampak seperti berkarat.

Hara belerang merupakan bagian yang penting untuk pembentukan protein tertentu yang diperlukan sebagai penyusun protoplasma. Belerang juga merupakan unsur pokok asam-asam amino yang mengandung belerang seperti sistein dan metionin dan kemudian protein. Defisiensi belerang bisa terjadi di tanah-tanah tidak beririgasi yang mengalami pencucian yang hebat dan kandungan bahan organiknya rendah, serta tidak pernah mengalami pemupukan dengan pupuk yang mengandung belerang (Pawirosemadi 2011). Penggunaan amonium sulfat (ZA) yang meluas sebagai pupuk tanaman tebu, akan memberi cadangan belerang yang mencukupi bagi tanaman pada kondisi yang normal, tetapi penggunaan urea yang terus menerus dapat mengakibatkan terjadinya defisiensi belerang. Sulfur direkomendasikan pada per-tanaman tebu di Florida apabila pH tanah >6, dengan dosis 560 kg S/ha pada tanah lempung berpasir dan 340 kg S/ha pada tanah pasir (Rice *et al.* 2008).

Unsur mikro (Cu, Zn, Fe, B, Mn, Mo) diperlukan tanaman tebu dalam jumlah yang sangat sedikit (kurang dari 1%) dan belum banyak dilaporkan penurunan produksi tebu akibat kekurangan hara mikro di Indonesia (Pawirosemadi 2011). Gejala defisiensi hara mikro akan nampak pada tanah yang ekstra masam dengan nilai pH dibawah 4 (Kingston 2014).

Kebutuhan Pupuk pada Tanaman Tebu

Pemupukan N pada tebu

Pupuk nitrogen merupakan salah satu unsur makro esensial yang berperan sebagai bahan pembentuk protein, asam nukleik, klorofil dan senyawa organik lain (Sundara 1998). Sebagai pelengkap bagi peranannya dalam sintesa protein, nitrogen merupakan bagian tak terpisahkan dari molekul klorofil dan karenanya suatu pemberian N dalam jumlah cukup akan mengakibatkan pertumbuhan vegetatif yang vigor dan warna hijau segar (Hakim dan Djakusutam 2009).

Dosis pupuk N tergantung pada tingkat kesuburan tanah, kandungan bahan organik tanah, tekstur tanah, KTK, dan jumlah biomas tanaman yang dihasilkan. Kelebihan dan kekurangan nitrogen pada tebu menyebabkan gangguan pada pertumbuhan tanaman, produksi dan kualitasnya (Sime 2013). Efisiensi penyerapan nitrogen ditentukan juga oleh jumlah, frekuensi, cara, dan waktu pemupukan N (Achieng *et al.* 2013). Lebih lanjut dikemukakan bahwa analisa daun, analisa tanah dan percobaan pemupukan di lapangan merupakan dasar pembuatan rekomendasi pemupukan N yang terintegrasi pada pengelolaan tebu yang baik.

Pemberian pupuk nitrogen dalam bentuk urea, ZA masih diperlukan dalam jumlah yang cukup karena biomas yang dihasilkan tanaman tebu sangat banyak, setiap tahunnya tidak kurang dari 100 ton biomasa per ha yang dihasilkan tanaman dan tidak kembali ke tanah lagi (Otto *et al.* 2014).

Pemupukan nitrogen harus tepat untuk pengelolaan tanaman dan untuk mendapatkan hasil yang optimum diperlukan analisis N (Joris *et al.* 2014). Hasil-hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi pemupukan N pada budidaya tebu masih relatif rendah, yaitu sekitar 30–35% (Fortes *et al.* 2013). Efisiensi pemupukan N rendah tersebut disebabkan karena sebagian hara N dari pupuk hilang melalui proses-proses penguapan, pencucian, imobilisasi, denitrifikasi, erosi, dan *runoff*.

Tingkat kekurangan N tanaman tebu sangat bervariasi tergantung pada kondisi tanah, dan perkembangan tanaman. Pada awal pertumbuhan tanaman tebu, kekurangan N dapat mengurangi jumlah anakan, dan jumlah batang pada *ratoon*, daun menguning, pendek dan sempit. Kekurangan N pada masa vegetatif dapat menyebabkan penurunan diameter batang dan jumlah batang produktif. Kekurangan N yang ringan dapat mengurangi laju fotosintesis, pengaruhnya sangat besar kalau terjadi pada awal pertumbuhan tanaman.

Pupuk Urea dan ZA telah lazim digunakan dalam budi daya tanaman tebu. Namun teknologi inovasi dalam aplikasi pupuk N ini masih sangat diperlukan untuk meningkatkan efisiensinya. Pupuk ammonium sulfat (ZA) juga mengandung sulfur. Pemakaian ZA terus menerus dapat mengasamkan tanah. Aplikasi pupuk ZA dengan dosis 4–6 ku/ha (beragam tergantung kondisi tanah) dapat menghasilkan hablur gula yang diharapkan.

Pupuk amida bersifat lambat tersedia, N dalam pupuk ini tidak langsung tersedia bagi tanaman tetapi harus melalui beberapa perubahan kimia dahulu. Hasil akhirnya dalam bentuk amonium (NH_4^+) dan nitrat (NO_3^-). Jenis pupuk ini berkadar N tinggi, misalnya urea=46%. Sifat urea yang mudah larut dalam air memungkinkan untuk dipakai sebagai pupuk daun.

Dengan bantuan mikroba tanah, nitrogen yang ada dalam pupuk dapat dikonversi menjadi bentuk yang tersedia bagi tanaman. Proses perubahannya banyak tergantung pada iklim dan kondisi tanahnya. Konversi berjalan cepat apabila kadar air, aerasi, temperatur dan pH nya sesuai.

Aplikasi pemupukan sebaiknya 3 sampai 4 kali yakni pada saat sebelum tanam (pupuk dasar), setelah perakaran tumbuh (1–2 bulan), pada masa pertumbuhan tunas (anakan, 3 bulan) dan masa pertumbuhan, namun minimal dua kali setahun. Semakin sering frekuensi aplikasi pupuk dengan dosis rendah, hasilnya akan semakin baik, terutama bagi jenis pupuk yang cepat larut dalam air seperti pupuk ZA dan urea (Teshome and Hagos 2015).

Semakin rendah kandungan bahan organik tanah, maka dosis pupuk nitrogen akan semakin besar. Dosis pupuk N ini juga tergantung pada frekuensi aplikasi, karena nitrogen bersifat sangat mudah berpindah, mudah tercuci dan menguap. Cara aplikasi menentukan efisiensi pemupukan nitrogen, misalnya disebar akan lebih boros dibanding dengan dibenam.

Kebutuhan Pupuk N

Kadarwati *et al.* (2014 dan 2015) melaksanakan pemupukan N tunggal di lahan kering pada empat jenis tanah yaitu entisols, alfisol, vertisol dan inseptisol (berpengairan) dengan lima taraf pemupukan antara 100–260 kg N/ha. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari ketiga jenis tanah pada tebu PC, rendemen tertinggi dicapai pada tanah entisol (tanah berpasir) berkisar antara 8,65 sampai 9,30 persen dengan pemupukan 140 kg N/ha. Pada tanah vertisol dosis pupuk N yang dipilih 180 kg N/ha setara 900 kg ZA/ha dengan produktivitas tebu 77,42 ton/ha dan rendemen 7,35%. Pada tanah entisol dosis N yang dipilih 180 kg N/ha setara dengan 900 kg ZA/ha dengan produktivitas tebu 93,04 ton/ha dan rendemen 8,72%, sedangkan untuk tanah al-

fisols dosis N 140 kg N/ha setara dengan 700 kg ZA/ha dengan produktivitas tebu 143 ton/ha dan rendemen 7,19 %. Pada tanah inseptisol, dosis N yang dipilih adalah 140 kg N/ha setara dengan 700 kg ZA/ha dengan produksi tebu 168,10 ton/ha. Hasil selengkapnya sampai dengan *ratoon* 1 (RC1) disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Pengaruh Pemupukan N pada 4 jenis tanah pada tebu PC dan RC 1.

Pemupukan N		Tebu PC		Tebu Ratoon 1 (RC 1)	
No	Jenis Tanah	Dosis yang dipilih	Produksi tebu (ton/ha)	Dosis yang dipilih	Produksi tebu (ton/ha)
1.	Entisols	180 N	93,04	180–220 N	109,40–112,26
2.	Alfisols	140 N	143,00	180 N	125,17
3.	Vertisols	180 N	77,43	180 N	111,76
4.	Inseptisols	140 N	168,10	Analisis data	

Sumber: Kadarwati *et al.* (2014 dan 2015)

Pada tanah entisol, dosis N yang dipilih untuk tebu RC1 adalah 180–220 kg N/ha dengan produksi tebu 109.4–112,26 ton/ha. Pada tanah alfisol, dosis N yang dipilih untuk tebu RC1 adalah 180 kg N/ha dengan produksi tebu 127,17 ton/ha. Pada tanah vertisol, dosis N yang dipilih untuk tebu RC1 adalah 180 kg N/ha dengan produksi tebu 111.76 ton/ha. Hasil ini memberi gambaran bahwa kadar hara N dalam tanah di tempat percobaan tergolong rendah sampai sangat rendah sehingga pemupukan N berdosisi 180 kg N/ha sudah mampu memberikan hasil yang tinggi. P3GI merekomendasikan pada tanah berkadar N sangat rendah, diberikan pupuk N berdosisi 180–200 kg N/ha (Pawirosemadi, 2011). Hasil yang sama didapatkan oleh Nyandere *et al.* (2013) bahwa pada tanah ringan, pemberian N sampai dengan 120 kg N/ha yang diberikan dua kali pada tebu *ratoon* 1, secara signifikan meningkatkan hasil tebu pada varietas CO 421.

Tanah berat (vertisol) memberikan pertumbuhan tanaman tebu yang kecil-kecil, tinggi dan jumlah anakannya lebih banyak. Hal ini disebabkan karena energi yang dihasilkan lebih banyak digunakan untuk membentuk anakan daripada memperbesar batang, sedangkan pada tanah ringan seperti entisol lebih banyak digunakan untuk memperbesar batangnya. Pemupukan N dari 100 kg N/ha sampai dengan 260 kg N /ha tidak meningkatkan pertumbuhan ke atas maupun diameter tanaman dan jumlah anakan pada tiga jenis tanah. Pada tanah entisol (berpasir) dan alfisols, jumlah anakan lebih sedikit (antara 14,42–15.42 pada entisols dan Alfisols 14,98–16,09) daripada vertisol 18,34–20,02. Khan *et al.* (2005) melaporkan bahwa peningkatan dosis N pada tebu dari 150 menjadi 200 kg N/ha meningkatkan tinggi tanaman dari 132 menjadi 230 cm akan tetapi peningkatan dosis N setelah itu tidak nyata meningkatkan

tinggi tanaman. Koochekzadeh *et al.* (2009) mendapatkan dosis terbaik untuk meningkatkan pertumbuhan tebu adalah 92 kg N/ha dengan pemberian 3 kali.

Pemupukan Fosfat Tanaman Tebu

Hara P sangat penting bagi tanaman tebu untuk pertumbuhan akar, pemanjangan batang, kualitas tebu dan hasil gula. Hara P membantu serapan N oleh tanaman, ketidakseimbangan N/P tanaman menyebabkan tanaman tebu mudah roboh dan mengganggu kualitas tebu. Efisiensi pupuk fosfat biasanya agak rendah, karena sebagian P-tersedia dalam pupuk setelah diaplikasikan ke tanah diikat oleh komponen tanah menjadi bentuk P-tidak tersedia. Kendala fiksasi fosfat oleh tanah dapat dicarikan solusinya dengan disarankan juga aplikasi fosfat melalui daun tebu. Pupuk fosfat sebagai pupuk daun dapat meningkatkan kadar P-tanaman. Tanaman mengandung duapuluh kali lebih banyak P kalau disemprot dengan $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ dibandingkan dengan aplikasi pupuk yang sama lewat tanah (Tsado *et al.* 2013).

Respon hasil tebu terhadap pemupukan P terjadi pada tanah-tanah latosol yang kaya oksida Fe dan Al. Tanah-tanah seperti ini mempunyai kemampuan sangat besar untuk mengikat P. Pupuk P dapat diaplikasikan pada tanaman tebu dengan dosis 175 kg P (400 kg P_2O_5) per hektar. Perbedaan hasil tebu ternyata berhubungan dengan perbedaan kadar P tanaman tebu dan reduksi kadar Al dalam tanaman. Pupuk superfosfat yang lambat-larut lebih meningkatkan hasil tebu dibandingkan dengan pupuk $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ yang sangat mudah larut (Matin *et al.* 1997).

Peningkatan kadar P tanaman belum menjamin bahwa P ditranslokasikan ke seluruh tanaman atau tambahan P tersebut digunakan dalam proses metabolisme. Bukti-bukti lain menunjukkan bahwa pada tanah-tanah yang mempunyai nilai P tinggi, status P-tanaman tebu belum tentu tinggi (Kings-ton 2014)

Produktivitas tebu dapat ditingkatkan dengan pemupukan P yang dikombinasikan dengan N, K, S dan Zn. Hara P membantu serapan N oleh tanaman, ketidakseimbangan N/P tanaman menyebabkan tanaman tebu mudah roboh dan mengganggu kualitas tebu. Aplikasi pupuk P dosis tinggi dalam strategi pemupukan yang berimbang dapat meningkatkan hasil tebu dan hasil gula. Perbaikan ketersediaan P-tanah dapat meningkatkan hasil tebu hingga 31% lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi kontrol. Pendekatan pemupukan P yang berimbang ternyata diperlukan untuk meningkatkan hasil tebu dan hasil gula. Aplikasi pupuk P dapat merangsang pertumbuhan akar tebu, merangsang tumbuhnya anakan, mempengaruhi pertumbuhan tebu yang da-

pat digiling, dan meningkatkan hasil tebu per hektar. Status ketersediaan P tanaman tebu sangat diperlukan untuk akumulasi simpanan gula dalam jaringan batang tebu. Sekitar 10–20% pupuk P yang diaplikasikan ke tanah dapat dimanfaatkan oleh tanaman tebu dalam satu musim tanam (Bokhtiar and Sakurari 2003). Efisiensi pupuk fosfat biasanya agak rendah, karena sebagian P-tersebut dalam pupuk setelah diaplikasikan ke tanah akan diikat oleh komponen tanah menjadi bentuk P-tidak tersedia.

Kebutuhan Pupuk Fosfat

Rekomendasi pupuk P didasarkan pada hasil analisis tanah, disesuaikan dengan kapasitas tanah untuk memfiksasi P. Pupuk P diaplikasikan dalam larikan (alur) untuk memenuhi kebutuhan P tanaman tebu pada ratoon pertama. Tujuan rekomendasi pemupukan P adalah meningkatkan kandungan P-tanah hingga mendekati 206 kg P₂O₅/ha, seperti tertera pada Tabel 9.

Tabel 9. Rekomendasi pemupukan P berdasarkan kadar P-tanah

P-tanah	kg P ₂ O ₅ /ha	160	115	68	28
Dosis pupuk	kg P ₂ O ₅ /ha	46	92	137	183

Sumber: McCray *et al.* (2012)

Efek residual pupuk P pada hasil tebu dan kualitasnya ternyata cukup besar pada tanah cambisol dan vertisol. Kandungan P-tanah (residual) masih cukup tinggi, sehingga tebu tidak memerlukan pupuk P.

Hasil penelitian Kadarwati *et al.* (2014) memperlihatkan bahwa setiap jenis tanah memberikan respon yang berbeda terhadap produksi tebu yang dihasilkan. Pada tanah vertisol yang bertekstur berat, tanaman tumbuh tinggi dengan populasi yang banyak (jumlah anakan banyak), akan tetapi diameternya kecil sehingga bobot per meternya juga rendah. Keadaan ini menyebabkan produktivitas tebu yang bisa dicapai juga rendah dibandingkan dengan jenis tanah yang lain. Pada tanah entisol bertekstur ringan, tanaman yang tidak tinggi akan tetapi gemuk sehingga bobot per meter juga tinggi. Akan tetapi produktivitas yang dicapai tidak sejalan dengan diameter batang. Produktivitas lebih dipengaruhi oleh panjang batangnya.

Markley dan Refalo (2011) melaporkan bahwa peningkatan dosis P di Kenya hanya terlihat nyata pada dosis kontrol (0 P) dibandingkan dengan penambahan dosis pupuk P. Akan tetapi peningkatan dosis pupuk P dari 40 kg P₂O₅/ha menjadi 120 kg P₂O₅ tidak meningkatkan produksi tebu dengan ki-

saran produksi 56,6–71,5 ton/ha. Hasil yang sama didapat pada tanah vertisol dan entisol. McCray *et al.* (2013) melaporkan bahwa pada tanah histosol di Florida, pemupukan P pada tebu yang diberikan selama 2 musim hanya sampai dosis 33 kg P/ha dan ini bisa dipertahankan sampai musim ke 4.

Hasil penelitian Kadarwati *et al.* (2015) menunjukkan bahwa pada tebu tanam tahun pertama (PC) dosis pupuk P berbeda pada setiap jenis tanah. Dosis pupuk P yang dipilih pada tanah vertisol 72 ke P₂O₅, dengan produktivitas tebu 79,62 ton/ha dan rendemen 7,43 %; pada tanah entisol 108 P₂O₅ dengan produktivitas 87,45 ton/ha dan rendemen 8,47%; sedangkan pada alfisol 180 kg P₂O₅ dengan produktivitas tebu 143,33 ton/ha dan rendemen 8,07 %. Pada tebu ratoon 1 pada obyek yang sama didapatkan hasil seperti pada Tabel 10.

Tabel 10. Pengaruh pemupukan P pada 4 jenis tanah pada tebu PC dan RC 1.

Pemupukan P		Tebu PC		Tebu ratoon 1 (RC 1)	
No.	Jenis Tanah	Dosis yang dipilih	Produksi tebu (ton/ha)	Dosis yang dipilih	Produksi tebu (ton/ha)
1.	Entisols	108 P ₂ O ₅	87,45	108 P ₂ O ₅	101,07
2.	Alfisols	144 P ₂ O ₅	142,33	72 P ₂ O ₅	128,42
3.	Vertisols	72 P ₂ O ₅	79,62	108 P ₂ O ₅	107,11
4.	Inseptisols	45 P ₂ O ₅	173,25	-	-

Sumber: Kadarwati *et al.* (2014), (2015)

Pada tanah inseptisol, dosis pupuk P yang dipilih sampel tebu ratoon adalah 45 kg P₂O₅ dengan produksi 173,25 ton/ha. Pada tanah entisol, dipilih 108 kg P₂O₅ dengan produksi tebu 87,45 ton/ha. Pada tanah alfisol dipilih 108 kg P₂O₅ dengan produksi 128,42 ton/ha. Pada tanah vertisol 108 kg P₂O₅ dengan produksi 107,11 ton/ha. Hasil yang sama didapatkan oleh Tsado *et al.* (2013) bahwa peningkatan pemupukan superfosfat dari 50 kg/ha menjadi 150 kg/ha tidak berpengaruh terhadap jumlah anakan, tetapi terjadi peningkatan sebesar 30 persen dibandingkan kontrol (tanpa pupuk P).

Pemupukan K pada Tanaman Tebu

Respon tebu terhadap pemupukan kalium sangat tergantung pada ketersediaan kalium dalam tanah. Tanaman tebu mempunyai kemampuan yang kuat untuk menyerap kalium dari dalam tanah.

Pengaruh pemupukan kalium terhadap tinggi tanaman, jumlah batang dan hasil tanaman tebu sangat beragam oleh (Donaldson *et al.* 1990). Dosis pupuk K yang optimal juga beragam tergantung kondisi tanah dan iklim. Waktu aplikasi pupuk K juga berpengaruh terhadap hasil dan status hara tanaman tebu. Penundaan pemupukan K seluruh atau separuh dosis pupuk re-

komendasi 150 kg K/ha hingga periode puncak pertumbuhan tanaman tebu tidak berpengaruh terhadap hasil dan status hara K tanaman tebu.

Di daerah-daerah dengan curah hujan kurang dari 2000 mm per tahun (di Mauritius), kebutuhan K tebu hingga *ratoon* ke enam dapat dipenuhi dengan sekali aplikasi pupuk K pada saat tanam benih. Akan tetapi di daerah dengan curah hujan lebih dari 2000 mm per tahun, aplikasi pupuk K setiap tahun memberikan hasil lebih baik (Wood dan Schroede, 2004). Peningkatan hasil tebu dan gula akibat pemupukan K terjadi kalau tanahnya miskin kalium ($<0,30 \text{ cmol kg}^{-1}$ ekstrak $0,1\text{M H}_2\text{SO}_4$), sedangkan respon hasil tebu tidak nyata pada tanah yang kaya kalium ($> 0,60 \text{ cmol kg}^{-1}$ soil) seperti dihasilkan oleh Kingston *et al.* (2009). Demikian juga respon tanaman tebu terhadap pupuk kalium tidak nyata kalau tanah mengandung lebih dari $0,23 \text{ cmol K-tukar}$ per satu kg tanah. Pemupukan kalium tidak direkomendasikan pada tanaman tebu dan *ratoon*-nya kalau tanahnya mengandung K-tukar melebihi $0,70 \text{ cmol kg}^{-1}$ (Medina *et al.* 2013)

Peningkatan hasil tebu akibat pemupukan kalium, ada kalanya diikuti oleh peningkatan rendemen, dan ada kalanya tidak diikuti oleh peningkatan rendemen. Penyerapan kalium oleh tanaman tebu yang berlebihan dari dalam tanah dapat mereduksi pembentukan sukrosa selama proses penggilingan tebu. Kalium cenderung meningkatkan kelarutan sukrosa selama proses pengolahan gula, sehingga mempertahankan jumlah tertentu sukrosa dalam larutan, satu K^+ mengikat satu molekul sukrosa. Penelitian Wood (1990) di Afrika Selatan mencatat adanya reduksi konsentrasi sukrosa tanaman tebu setelah aplikasi pupuk kalium 183 kg K/ha . Sedangkan penelitian Chapman (1980) di Australia menunjukkan bahwa pemupukan kalium 196 kg K/ha sedikit menurunkan kadar sukrosa tanaman tebu dibandingkan dengan tanaman kontrol tanpa pupuk K. Hasil penelitian Korndorfer (1998) di Brazil menunjukkan pemupukan kalium dapat meningkatkan hasil tebu dari 98 menjadi 127 ton/ha , tetapi menurunkan rendemen dari $15,0$ menjadi $13,1\%$.

Tanaman tebu tergolong pengkonsumsi paling banyak K. Kelebihan kalium pada tanaman tebu dapat mengganggu proses pengolahan gula. Kebutuhan K tanaman tebu dapat mencapai 800 kg/ha dan ada kecenderungan perilaku tanaman tebu mengkonsumsi K berlebihan. Menurut Humbert (1971), setiap 100 ton tebu menyerap sekitar $500 \text{ kg K}_2\text{O/ha}$. Peningkatan respon tanaman diikuti oleh kadar K-tanaman hingga optimum dan konsumsi berlebihan, bahkan tingkat toksik. Dosis pupuk K harus ditetapkan untuk mencapai kondisi K-tanaman yang optimum.

Berdasarkan hasil-hasil penelitian di atas, K mempunyai peranan sangat penting bagi tanaman tebu, tetapi serapan K yang berlebihan dapat mengu-

rangi hasil gula. Dengan demikian penentuan rekomendasi dosis pupuk kalium seharusnya bersifat spesifik lokasi, sangat tergantung pada ketersediaan kalium dalam tanah, dan perimbangannya dengan unsur N dan P.

Tebu membutuhkan K dalam jumlah yang paling tinggi dibanding unsur-unsur yang lain. Kelebihan K dalam jaringan tanaman tebu dapat mengganggu dalam proses pengolahan gula karena pembentukan kerak di panci (Hunsigi 2011). Lebih lanjut dikemukakan bahwa kebutuhan K tanaman dapat melebihi 800 kg/ha. Nilai agronomi K terletak pada peningkatan produktivitas tebu, diameter dan bobot tebu, ketahanan kekeringan dan ketahanan terhadap penyakit, serta mengurangi bahaya roboh. Peranan dalam tanaman yang sedemikian rupa, K sangat esensial untuk mewujudkan produktivitas dan kualitas (rendemen) tebu yang tinggi dan respon tebu terhadap pemupukan K terlihat nyata daripada respon terhadap pemupukan N maupun P.

Sumber K tidak berpengaruh terhadap produktivitas tebu. Aplikasi basal tunggal diperlukan dan respon K berkisar 0,01–0,352 ton/ha pada PC dan 0,06–0,117 ton/ha per kg K pada RC, masing-masing pada dosis optimal. Beberapa larutan pengestrak asam encer hingga alkali telah diuji tetapi 1 N H₂SO₄ atau 1M BaCl₂ memberikan prediksi yang lebih baik karena menghilangkan sebagian K non-tukar. K tersedia dalam tanaman dikenal sebagai STEP-K. Akhir-akhir ini, analisis data 100 tahun dari Rothamsted, Inggris, telah melaporkan hubungan yang kuat dengan K tukar dan keseimbangan K (Perez dan Melgar 2000; Asraf *et al.* 2008).

Hasil penelitian Khan *et al.* (2005) di Pakistan menyimpulkan bahwa untuk menghasilkan tebu 100 ton/ha, tanaman tebu memerlukan 208 kg N; 53 kg P; 280 kg K; 30 kg S; 3,4 kg Fe; 1,2 kg Mn; 0,6 Cu dari dalam tanah. Tanah harus menyediakan unsur-unsur tersebut untuk mendukung produktivitas tebu. Penambahan unsur mikro Fe, Mn dan Cu bisa dalam bentuk sulfat dengan cara disemprot lewat daun. Rekomendasi pemupukan N, P, K untuk tebu berbeda dari daerah satu dengan lainnya tergantung kesuburan tanahnya dengan kisaran pupuk N antara 70–400 kg/ha; fosfat 27–74 kg/ha dan kalium 25–141 kg/ha.

Rilner Aves *et al.* (2014) mengemukakan bahwa pemupukan K pada tebu RC1 masih bisa mendongkrak produksi tebu sampai 30% dari produksi PC dan peningkatan produksi tebu berbeda setiap jenis tanah. Pada RC2 produksi tebu sudah mulai menurun meskipun dilakukan pemupukan K pada tanah Oxyisol.

Di Andhra Pradesh, India, umur optimum untuk tebu bisa dipanen adalah 12,96 bulan setelah tanam dan dosis pupuk K yang optimal adalah 119,7 kg/ha dengan produktivitas tebu 1.106,87 ku/ha. Di Bihar, umur optimum un-

tuk tebu bisa dipanen adalah 11,04 bulan setelah tanam dan dosis pupuk K yang optimal adalah 175,89 kg/ha dengan produktivitas tebu 1407,90 ku/ha. Di Kanartaka, umur optimum untuk tebu bisa dipanen adalah 16 bulan setelah tanam dan dosis pupuk K yang optimal adalah 151,9 kg/ha dengan produktivitas tebu 1.666,83 ku/ha. Di Uttar Pradesh, umur optimum untuk tebu bisa dipanen adalah 14 bulan setelah tanam dan dosis pupuk K yang optimal adalah 177,5 kg/ha dengan produktivitas tebu 692,45 ku/ha (Rajendra *et al.* 2007).

Chudhry dan Ahmed (2000) melaporkan bahwa pemupukan K pada tebu di Pakistan tidak berpengaruh terhadap komponen pertumbuhan tebu (jumlah batang per meter juring, panjang batang tebu, diameter batang, jumlah ruas dan bobot batang per meter. Demikian juga terhadap kadar sukrosa pada tebu. Hasil tebu tertinggi 1.000,83 ton per hektar diperoleh dengan pemupukan 180 kg K₂O/ha.

Kebutuhan Pupuk K

Hasil penelitian Kadarwati *et al.* (2014) menunjukkan bahwa dosis pupuk K pada vertisol 60 K₂O dengan produktivitas tebu 71,14 ton/ha dan rendemen 7,29 %. Pada entisols 180 K₂O setara 500 kg KCl/ha dengan produktivitas tebu 91,01 ton/ha dan rendemen 8,54 % sedangkan pada alfisol 120 K₂O dengan produktivitas tebu 129,67 ton/ha dan rendemen 7,88%. Penelitian lanjutan pada obyek yang sama pada tebu ratoon 1 didapatkan hasil seperti pada Tabel 11.

Tabel 11. Pengaruh pemupukan P pada 4 jenis tanah pada tebu tanam awal (PC) dan tebu *ratoon* 1 (RC 1).

No.	Jenis tanah	Pertanaman tebu PC		Pertanaman tebu RC1	
		Dosis pupuk dipilih	Produksi tebu (ton/ha)	Dosis pupuk dipilih	Produksi tebu (ton/ha)
Pemupukan K					
1.	Entisols	180 K ₂ O	91,01	90 K ₂ O	101,85
2.	Alfisols	120 K ₂ O	129,67	120 K ₂ O	133,42
3.	Vertisols	60 K ₂ O	71,14	120 K ₂ O	105,32
4.	Inseptisols	120 K ₂ O	178,30	180 K ₂ O	165,82

Pada tanah inseptisol, dosis pupuk K yang dipilih adalah 120 K₂O dengan produksi tebu 178,20 ton/ha. Pada tanah entisol, dosis pupuk K yang dipilih adalah 120 K₂O dengan produksi tebu 101,85 ton/ha. Pada tanah alfisol, dosis pupuk K yang dipilih adalah 120 K₂O dengan produksi tebu 133,42

ton/ha. Pada tanah vertisol, dosis pupuk K yang dipilih adalah 120 K₂O dengan produksi tebu 105,52 ton/ha.

Rekomendasi Pemupukan Pada Tebu

Dari Hasil penelitian pemupukan pada empat jenis tanah (entisol, alfisol, vertisol, dan inceptisol) selama dua tahun berturut-turut (pada tebu tanam pertama dan tebu raton) dapat disusun rekomendasi pemupukan tebu. Jenis tanah entisol rekomendasinya 180–220 kg N + 108 kg P₂O₅ + 90–180 kg K₂O per hektar (Tabel 11).

Tabel 12. Rekomendasi pemupukan N, P, dan K tanaman tebu pada empat jenis tanah

No.	Jenis Tanah	Rekomendasi pemupukan		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1.	Entisols	180–220	108	90–180
2.	Alfisols	140–180	72–144	120
3.	Vertisols	180	72–108	60–120
4.	Inceptisols	140–180	45–90	120–180

Penutup

Persyaratan tanah untuk tanaman tebu pada topografi dengan ketinggian kurang dari 500 mdpl dengan curah hujan 1.000–1.300 mm per tahun. Tekstur tanah dapat menjamin kecukupan air yang optimal yaitu lempung berpasir dan lempung liat, dengan solum tanah >60 cm. Derajat keasaman (pH) tanah yang paling sesuai untuk pertumbuhan tebu berkisar antara 5,5–7,0. Tanaman tebu sangat tidak menghendaki tanah dengan kandungan Cl tinggi. Peta tipologi lahan dapat digunakan dasar untuk menentukan tipe kemasakan varietas yang akan ditanam agar diperoleh produksi yang optimal selama musim giling.

Nitrogen merupakan salah satu dari unsur utama yang sangat diperlukan oleh tanaman tebu untuk pertumbuhan vegetatif (tunas, batang dan daun) serta meningkatkan hasil dan kualitasnya. Defisiensi nitrogen dapat menyebabkan pertumbuhan tanaman terhambat seperti pertumbuhan batang dan daun mengecil. Gejalanya terlihat dari warna daun yang pucat kekuningan, ruas batang lebih pendek, diameter batang makin kecil, pertumbuhan akar terganggu sampai menjadi nekrotik apabila defisiensi berkelanjutan. Namun kelebihan nitrogen dapat menyebabkan keracunan, memperpanjang pertumbuhan vege-

tatif, memperlambat kemasakan, mengurangikadar gula, mudah roboh dan lebih peka terhadap hama dan penyakit. Untuk meningkatkan efisiensi penyerapan nitrogen, perlu diperhatikan dosis, frekuensi, cara dan waktu aplikasi pupuk N.

Ketersediaan P-tanah dan aplikasi pupuk P sangat memperbaiki pertumbuhan tebu, hasil tebu dan kualitas rendemennya. Indeks luas daun tanaman tebu dan produksi bahan kering meningkat pada aplikasi pupuk P dosis tinggi. Distribusi pertumbuhan akar tanaman tebu kearah vertikal dan horizontal juga berhubungan erat dengan ketersediaan P-tanah. Aplikasi pupuk P dosis tinggi dalam strategi pemupukan berimbang sangat meningkatkan hasil tebu dan hasil gula. Perbaikan ketersediaan P-tanah, dapat meningkatkan hasil tebu hingga 31% dibandingkan dengan kondisi kontrol.

Pemberian kalium melalui pemupukan pada tanaman tebu sering dilakukan. Pada kondisi kadar K tanah sangat tinggi tidak perlu lagi diberikan pupuk K, karena K tersedia dalam tanah dalam bentuk K dapat ditukarkan sangat efektif diserap oleh akar. K dibutuhkan banyak pada fase pemanjangan batang, maka pemberian pupuk K dapat dilakukan pada saat bersamaan tanam (dikarenakan K tidak mudah hilang tercuci) atau pada saat tanaman tebu berumur 1–2 bulan. Peningkatan hasil tebu akibat pemupukan kalium, ada kalanya diikuti oleh peningkatan rendemen, dan ada kalanya tidak diikuti oleh peningkatan rendemen. Penyerapan kalium oleh tanaman tebu yang berlebihan dari dalam tanah dapat mereduksi pembentukan sukrosa selama proses penggilingan tebu.

Daftar Pustaka

- Achieng, G., S. Nyandere, P. Owuor, G. Abayoand, C. Omondi. 2013. "Effects of rate and split application of nitrogen fertilizer on yield of two sugarcane varieties from ratoon crop". *Greener Journal of Agricultural Sciences*. Kenya, 3(3): 235–239.
- Ahmed, K., A. Khatri, G. Nizamani, M. Siddiqui, S. Raza, N. Dahar. 2005. "Effect of NPK fertilizers on the growth of sugarcane clone AEC86-347 developed at Nia, Tando Jam, Pakistan". *Pak. J. Bot*, 37(2): 355–360.
- Almeida, J.D. Hilario, F.J. Cruz, A. Marcio, R.A. Flores, R.D.L. Vasconcelos. 2015. "Decreased potassium fertilization in sugarcane ratoons grown under straw in different soils". *UNESP*, 9(7):596–604.
- Amaliotis, D., Therios, I., Karatissiou, M. 2004. "Effect of Nitrogen Fertilization on Growth, Leaf Nutrient Concentration and Photosynthesis in Three Sugarcone Cultivars". *ISHS. Acta*, 449: 36–42.
- Anderson, D.L. and J.E. Bowen. 1990. *Sugarcane Nutrition*. Atlanta: Potash and Phosphate Institute, 39p.
- Arifin, B. 2008. "Ekonomi Swasembada Gula Indonesia". *Economic Review*. September.

- Ashraf, M.Y., Faqir H., Javed, Akhter, Attiya, G., Marcuss R., George E. 2008. "Effect of different sources and rates of nitrogen and supra optimal level of potassium fertilization on growth, yield and nutrient uptake by sugar cane grown under saline conditions". *Agricultural Advisory Departements*, 40(4):1521–1531.
- Bokhtiar, S. M. and K. Sakuari. 2003. "Sugarcane response to soil phosphorus (Bangladesh)". *Better Crops International*, 17(1):20–25.
- Buckman, H.O. and Brady, N.C. 1982. *Ilmu Tanah*. Terjemahan Prof. Dr. Sorgiman. Jakarta: Bhatara Karya Aksara.
- Chapman, L.S. 1980. "Long term responses in cane yields and soil analyses from potassium fertilizer". Proceedings of the 1980 Conference of the Australian Society of Sugar Cane Technologists: 63–68.
- Chudhry, A. U. and A. Ahmed. 2000. "Determination of optimum level of potash and its effect on yield and quality of sugarcane". *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 3(7):152–1153.
- Djaenudin, D., H. Marwan, Hidayat, A. 2011. *Petunjuk Teknis Evaluasi Lahan untuk Komoditas Pertanian*. Bogor: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Lahan Pertanian.
- Donaldson, R. A., Meyer, J. H. and Wood, R. A. 1990. "Response to potassium by sugarcane grown on base saturated clay soils in the Eastern Transvaal lowland". *Proceedings of the Annual Congress of South African Sugar Technologists Association*, 64:17–21.
- Flores, A. Rilner., D M. Renato, J A. Hilario, A P. Marcio, R M. Leandro and L R D S. Carlos. 2014. "Potassium nutrition in sugarcane ratoons grown in Oxisols by a conservationist system". *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci*, 14(7):652–659.
- Fortes, C. Vitti, A. Otto, R. Ferreira, D. Franco, H. Trivelin, P. 2013. "Contribution of nitrogen from sugarcane harvest residues and urea for crop nutrition". *Sci. Agric*, Vol 70, p. 313–320.
- Franco, H. Trivelin, P. Otto, R. Vitti, A. Oliveira, E. 2010. *Utilization by Plant Cane, and First and Second Ratoon Crops of Nitrogen Fertiliser Applied at Planting*, p. 287–290.
- Gava, G. Trivelin, P. Vitti, A. Oliveira, M. 2008. "Urea and sugarcane straw nitrogen balance in a soil-sugarcane crop system". *Beasilia.Pesq.Agropec*, 40:689–695.
- Ghaffar, M. A., Farrukh S., Asghar A., Azza Muhammad R. 2010. "Effect of K₂O levels and its application time on growth and yield of sugarcane". *Sugarcane Research Institute*, 48(3):315–325.
- Glendenning, J.S. 1999. "Potassium". *Australian Soil Fertility Manual*. Eds: J.S. Glendenning. Australia: Fertilizer Industry Federation of Australia Inc. & CSIRO, p.41–47.
- Hakim, M. dan S. Djakasutami. 2009. "Pemupukan nitrogen pada tanaman tebu untuk mencapai hasil maksimum". Artikel Tebu (Kumpulan Artikel Dari Universitas Padjajaran Bandung. Diakses pada tanggal 18 Agustus 2016. <https://www.scribd.com/>
- Hakim, M dan M. Arifin. 2011. *Beberapa Cara Perbaikan Tanam pada Tanaman Tebu Ratoon*. Bandung: Fak. Pertanian Universitas Padjajaran.
- Halliday, D.J. & M.E. Trenkel. 1992. *World Fertilizer Use Manual*. Paris: International Fertilizer Industry Association.
- Harjanti, R., Tohari, S. Utami. 2004. "Pengaruh takaran pupuk nitrogen dan silika terhadap pertumbuhan awal (*Saccharum officinarum* L.) pada inceptisol". *Vegetalika*, 3(2): 35–44.

- Hidayat dan Mulyani. 2002. *Lahan Kering untuk Pertanian, dalam Teknologi Pengelolaan Lahan Kering Menuju Pertanian Produktif dan Ramah Lingkungan*. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat.
- Humbert, R.P. (1971). "The nutrition of sugarcane". *Sugarland*, (4): 21–28.
- Hunsigi, G. 1993. *Production of Sugarcane, Theory and Practice*. Berlin: Springer-Verlag.
- Hunsigi, G. 2011. "Potassium management strategies to realize high yield and quality of sugarcane". *Karnataka J. Agric. Sci.*, 24(1):45–47.
- Indrawanto, C., P. Siswanto, M. Syakir dan W. Rumini. 2010. *Budi Daya dan Pascapanen Tebu*. Jakarta: Eska Media. p. 4–5.
- Ismail, S., N. Khasim, and R.J.R. Omar. 2009. "Double-row avenue system for crop integration with oil palm". MPOB Information Series No. 424.
- Joris, H., T. Souza, Z. Montezano, V. Vargas, H. Cantarella. 2014. "Evaluating nitrogen behavior in sugarcane after fertilization using leaf and sap extract analyzes". *American Journal of Plant Sciences*, 5:2655–2664.
- Kadarwati F.T., P.D. Riajaya, Djumali. 2013. "Sebaran tipologi lahan dan kesesuaiannya dengan tipe kemasakan varietas tebu". *Laporan Hasil Penelitian Anggaran APBN 2013*. Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat.
- Kadarwati F.T., S. Hidayati, S., M. Romli dan Mastur. 2014. "Penetapan dosis pupuk berbasis analisis tanah di beberapa lokasi pengembangan tebu (tebu PC)". *Laporan Hasil Penelitian Anggaran APBN 2014*. Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat.
- Kadarwati F.T., S. Hidayati, S., M. Romli dan Mastur. 2015. "Penetapan dosis pupuk berbasis Analisis tanah di beberapa lokasi pengembangan tebu (Tebu Ratoon/RC1)". *Laporan Hasil Penelitian Anggaran APBN 2014*. Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat.
- Kalsim DK dan Sapei A. 2003. *Fisika Lengas Tanah*. Bogor: Jurusan Teknik Pertanian, Fateta IPB.
- Khan, I. Khatri, A. Nizamani, G. Siddiqui, M. Raza, S. Dahar, N. 2005. "Effect of NPK fertilizers on the growth of sugarcane clone AEC86-347 developed at NIA, Tando Jam, Pakistan". *Pak. J. Bot.*, 37(2): 355–360.
- Kingston, G. and R. L. Aitken. 2000. Factors affecting the residual value of lime. In: *Activity Papers 1995–2000: A Synopsis of Research & Development Activities*, Cooperative Research Centre for Sustainable Sugar Production, Occasional Publication, Townsville, Australia. pp. 153–159
- Kingston, G. & M.C. Anink. 2008. Acquisition of nitrogen. by ratoon crops of sugarcane as influenced by waterlogging and split applications. *Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists*, 30, 202–211.
- Kingston, G., M.C. Anink, B.M.Clift and R. Beattie. 2009. "Potassium management for sugarcane on base saturated soils in northern New South Wales". *Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists*, 31:186–194.
- Kingston, G. 2014. "Mineral Nutrition of Sugarcane". *Sugarcane: Biochemistry, and Functional Biology*. Edts. Paul H. Moore and Frederick C. Botha. John Wiley & Sons, Inc. p. 85–120.
- Koochekzadeh, A., G. Fathi, M.H. Gharineh, S.A. Siadat, S. Jafari, Alami-Saeid, Kh. 2009. "Impacts of rate and split application of N fertilizer on sugarcane quality". *International Journal of Agricultural Research*. 4(3):116–123.
- Korndorfer, G.H., Colombo, C.A., and Rodrigues, L.L. 1998. "Effect of thermo-phosphate as a silicon source for sugarcane". *Inter-American Sugar Cane Seminar 1998*.

- Khuhro S., Muneer A., M. Ramzan., Mustajab A.K. dan Shahmir A.K. 2014. "Assessing potassium nutrition status of sugarcane through soil and plant analysis". *Faculty of Crop Production*, 4:53–60.
- Rajendra, K., Sharma S.C., Singh N.P. 2007. "Study of the optimum time of harvesting and dose of potash for maximum sugarcane yield by using response surface methodology". *Bhartiya Krishi Anusandhan Patrika, BVAAP*, 15(2):172–175.
- Matin. A. Md, Kazuhiro Oya, Toshiya Shinjo, and Tsuyoshi Horiguchi. 1997. "Phosphorus nutrition of sugarcane: growth, yield and quality of sugarcane as affected by soil phosphorus levels". *Jpn. J. Trop. Agr*, 41(2):52–59.
- Markley J. and B. Refalo. 2011. "Reducing the environmental impact and optimizing nutrient requirements for mill mud applications in cane farming operations". *Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists*, 11 pp.
- McCray J.M. dan Mylavarapu, R. 2008. "Sugarcane nutrient management using leaf analysis". *Sugarcane Handbook, University of Florida*. EDIS Publication #SS-AGR-335p. Diakses 12 September 2016. <http://edis.ifas.ufl.edu/sco38>.
- McCray, J.M., R.W. Rice, Y.Luo, and S.Ji. 2012. "Phosphorus fertilizer calibration for sugarcane on everglades histosols". *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 43:2691–2707.
- McCray J. M., Ronald W. Rice, Yigang Luo and Shangning J^a. 2013. Sugarcane Response to Phosphorus Fertilizer on Everglades Histosols. Univ. of Florida, EREC, 3200 E. Palm Beach Rd., Belle Glade, FL 33430, Univ. of Florida/Palm Beach County Extension Service, 2976 State Rd. 15, Belle Glade, FL 33430
- Medina, N.H., M.L.Branco, M.A.Silveira dan R.B.Santos. 2013. "Dynamic distribution of potassium in sugarcane". *Journal of Environmental Radioactivity*. 126C:172–175.
- Mengel, K. and E.A Kirkby. 1982. *Principles of Plant Nutrition*. International Potash Institut. Switzerland.
- Muchovej, R.M. and Newman P.R. 2004. "Nitrogen fertilization of sugarcane on a sandy soil: i. yield and leaf nutrient composition". *Journal American Society Sugarcane Technologists*. 24:210–224.
- Mulyadi, M., Aris Toharisman dan Mirzawan, PDN. 2008. *Identifikasi Potensi Lahan Untuk Mendukung Pengembangan Agribisnis Tebu di Wilayah Timur Indonesia*. Pasuruan: P3GI. www.sugarresearch.orgv (Potensi Lahan Tebu Indonesia Timur -P3GI, 2009).
- Mulyadi, M., Aris Toharisman dan Mirzawan, PDN. 2009. *Identifikasi Potensi Lahan untuk Mendukung Pengembangan Agribisnis Tebu di Wilayah Timur Indonesia*. 9p
- Nyandere A.G., S. Owuor, P. Abayoand, G. Omondi, C. 2013. "Effects of rate and split application of nitrogen fertilizer on yield of two sugarcane varieties from ratoon crop". *Greener Journal of Agricultural Sciences*, 3(3):235–239.
- Nuryanti, Sri. 2007. "Usahatani Tebu Pada Lahan Sawah dan Tegalan di Yogyakarta dan Jawa Tengah". Skripsi. Diakses tanggal 18 Juli 2016.
- Otto, R. Franco, H. Faroni, C. Vitti, A. Oliveira, E. Sermarini, R. Trivelin, P. 2014. "The role of nitrogen fertilizers in sugarcane root biomass under field conditions". *Agricultural Science*, p. 1527–1538.
- Pawirosemadi, M. 2011. *Dasar-dasar Teknologi Budi daya Tebu dan Pengolahan Hasilnya*. Malang: UM Press, 811p.
- Perez, Ovidio and Mario Melgar. 2000. "Sugar cane response to potassium fertilization on andisol, entisol, and mollisol soils of Guatemala". *Better Crops International*, 14(1).

- Pramono, D. 1995. *Sugarcane white grub in Indonesia*. Paper contributed for crop compedium. London: C.A.B International, 21 pp.
- PT. Perkebunan Nusantara X. 2012. *Strategi PT Perkebunan Nusantara X dalam Meningkatkan Rendemen dan Produktivitas Tebu*. Makalah disampaikan pada Semiloka Tanaman Pemanis, Serat, Tembakau, dan Minyak Industri. Malang: Balittas, 10 Oktober 2012.
- Ramadhan, I.C., Taryono, dan R. Wulandari. 2014. “Keragaan pertumbuhan dan rendemen lima klon tebu (*Saccharum officinarum* L.) di ultisol, vertisol, dan inceptisol”. *Vegetalika* 3(4):77–87
- Ricardo de L. Vasconcelos, Renato de M. Prado Cid N. S. Campos Gustavo Caione, Hilário J. de Almeida Leandro R. Moda, Fernando T. Mello, Claudia C. Dela Marta. 2015. “Sources of phosphorus with sugar cane filter cake on the nutritional status and productivity of sugarcane (*Saccharum officinarum* L) cultivated in red-yellow latosol”. *Australian Journal of Crop Science*, 8(11):1467–1474.
- Rice, R.W., R.A. Gilbert, and J.M. McCray. (2008). “Nutritional Requirements for Florida Sugarcane”. *Sugarcane Handbook*, University of Florida. EDIS Publication #SS-AGR-228. Diakses pada tanggal 21 November 2016. <http://edis.ifas.ufl.edu/sc>.
- Rilner Alves F., dkk. 2014. *Pottasium Nutrition in Sugarcane ratoons Grown in Oxysoils by a Conservationist System*,. Vol. 14 (7):652-659. Brazil. *American-Eurasian J. Agric. & Environ.Sci*.
- Robinson, N., A. Fletcher, A. Whan, C. Critchley, N. Von Wiren, P. Lakshmanan and S. Schmidt. 2007. “Sugarcane genotypes differ in internal nitrogen use efficiency”. *Func. Plant Biol.* 34: 1122–1129.
- Santo, L.T., M.H. Nakahata, G. P., Ito. 2000. “Calcium and liming trials from 1994 to 1998 at HC&S”. *Technical Supplement to Agronomy Report 83*, Honolulu: Hawaii Agricultural Research Center, 20 p.
- Sime, M. 2013. Effect of Different Nitrogen Rates and Time of Application in Improving Yield and Quality of Seed Cane of Sugarcane (*Saccharum spp.* L.) Variety B41/227. *International Journal of Scientific and Research*, 3(1): 1–7.
- Sugiyarta, E., Mirzawan P.D.N., Lamadji dan H. Budhisantoso. 2000. “Konsep Penataan Varietas Unggul di Wilayah Pabrik Gula”. Pasuruan: Prosiding Pertemuan Teknis, 6p.
- Skilton, J.A., G. Kingston, and R.L. Aitken. 2000. Magnesian-sodic groundwater—what are the impacts on the soil resource? In: *Soil 2000: New Horizons for a New Century* (eds J.A. Adams & A.K. Metherell), Vol. 2: Oral Papers, pp. 273–274. Australian and New Zealand Joint Soils Conference, Lincoln University (3–8 December 2000), New Zealand Society of Soil Science.
- Sugiyarta, E. 2012. “Revitalisasi on farm berbasis penataan varietas pada budi daya tanaman tebu”. Makalah disampaikan pada Pertemuan Teknis: Berbagi Pengalaman dalam Peningkatan Produktivitas dan Efisiensi untuk Kemajuan Industri Gula Nasional. Pasuruan: Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia, 18p.
- Suhadi, Sumojo, dan Marsadi. 1998. “Beberapa masalah pada tanah di perkebunan tebu lahan kering di luar Jawa”. *Seminar Budi daya Tebu Lahan Kering*. Pasuruan: P3GI, 18p.
- Sundara, B. 1998. *Sugarcane Cultivation*. First Edition. New Delhi:Vikas Publishing House Pvt Ltd, 86p.
- Sys, C., E. Van Ranst, J. Debaveye, and F. Beenaert. 1993. “Land Evaluation, part III, Crop Requirements”. *Agricultural Publications No. 7*. Brussels, Belgium: General Administration for Development Cooperations, 199p.

- Teshome, Z. Abejehu, G. Hagos, H. 2014. "Effect of nitrogen and compost on sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) at Metahara Sugarcane Plantation". *Adv Crop Sci Tech*, 2:153–156.
- Teshome, Z. Fantaye and A. Hagos, H. 2014. "Effect of Nitrogen and Phosphorus on Yield Components, Yield and Sugarcane Juice Quality parameters of Soybean-Sugarcane Intercropping at Tendaho Sugar Factory". *Biochem Physiol*, 4:151–155.
- Toharisman, A., Suhadi, dan M. Mulyadi. 1991. *Pemakaian Blotong untuk Meningkatkan Kualitas Tebu di Lahan Kering. Pertemuan Teknis TT I/1991*. Pasuruan: P3GI, 9p.
- Trautmann, N.M., K.S. Porter, and R.J. Wagenet. 2007. *Nitrogen*: New York: The Essential Element. 67p.
- Tsado P.A., B. A. Lawal, C.A. Igwe, M.K.A. Adeboye, A.J. Odojin, A.A. Adekambi. 2013. *Effects of Sources and Levels of Phosphorus on Yield And Quality of Sugarcane in Southern Guinea Savanna Zone of Nigeria*. Minna, Nigeria: Department of Soil Science, Federal University of Technology, PMB 65, p:25–27.
- Vieira, M. Trivelin, P. Franco, H. Otto, R. Faroni, C. 2010. "Ammonium chloride as nitrogen source in sugarcane harvested without burning". *R. Bras. Ci. Solo*, 34:1165–1174.
- Wood, R.A. 1990. "The roles of nitrogen, phosphorus and potassium in the production of sugarcane in South Africa". *Fertilizer Research*, 26:87–98.
- Wood, A.W., B.L. Schroeder., and R.L. Stewart. 2003. "Soil specific management guidelines for sugarcane production". *Soil Reference Booklet for the Herbert District, Technical Publication*. Townsville: Cooperative Research Center for Sustainable Sugar Production, 92 p.
- Wood, A.W. and B.L. Schroeder. 2004. *Pottasium: A critical role in Sugarcane production, Particularly in drought conditions, Vol. 26*. Bundaberg: BSES Limited.