

Pengelolaan Hara Lestari (*Sustainable Nutrient Management*) di Lahan Pertanaman Tebu

Sustainable Nutrient Management in Sugarcane Fields

Anna Kusumawati^{1*}, Syamsu Alam²

¹Program Studi Pengelolaan Perkebunan D-IV, Politeknik LPP, Yogyakarta (55222), Indonesia

²Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Halu Oleo, Kendari (93232), Indonesia.

*Penulis korespondensi: kusumawatianna@gmail.com

Received November 2021, Accepted December 2021

ABSTRAK

Keadaan pergulaan di Indonesia yang semakin menurun dari sisi produksinya, ketidakseimbangan antara produksi dan konsumsi, terjadi bisa disebabkan karena dua hal, baik on-farm maupun off-farm. Penanaman secara monokultur dalam jangka waktu yang lama akan menyebabkan kondisi kesuburan tanah berkurang sehingga produktivitas tanaman tebu menurun. Pengelolaan hara lestari pada pertanaman tebu ini merupakan sebuah upaya yang dilakukan mendapatkan produktivitas optimal dan menguntungkan, dengan tetap berupaya tidak melakukan perusakan terhadap lingkungan sehingga dapat lestari dan dapat dipertahankan produktivitasnya dalam jangka panjang. Beberapa konsep agar lestari banyak dikemukakan para pakar diantaranya penggunaan pupuk spesifik lokasi, mempertahankan kesuburan tanah dengan menggunakan produk samping pengolahan gula dan penggunaan humat. Diharapkan beberapa cara aplikasi tersebut dapat mempertahankan pertanaman tebu agar lestari.

Kata kunci: *sustainable nutrient management*; tebu; monokultur.

ABSTRACT

The state of sugar in Indonesia which is decreasing in terms of production, the imbalance between production and consumption, can occur due to two things, both on-farm and off-farm. Planting in monoculture for a long period of time will cause reduced soil fertility conditions so that sugarcane productivity decreases. Sustainable nutrient management in sugarcane plantations is an effort made to obtain optimal and profitable productivity, while still trying not to damage the environment so that it can be sustainable and its productivity can be maintained in the long term. Several concepts for sustainability have been put forward by many experts, including the use of site-specific fertilizers, maintaining soil fertility by using sugar processing by-products and the use of humic. It is hoped that some of these application methods can maintain sugarcane plantations to be sustainable.

Keywords: *sustainable nutrient management; sugarcane; monoculture.*

PENDAHULUAN

Tebu merupakan tanaman yang penting untuk agro-ekonomi gula dan saat ini dimanfaatkan sebagai sumber bahan bakar alami dan terbarukan di seluruh dunia (Solanki et al., 2016). Indonesia adalah negara yang penting dalam produksi gula di wilayah Asia. Saat ini Indonesia dikenal sebagai negara yang memiliki tingkat konsumsi gula terbesar ke-7 di dunia, dan negara pengimpor gula terbesar kedua setelah Cina. Pada tahun 2012-2013 produksi gula di Indonesia mencapai 33 juta ton dengan total produksi 2,3 juta ton pada tahun 2013 dan 2,5 juta ton pada tahun 2014-2015. Produksi gula di Indonesia dimulai pada empat abad yang lalu, dan Indonesia menjadi negara pengeksport gula terbesar ke-dua setelah Cuba. Puncaknya pada tahun 1930, ketika produksi gula di Indonesia mencapai 3 juta ton, dimana 2,2 juta ton di ekspor ke Eropa. Saat ini situasi berubah secara dramatis karena dalam 45 tahun terakhir, Indonesia telah menjadi importir gula bersih dengan konsumsi gula dalam negeri tumbuh melampaui produksi meningkat karena berbagai alasan. Pada tahun 2011,

hasil gula rata-rata hanya 5ton/ha, hanya sepertiga dari yang dicapai 80 tahun yang lalu (Swapna et al., 2016). Konsumsi gula Indonesia dalam segmen ritel konsumen 3 juta ton per tahun, sementara produksi gula nasional hanya sekitar 2,5 juta ton per tahun sehingga kekurangan 300.000-500.000 ton gula (Toharisman & Triantarti, 2016).

Keadaan pergulaan di Indonesia yang semakin menurun dari sisi produksinya, ketidakseimbangan antara produksi dan konsumsi, terjadi bisa disebabkan karena dua hal, baik *on-farm* maupun *off-farm*. Dari sisi *off-farm*, Indonesia saat ini memiliki 63 pabrik gula milik 18 perusahaan. Mayoritas pabrik-pabrik tua karena kurangnya investasi dan memiliki produktivitas yang rendah. Kondisi pabrik yang kurang maksimal seperti mesin di pabrik yang sudah sangat tua dan tingginya biaya produksi menyebabkan tingkat efisiensi yang rendah dari pabrik. Rendahnya produksi gula juga disebabkan faktor *on-farm* meliputi varietas dan kondisi kesuburan lahan. kandungan sukrosa yang rendah dari varietas tebu yang ditanam dan rendahnya produktivitas tebu

juga menjadi kendala sehingga untuk mencukupi kebutuhan, pemerintah Indonesia telah melakukan upaya untuk menambah lahan tebu baru seluas 350.000 ha untuk dapat menaikkan hasil tebu hingga 6000-15.000 ton/hari (Toharisman & Triantarti, 2016).

Kondisi lahan yang ditanami tebu di Indonesia mengalami penurunan secara cepat. Tebu adalah tanaman yang sangat haus akan hara. Beberapa penelitian telah menemukan bahwa permasalahan serius dalam budidaya tebu adalah tingginya pencucian hara pupuk. Rata-rata jumlah hara yang tercuci selama periode penelitian 11 bulan adalah 4.5 kg N/ ha, 13 kg K/ha, 320 kg Ca/ha dan 80 kg Magnesium/ha (Wagner de Oliveira *et al.*, 2002). Peneliti lain juga melihat kehilangan hara sebesar 205 kg N; 55 kg P₂O₅; 275 kg K₂O; 30 kg S; 3,5 kg Fe; 1,2 kg Mn; 0,6 kg Zn dan 0,2 kg Cu dari tanah untuk hasil tebu dari 100 t/ha. Efisiensi tebu untuk memanfaatkan N yang diaplikasikan berkisar antara 16%-45% dan angka ini adalah juga sebagai akibat dari pelindian N melalui lapisan tanah karena irigasi yang diterapkan pada tanaman tebu (Yadav & Prasad, 1992).

Penanaman tebu secara konvensional dalam jangka panjang mempengaruhi kualitas tanah dan kemungkinan menjadi penyebab penurunan hasil produksi. Penanaman jangka panjang tersebut menyebabkan penurunan jumlah bahan organik tanah, N total, P tersedia dan kadar K dapat dipertukarkan. pH tanah tidak mengalami perubahan dalam penanaman konvensional tebu selama 50 tahun. Kondisi ini diperburuk dengan penggunaan alat berat mekanisasi pertanian sehingga menyebabkan pemadatan tanah. Oleh karena itu, penambahan bahan organik dirasa perlu untuk tetap mempertahankan produksi jangka panjang pertanaman tebu secara konvensional (Dengia & Lantinga, 2016).

Produktivitas tanaman tebu juga akan menjadi berkurang jika kondisi kehilangan hara tinggi, termasuk didalamnya unsur hara mikro. Defisiensi mikronutrien merupakan salah satu faktor pembatas tebu di seluruh dunia. Defisiensi ini dikarenakan berbagai faktor-faktor seperti penggunaan pupuk yang rendah, peningkatan produktivitas pertanian, penurunan kadar bahan organik tanah, peningkatan budidaya di daerah dengan tanah dengan kesuburan rendah, dan berkurangnya aplikasi residu organik di daerah yang dibudidayakan (Fageria *et al.*, 2002).

Beberapa permasalahan diatas sebetulnya dapat diatasi jika bahan organik yang ada dilahan tetap dijaga keberadaannya. Dampak peningkatan periode tanam di lahan tebu monokultur pada kandungan bahan organik tanah sudah banyak diteliti. Kandungan bahan organik di perkebunan tebu di Afrika mengalami penurunan secara eksponensial dengan meningkatnya tahun pada penanaman tebu. Hilangnya karbon tanah pada lahan tebu dikarenakan penurunan mikroba biomassa C tanah dan stabilitas agregat (Dominy *et al.*, 2002). Kondisi penurunan C-organik seiring dengan makin lamanya digunakan sebagai lahan tebu juga dilihat sama oleh peneliti lain. Setelah lebih dari 20 tahun tanaman tebu, ada

kehilangan dari 40% karbon dan 35% N tanah (Franco *et al.*, 2015).

Beberapa alternatif mempertahankan kondisi kesuburan lahan pertanaman tebu agar produktifitasnya tetap tinggi telah banyak diteliti. Salah satu alternatif untuk mempertahankan produktifitas lahan tebu meskipun penanaman dilakukan secara monokultur dan dalam jangka waktu yang lama adalah dengan melakukan pengelolaan hara lestari.

Pengelolaan Hara Lestari (Sustainable Nutrient Management)

Istilah pengelolaan nutrisi hara yang berkelanjutan (*sustainable nutrient management*) ini diawali dengan adanya istilah yang dikenal dengan pembangunan berkelanjutan. Pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) adalah pembangunan yang telah memenuhi tuntutan hari ini tanpa merusak kemungkinan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka. Pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) didukung oleh adanya produksi makanan yang berkelanjutan (*sustainable food production*). Produksi makanan yang berkelanjutan (*sustainable food production*) merupakan sebuah kondisi yang dirumuskan dengan tujuan untuk mencari acuan dalam pengembangan ke arah yang berkelanjutan seperti solusi yang berkelanjutan dalam sistem pangan dengan fokus adalah dalam penggunaan sumber daya alam yang tidak memberikan dampak buruk kepada lingkungan serta memberikan kualitas produk yang baik (Robèrt *et al.*, 2002). Untuk mewujudkan produksi makanan yang berkelanjutan (*sustainable food production*), perlu adanya pengelolaan hara lestari/berkelanjutan (*sustainable nutrient management*). Dalam pengelolaan hara lestari /berkelanjutan (*sustainable nutrient management*), keseimbangan elemen (*element balances*) dapat menjadi sebuah alat acu dalam mengetahui apakah sudah sesuai target yang diharapkan dari kondisi hara lestari dari pertanian ke sebuah lingkungan. (Born *et al.*, 2003).

Pengelolaan hara lestari pada pertanaman tebu ini merupakan sebuah upaya yang dilakukan mendapatkan produktivitas optimal dan menguntungkan, dengan tetap berupaya tidak melakukan kerusakan terhadap lingkungan. Dalam pengurangan biaya produksi juga, sangat perlu untuk mengurangi kehilangan dari pemberian pupuk, sehingga dengan begitu lebih bisa mempertahankan kesehatan tanah lebih lestari dan juga sebagai bentuk pertanggungjawaban terhadap lingkungan. Hara lestari ini dapat terwujud juga dengan pemberian rekomendasi hara spesifik lokasi. Ketidak efisiensi dari pemberian nutrisi (*nutrient*) disebabkan oleh beberapa penyebabnya antara lain pemberian rekomendasi yang sama untuk semua jenis/tipe tanah, rendahnya pemahaman mengenai kehilangan hara (*nutrient losses*) dan akibatnya, kelebihan pemberian beberapa hara terutama N dan P tetapi tidak dilakukan penambahan beberapa hara seperti K dan S, dsb. Konsep tersebut telah dibahas oleh

beberapa peneliti, dan dirumuskan adanya 6 tahapan dalam meningkatkan manajemen nutrisi sehingga tetap lestari. Terdapat 6 tahapan tersebut antara lain (Schroeder *et al.*, 2005):

1. mengetahui tipe tanah
2. memahami dan mengatur proses kehilangan hara
3. melakukan pengujian tanah secara regular
4. mengadopsi rekomendasi hara spesifik lokasi
5. melakukan analisa daun untuk melihat kecukupan hara yang diberikan
6. melakukan pencacatan terhadap modifikasi pemupukan yang dilakukan

Selain konsep diatas yang menitikberatkan pada kondisi lahan dan pemupukan yang efektif, konsep berkelanjutan dari pengelolaan hara lestari ini bisa memiliki pola konsep yang berbeda. Konsep lain menitik beratkan pada siklus hara, dimana proses pertumbuhan akan mengambil hara dari tanah, panen merupakan proses yang menyebabkan kehilangan hara terbesar dan jika dapat memutus proses kehilangan hara/nutrisi maka nutrisi yang ada akan lestari. Beberapa aplikatif yang mendukung konsep agar dapat mendukung pengelolaan hara lestari di lahan pertanian tebu antara lain:

1. Pemanfaatan hasil samping industri gula sebagai upaya kehilangan hara di lahan.

Penggunaan hasil samping ini dirasa sangat membantu karena sebuah industri gula akan menghasilkan hasil sampingan yang sangat banyak dan pasti membutuhkan ruang penyimpanan dan pembuangan yang luas, sehingga jika dapat digunakan kembali maka akan membantu, dimana bahan tersebut berpotensi digunakan sebagai sumber bahan organik (Dotaniya *et al.*, 2016). Bahan-bahan tersebut memiliki kandungan carbon tinggi sehingga diharapkan bisa meningkatkan produktivitas. Alternatif peningkatan carbon tanah dan mengurangi pemadatan tanah serta erosi yang sangat direkomendasikan untuk meningkatkan kualitas tanah dan keberlanjutan produksi tebu di Brazil (Cherubin *et al.*, 2016). Bahan tersebut antara lain:

a. Press Mud atau Filter cake

Press Mud atau *Filter cake* adalah nama lain dari blotong. Bahan ini merupakan limbah padat pabrik gula yang berasal dari stasiun pemurnian, berbentuk seperti tanah berpasir berwarna hitam dan memiliki bau tidak sedap ketika masih basah. Dalam sehari dapat dihasilkan 3,8-4% blotong dari jumlah tebu yang digiling. Sebagai gambaran, pada tahun 2003 dalam satu proses produksi di PG Kebon Agung dihasilkan blotong. Limbah organik dianggap sebagai sumber yang kaya akan hara makro dan mikro tanaman (Ariningsih, 2014).

Sampah Organik seperti *press mud* dihasilkan oleh industri tebu sebagai hasil samping dan ditandai dengan bentuk warna cokelat lembut, kenyal, amorf, dan gelap (Ghulam *et al.*, 2012). *Press mud* ini dihasilkan sebanyak 1-7 kg (berat basah) dari 100 kg tebu. Bahan ini menandung banyak kation basa seperti Na, K, Ca dan Mg sehingga bahan ini dapat

digunakan sebagai *soil amendment* (Kumar & Chopra, 2016).

Press mud mengandung 21% bahan organik dan kandungan yang banyak akan unsur hara makro dan mikro yang dapat mendukung pertumbuhan dan perkembangan mikroorganisme, meningkatkan KPK dan dapat berperan sebagai sumber hara (Vipin & Jha, 2016). Selain itu, bahan tersebut mengandung N 2%, P 1,1%, K 0,3%, Ca 2,1%, Mg 0,6 %, S 0,25% serta memiliki pH netral yaitu 7,7 (Prado *et al.*, 2013).

Aplikasi blotong pada lahan tebu selain dapat memperbaiki kondisi lahan (mempertahankan kesuburan tanahnya), hasil produksi tebu dan *cane juice quality* meningkat (Dotaniya *et al.*, 2016). Penggunaan terpadu sumber nutrisi tanaman organik dan anorganik tidak hanya mendaur ulang limbah organik tetapi juga menghemat sumber yang kaya nutrisi, yang dapat mengurangi ketergantungan pupuk kimia (Vipin & Jha, 2016).

b. Bagasse (ampas tebu)

Industri tebu selain dihasilkan gula sebagai produk utama, juga dihasilkan produk samping berupa tetes tebu (molase) dan ampas tebu (bagase) serta limbah buangan berupa daun tebu kering, pucuk tebu, sogolan, blotong, abu, dan limbah cair yang selama ini belum dimanfaatkan secara optimal. Beberapa alternatif pemanfaatan produk samping tersebut telah banyak diterapkan. Hasil kajian menunjukkan bahwa produk samping dan limbah buangan dari industri tebu mempunyai potensi pemanfaatan yang besar untuk dijadikan berbagai produk yang bernilai tinggi, sehingga penerapan industri tebu terpadu mempunyai dampak positif yang besar bukan saja terhadap lingkungan, namun juga terhadap perekonomian nasional, penciptaan kesempatan kerja, dan mendukung ketahanan pangan dan energi (Ariningsih, 2014).

Secara umum, ampas tebu mengandung sebagian besar selulosa 47-52%, hemiselulosa 25-28% dan lignin 20-21%. Terlepas ini 0,8-3% lainnya senyawa dan abu pra-dominan ditemukan. Penerapan ampas tebu dalam sistem produksi tanaman pertanian dapat mengurangi tingkat penggunaan pupuk. Bahan ini menghasilkan asam organik, yang memobilisasi P tidak larut dari tanah ke larutan tanah dalam bentuk labil. Selama aplikasi, disarankan bahwa ampas tebu ini benar cincang; dan diterapkan satu bulan sebelum bibit disemai di lapangan untuk penguraian yang tepat. Tingkat dekomposisi juga dipengaruhi oleh suhu, kelembaban, dan populasi dan keragaman tanah mikro-organisme (Dotaniya *et al.*, 2016).

Ampas tebu merupakan produk samping yang dihasilkan dalam proses pengolahan tebu menjadi gula, yang merupakan residu dari proses penggilingan tanaman tebu setelah diekstrak atau dikeluarkan niranya. Ampas tebu merupakan produk limbah berserat dan mempunyai tingkat higroskopis tinggi. Satu ton tebu dapat menghasilkan sekitar 300 kilogram ampas (30%). Hasil perhitungan dengan asumsi proses penggilingan tebu menjadi gula menghasilkan ampas tebu sebesar 32%, dihasilkan

sekitar 10,2 juta ton ampas tebu per tahun atau per musim giling se-Indonesia (Ariningsih, 2014).

c. Vinasse

Vinasse adalah produk samping dari proses pembuatan etanol pada industri pengolahan gula. Sebelum diketahui manfaatnya, vinasse sering dianggap sebagai limbah. Saat ini vinasse sudah banyak dimanfaatkan seperti sebagai bahan pupuk (Iqbal *et al.*, 2012). Vinasse dapat digunakan dalam beberapa penggunaan, akan tetapi memiliki kelebihan dan kelemahan. Vinasse sebagai pupuk cair untuk pemupukan di saluran irigasi memiliki keuntungan yaitu murah dan mudah aplikasi, akan tetapi belum diketahui efek jangka panjangnya serta biaya angkut yang tinggi. Selain itu, vinasse dapat digunakan untuk makanan hewan dan sumber protein makanan, tetapi kedua kegunaan ini belum banyak diteliti (Christofoletti *et al.*, 2013)

Kandungan vinasse sangat tergantung dari tanaman yang digunakan untuk proses pembuatan ethanol dan proses distilasi. Akan tetapi, sebagian besar vinasse memiliki kandungan K, Ca dan Mg yang paling tinggi dibandingkan ketersediaan hara lain seperti Mo, Zn, Cd, Cr, Cu dan Ni (Christofoletti *et al.*, 2013)

Aplikasi vinasse 2-3 tahun terus menerus untuk lahan pertanaman tebu menyebabkan berat volume tanah menurun, sedangkan total porositas meningkat di lapisan bajak tanah. Kandungan K tanah meningkat, dan tanah tidak menunjukkan fenomena pengasaman tanah. Vinasse yang diaplikasikan di ladang tebu menghasilkan peningkatan fisikokimia sifat tanah, tetapi pengerasan tanah dan pengasaman tanah tidak terdeteksi di lapangan. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan vinasse tidak hanya menyediakan berperan sebagai pupuk cair di bidang pertanian tetapi juga membantu dalam mengurangi polusi lingkungan yang dikenakan karena pelepasan non-diobati gula limbah industri (Jiang *et al.*, 2012). Penggunaan vinasse juga dikatakan dapat berperan sebagai bahan konservasi di lahan pertanian (Prado *et al.*, 2013)

China telah mencoba menggunakan vinasse pada pertanaman tebu. Hasil didapatkan bahwa penggunaan vinasse dapat meningkatkan produktivitas tebu dan kadar sukrosa dari tanaman (Y. C. Mo, Y. P. Ye, Q. Liang, 2009)

2. Pemanfaatan Bahan Humat

Humat adalah merupakan konstituen terbesar dari bahan organik tanah (60%), merupakan komponen kunci dari ekosistem darat, yang bertanggung jawab untuk berbagai reaksi kimia yang kompleks dalam tanah. Humat dikenal untuk meningkatkan agregasi tanah, kemampuan memegang air dan meningkatkan kapasitas permukaan kation tanah (KPK). Secara langsung pada tanaman, humat berperan dalam pertumbuhan tanaman yaitu berperan dalam menjaga permeabilitas membran, sebagai pembawa ion, mengaktifkan respirasi, berperan dalam siklus Krebs,

fotosintesis, dan produksi asam amino. Sebetulnya jika diteliti, Humat memiliki aktivitas biologis yang sangat kompleks, dan sangat tergantung pada asal-usulnya, ukuran molekul, karakteristik kimia, serta konsentrasi. Ini menunjukkan berbagai efek yang berbeda pada tanah maupun tanaman. Telah dibandingkan kualitas atau sifat kimia pada humat yang diekstrak dari dua tempat berbeda, yaitu wilayah yang ditanami rumput liar dan tanah hutan. Hasil didapat bahwa dari kedua tipe penggunaan tanah yang berbeda menghasilkan karakteristik senyawa humat yang berbeda secara signifikan seperti alifatik, jumlah betaine dan jumlah COOH. Humat dianggap sebagai semacam memori populasi mikroba dan tanaman penutup, di mana bahan aktif yang didalamnya bukan merupakan nutrisi mineral, tetapi asam organik dan metabolite biologi aktif dari berbagai mikroba. Humat yang berasal dari tanah dengan tanaman penutup yang berbeda memungkinkan memiliki komposisi kimia yang berbeda (Muscolo *et al.*, 2007).

Humus (humat dan fulvat asam) merupakan 65-70% dari bahan organik dalam tanah dan humus jangka secara luas diterima sebagai sinonim untuk bahan organik tanah. Kelompok-kelompok fungsional utama asam humat termasuk karboksil, hidroksil fenolik, hidroksil alkohol, keton dan quinoid (Russo & Berlyn, 1990). Senyawa humat memiliki peran ganda yang secara signifikan dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan senyawa humat meningkatkan sifat tanah (seperti agregasi, aerasi, permeabilitas, *water-holding capacity*), meningkatkan penyerapan nutrisi makro dan mikro, meningkatkan permeabilitas sel, memiliki efek merangsang pada respirasi, fotosintesis, protein dan sintesis asam nukleat, memodulasi aktivitas H⁺-ATPase, meningkatkan kandungan klorofil, meningkatkan toleransi stres, meningkatkan aktivitas populasi mikroba tanah dan hormonal. Efek positif dari asam humat pada pertumbuhan dan hasil dari beberapa tanaman seperti gandum, jagung (Eyheraguibel *et al.*, 2008) dan tomat telah dilaporkan. Aplikasi asam humat dapat meningkatkan pertumbuhan akar gula bit dibandingkan dengan kontrol. Alasannya adalah karena humat membuat khelat kompleks dengan hara mikro tanaman sehingga bisa mudah diambil tanaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan humat asam dapat meningkatkan kuantitas dan kualitas gula bit bahkan tumbuh di tanah berkapur (Rassam *et al.*, 2015).

Biofertilizer dianggap sebagai masukan penting untuk budidaya tanaman karena biaya rendah dan peran menguntungkan dalam meningkatkan hasil. Saat ini, karena kenaikan biaya pupuk kimia lebih menekankan diberikan untuk aplikasi pupuk hayati yang dapat memenuhi bagian dari kebutuhan pupuk dan membantu petani untuk mengurangi biaya budidaya. Biasanya, masa hidup diri dari pupuk hayati (masa pakai) adalah hingga 3 bulan saja. Dengan meningkatkan periode masa pakai banyak penelitian sudah dilakukan untuk meningkatkan periode masa pakai itu tergantung pada efisiensi ketegangan,

kondisi penyimpanan bahan pembawa. Penambahan asam humat 1% dan 1% *fly ash* dengan kemasan yang normal meningkatkan masa hidup hingga 5 bulan. Hal ini disebabkan adanya kandungan karbon tinggi dan bahan organik dalam asam humat dan *flyash*. Karbon dan bahan organik memfasilitasi pertumbuhan mikroorganisme dari bahan pembawa biasanya lignin (Jayanthi, 2009).

Penelitian juga telah dilakukan oleh Zhou dan Gwata (2015) untuk membandingkan hasil pembibitan tanaman tebu di lahan berpasir dan lahan yang memiliki humat (bahan organik) tinggi. Hasil yang didapat adalah bahwa bibit tebu yang dibesarkan ditanah yang memiliki humat tinggi akan menghasilkan rendemen yang lebih tinggi dibandingkan hasil produksi bibit yang ditanam di lahan pasiran. Akan tetapi, biomassa tanaman lebih banyak pada bibit yang diambil dari lahan berpasir dibandingkan pada lahan yang memiliki kandungan humat tinggi. Tanah yang memiliki kandungan humat tinggi memiliki kapasitas menahan air yang lebih tinggi dan oleh karena itu mempertahankan pertumbuhan aktif dalam tanaman tebu lama setelah akhir musim hujan dan selama periode panen. Kelembaban akan mendorong pertumbuhan lebih aktif, yang berbelok mengarah ke deposisi sukrosa berkurang di batang, karena kebanyakan dari karbohidrat akan digunakan untuk mempertahankan pertumbuhan. Perbedaan jenis tanah dan pengaruhnya terhadap kualitas tebu dapat digunakan secara strategis untuk mengembangkan kultivar yang mampu mempercepat akumulasi sukrosa sebagai di tanah humat dalam kasus ini (Zhou & Gwata, 2015).

Bahan seperti biochar dan humat sedang dipertimbangkan sebagai amandemen tanah dengan potensi untuk meningkatkan kesuburan tanah yaitu stabilitas C dan N tanah. Pemahaman tentang perubahan dinamika C dan N tanah mungkin terjadi setelah penambahan bahan pembenah tanah ini untuk memperbaiki struktur tanah, meningkatkan produktivitas, dan meminimalkan gas rumah kaca (Mukherjee et al., 2014). Penambahan humat dapat berperan dalam menjaga pH tanah (*buffering* pH) dan meningkatkan ketersediaan unsur hara mikro untuk tanaman. Setelah humat diaplikasikan, humat akan membentuk ikatan dengan koloid tanah dan sifat ikatannya sangat sukar untuk tercuci (Mackowiak et al., 2001). Pemberian humat juga terlihat meningkatkan ketersediaan P didalam tanah (He et al., 2006).

3. Aplikasi Kombinasi Pupuk Organik dan Anorganik

Ulasan percobaan jangka panjang yang dilakukan di seluruh dunia menunjukkan bahwa pupuk kimia saja tidak cukup untuk meningkatkan atau mempertahankan kesuburan tanah pada tingkat tinggi dan masalah pengasaman tanah yang disebabkan oleh *overapplication* pupuk sintesis N. Pupuk organik dapat meningkatkan kesuburan dan kualitas tanah, tetapi aplikasi jangka panjang pada tingkat tinggi juga dapat menyebabkan lebih banyak pencucian nitrat,

dan akumulasi P, jika tidak dikelola dengan baik. Kombinasi yang dikelola dengan baik pupuk kimia dan organik dapat mengatasi kelemahan tersebut dengan menerapkan sumber tunggal pupuk dan berkelanjutan mencapai hasil panen yang lebih tinggi, meningkatkan kesuburan tanah, mengurangi masalah pengasaman tanah, dan meningkatkan efisiensi hara digunakan dibandingkan dengan hanya menggunakan pupuk kimia. Kombinasi dari prinsip pengelolaan hara ini teruji merupakan teknologi pengelolaan tanaman modern yang diperlukan untuk mengembangkan sistem pengelolaan hara berkelanjutan di Cina yang dapat tepat sesuai pada pasokan gizi dan permintaan tanaman, meningkatkan efisiensi hara digunakan dan juga meningkatkan hasil panen serta melindungi lingkungan (Miao et al., 2011)

Penggunaan terpadu sumber nutrisi organik dengan pupuk anorganik ditunjukkan untuk meningkatkan potensi pupuk organik dan meningkatkan efisiensi pupuk anorganik. Gula hasil tertinggi (tanaman dan ratoon) tercatat dalam perlakuan pemberian 50% N melalui biocompost + 50% N melalui pupuk anorganik. Penambahan bio-kompos baik sendiri atau dalam kombinasi dengan anorganik pupuk-N secara signifikan meningkatkan karbon organik dan ketersediaan hara (N, P, K dan S) dengan pengurangan *bulk density* tanah pasca panen. Karbon organik tertinggi (6,2 g / kg) dan N (281,6 kg / ha), P₂O₅ (26,3 kg / ha), K₂O (129,5 kg / ha) dan S (33,6 kg / ha) tercatat pada perlakuan pemberian 150% N melalui bio-kompos. Densitas bervariasi 1,33-1,42 g/cm³. EC meningkat sementara pH menurun dengan meningkatnya presentase bio-kompos. Peningkatan yang signifikan dalam populasi mikroba juga tercatat dalam plot perlakuan bio-kompos. Setelah siklus tanaman ketiga dari sistem tebu tanam, penerapan bio-kompos baik sendiri atau dalam kombinasi dengan pupuk dapat meningkatkan secara signifikan semua bentuk N-fraksi atas kontrol. Di antara berbagai N-fraksi, non-terhidrolisis-N adalah N-fraksi yang dominan (Vipin & Jha, 2016).

Pemberian bahan organik pada penanaman tebu yang dicampur dengan bahan kimia memberikan dampak lebih baik pada penanaman tebu. Jumlah nitrogen yang diambil tanaman pada lahan yang ditambah mikroba dan bahan organik adalah 761.6 kg/ha, dimana ini masih memiliki sisa dari penambahan bahan tersebut untuk simpanan N tanah. Berbeda jika tanpa penambahan pupuk organik, maka keseimbangan N akan negatif. Tanaman tebu sangat respon pada penambahan berbagai organik pupuk dalam sistem *multi ratooning*, dimana output ekonomi dan kualitas tanah naik. Strategis perencanaan dalam hal aplikasi yang terintegrasi antara pupuk dengan bahan kimia anorganik tidak hanya mempertahankan tanah, tetapi juga akan bermanfaat bagi kami petani dalam hal mengurangi ketergantungan mereka dan pengeluaran mereka untuk pupuk kimia (Singh et al., 2007).

Tanggapan positif untuk aplikasi mikronutrien dan bahan organik diamati pada semua parameter. Hasil produksi tebu meningkat dengan penerapan

mikronutrien dengan urutan : Zn > Mo = Mn > Cu > B = pupuk mikro Lengkap, dengan jumlah produksi dari 18, 12, 12, 10, 9, dan 9 ton tebu per hektar (TCH). Tebu memberikan hasil positif pada aplikasi mikronutrien, terutama Zn pada masa pematangan, menunjukkan bahwa perlakuan ini mungkin meningkatkan sisi ekonomis dan meningkatkan produktivitas tebu di Brazil, membuat agribisnis tebu lebih berkelanjutan (Mellis *et al.*, 2016).

4. Penggunaan Inokulasi Mikroorganisme

Penggunaan inokulasi mikroorganisme juga banyak diterapkan untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman tebu, terutama saat ini tanaman tebu banyak ditanam pada lahan marginal, termasuk didalamnya lahan kering yang diketahui memiliki banyak faktor pembatas seperti air dan hara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa interaksi antara perlakuan pemberian JMA dengan pupuk SP-36 dan takaran kompos 20 ton/ha merupakan kombinasi terbaik dalam menghasilkan berat segar tajuk, berat kering tajuk, dan berat kering total tanaman tebu pada umur 80 hst yang ditanam pada lahan pasiran. Tidak terdapat interaksi antar perlakuan pada parameter tinggi tanaman, jumlah daun, diameter batang, jumlah ruas batang, panjang ruas batang, jumlah anakan, luas daun, volume akar, berat segar akar, berat segar total, dan berat kering akar. Perlakuan pemberian JMA memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan perlakuan tanpa JMA pada komponen pertumbuhan tanaman tebu secara umum. Perlakuan takaran kompos 20 ton/ha memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan perlakuan takaran kompos 10 ton/ha pada komponen pertumbuhan tanaman tebu secara umum (Leovini *et al.*, 2014).

Bakteri pemfiksasi nitrogen yang berasosiasi dengan tebu telah banyak diteliti. *Azospirillum* diteliti pada sebuah wilayah ternyata jumlahnya dipengaruhi oleh porositas tanah. Tanah yang didominasi oleh pasiran memiliki *Azospirillum* yang lebih sedikit (tidak kondusif sebagai media untuk *Azospirillum*). Fiksasi nitrogen ini oleh *Azospirillum* diperkirakan menghasilkan 25 kg nitrogen / ha / tahun (Purchase, 1980).

Aplikasi Fungi Mikoriza Arbuskulas (FMA) pada tanaman tebu di lahan kering memberikan dampak yang positif terhadap pertumbuhan dan produksi tebu, karena sistem perakaran tebu menjadi lebih baik sehingga mampu memperluas permulaan serapan hara dengan adanya hifa FMA (Sofyan *et al.*, 2005).

5. Pengembalian biomassa tebu ke lahan

Sisa biomassa tebu yang dikembalikan meningkat C organik dari waktu ke waktu sampai menyumbang sekitar 61% dari C organik di 10 cm permukaan di tanah pada lahan tebu untuk lebih besar dari 50 tahun. Disimpulkan bahwa produksi tebu bisa menyebabkan penurunan yang besar dalam kandungan bahan organik tanah dan bahwa praktek-praktek seperti panen tebu hijau, pengolahan nol dan penggunaan tanaman hijau harus dilakukan untuk

membantu memperbaiki masalah lahan tebu (Dominy *et al.*, 2002).

PENUTUP

Pengelolaan hara lestari pada pertanaman tebu ini merupakan sebuah upaya yang dilakukan mendapatkan produktivitas optimal dan menguntungkan, dengan tetap berupaya tidak melakukan perusakan terhadap lingkungan sehingga dapat lestari dan dapat dipertahankan produktivitasnya dalam jangka panjang. Beberapa konsep agar lestari banyak dikemukakan para pakar diantaranya penggunaan pupuk spesifik lokasi, mempertahankan kesuburan tanah dengan menggunakan produk samping pengolahan gula, penggunaan humat, dll. Diharapkan beberapa cara aplikasi tersebut dapat mempertahankan pertanaman tebu agar lestari.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariningsih, E. (2014). Menuju Industri Tebu Bebas Limbah. *Pertanian-Bioindustri Berbasis Pangan Lokal Potensial*, 409–419.
- Born, I., Edwards, a. C., Witter, E., Oenema C, O., Ivarsson, K., Withers, P. J. a, Nilsson, S. I., & Richert Stinzing, A. (2003). Element balances as a tool for sustainable nutrient management: A critical appraisal of their merits and limitations within an agronomic and environmental context. *European Journal of Agronomy*, 20(1–2), 211–225. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(03\)00080-7](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(03)00080-7)
- Cherubin, M. R., Karlen, D. L., Franco, A. L. C., Cerri, C. E. P., Tormena, C. a., & Cerri, C. C. (2016). A Soil Management Assessment Framework (SMAF) Evaluation of Brazilian Sugarcane Expansion on Soil Quality. *Soil Science Society of America Journal*, 0(0), 0. <https://doi.org/10.2136/sssaj2015.09.0328>
- Christofolletti, C. A., Escher, J. P., Correia, J. E., Marinho, J. F. U., & Fontanetti, C. S. (2013). Sugarcane vinasse: Environmental implications of its use. *Waste Management*, 33(12), 2752–2761. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.09.005>
- Dengia, A., & Lantinga, E. (2016). Impact of Long-Term Conventional Cropping Practices on Some Soil Quality Indicators at Ethiopian Wonji Sugarcane Plantation. *Advances in Crop Science and Technology*, 04(03), 1–5. <https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000224>
- Dominy, C. S., Haynes, R. J., & Van Antwerpen, R. (2002). Loss of soil organic matter and related soil properties under long-term sugarcane production on two contrasting soils. *Biology and Fertility of Soils*, 36, 350–356. <https://doi.org/10.1007/s00374-002-0538-5>
- Dotaniya, M. L., Datta, S. C., Biswas, D. R., Dotaniya, C. K., Meena, B. L., Rajendiran, S., Regar, K. L., & Lata, M. (2016). Use of sugarcane industrial by-products for improving sugarcane productivity and soil health. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 5(3),

- 185–194. <https://doi.org/10.1007/s40093-016-0132-8>
- Eyheraguibel, B., Silvestre, J., & Morard, P. (2008). Effects of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize. *Bioresource Technology*, 99(10), 4206–4212. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.08.082>
- Fageria, N. K., Baligar, V. C., & Clark, R. B. (2002). Micronutrients in Crop Production. *Advances in Agronomy*, 77(January 2002), 185–268. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(02\)77015-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(02)77015-6)
- Franco, A. L. C., Cherubin, M. R., Pavinato, P. S., Cerri, C. E. P., Six, J., Davies, C. a., & Cerri, C. C. (2015). Soil carbon, nitrogen and phosphorus changes under sugarcane expansion in Brazil. *Science of the Total Environment*, 515–516, 30–38. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.02.025>
- Ghulam, S., Khan, M. J., & Usman, K. (2012). Effect of Different Rates of Pressmud on Plant Growth and Yield of Lentil in Calcareous Soil. *Sarhad J. Agric.*, 28(2), 8–11.
- He, Z., Ohno, T., Cade-Menun, B. J., Erich, M. S., & Honeycutt, C. W. (2006). Spectral and Chemical Characterization of Phosphates Associated with Humic Substances. *Soil Science Society of America Journal*, 70(5), 1741. <https://doi.org/10.2136/sssaj2006.0030>
- Iqbal, S. B., Muhammad, F., & Tontowi, I. (2012). Desain Proses Pengelolan Limbah Vinasse dengan Metode Pemekatan dan Pembakaran. *JURNAL TEKNIK POMITS*, 1(1), 1–6.
- Jayanthi, C. (2009). Improvement of Life Period of Biofertilizers by Addition of Humic Acid and Flyash. *Asian Journal of Chemistry*, 21(1), 781–786.
- Jiang, Z. P., Li, Y. R., Wei, G. P., Liao, Q., Su, T. M., Meng, Y. C., Zhang, H. Y., & Lu, C. Y. (2012). Effect of Long-Term Vinasse Application on Physico-chemical Properties of Sugarcane Field Soils. *Sugar Tech*, 14(4), 412–417. <https://doi.org/10.1007/s12355-012-0174-9>
- Kumar, V., & Chopra, a. K. (2016). Effects of sugarcane pressmud on agronomical characteristics of hybrid cultivar of eggplant (*Solanum melongena* L.) under field conditions. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 5(2), 149–162. <https://doi.org/10.1007/s40093-016-0125-7>
- Leovini, H., Kastono, D., & Widada, J. (2014). Pengaruh Pemberian Jamur Mikoriza Arbuskular, Jenis Pupuk Fosfat dan Takaran Kompos terhadap Pertumbuhan Bibit Tebu (*Saccharum officinarum* L.) Pada Media Pasir Pantai. *Vegetalika*, 3(1), 22–34.
- Mackowiak, C. L., Grossl, P. R., & Bugbee, B. G. (2001). Beneficial effects of humic acid on micronutrient availability to wheat. *Soil Science Society of America Journal. Soil Science Society of America*, 65(6), 1744–1750. <https://doi.org/10.2136/sssaj2001.1744>
- Mellis, E. V., Quaggio, J. A., Becari, G. R. G., Teixeira, L. A. J., Cantarella, H., & Dias, F. L. F. (2016). Effect of Micronutrients Soil Supplementation on Sugarcane in Different Production Environments: Cane Plant Cycle. *Agronomy Journal*, 108(5): 2060. <https://doi.org/10.2134/agronj2015.0563>
- Miao, Y., Stewart, B. a, & Zhang, F. (2011). Long-term experiments for sustainable nutrient management in China. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 31(2), 397–414. <https://doi.org/10.1051/agro/2010034>
- Mukherjee, A., Lal, R., & Zimmerman, A. R. (2014). Impacts of Biochar and Other Amendments on Soil-Carbon and Nitrogen Stability: A Laboratory Column Study. *Soil Science Society of America Journal*, 78(4), 1258. <https://doi.org/10.2136/sssaj2014.01.0025>
- Muscolo, A., Sidari, M., Attinà, E., Francioso, O., Tugnoli, V., & Nardi, S. (2007). Biological Activity of Humic Substances Is Related to Their Chemical Structure. *Soil Science Society of America Journal*, 71(1), 75. <https://doi.org/10.2136/sssaj2006.0055>
- Prado, R. D. M., Caione, G., & Campos, C. N. S. (2013). Filter cake and vinasse as fertilizers contributing to conservation agriculture. *Applied and Environmental Soil Science*, 2013, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2013/581984>
- Purchase, B. S. (1980). Nitrogen fixation associated with Sugarcane. *Proceedings of the South African Sugarcane Technologists*, 173–176. <https://doi.org/10.4319/lo.1973.18.6.0998>
- Rassam, G., Dadkhah, A., & Yazdi, A. K. (2015). Impact of Humic Acid on Yield and Quality of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) Grown on Calcareous Soil. *Notulae Scientia Biologicae*, 7(3), 367–371. <https://doi.org/10.15835/nsb.7.3.9568>
- Robèrt, K. H., Schmidt-Bleek, B., Aloisi De Larderel, J., Basile, G., Jansen, J. L., Kuehr, R., Price Thomas, P., Suzuki, M., Hawken, P., & Wackernagel, M. (2002). Strategic sustainable development - Selection, design and synergies of applied tools. *Journal of Cleaner Production*, 10(3), 197–214. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(01\)00061-0](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(01)00061-0)
- Russo, R. O., & Berlyn, G. P. (1990). The Use of Organic Biostimulants to Help Low Input Sustainable Agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture*, 1(12), 19–42. https://doi.org/10.1300/J064v01n02_04
- Schroeder, B. L., Wood, A. W., Moody, P. W., & Panitz, J. H. (2005). Sustainable nutrient management - Delivering the message to the Australian sugar industry. *Proceedings of the South African Sugarcane Technologists*, 79, 206–219. http://www.sasta.co.za/wp-content/uploads/Proceedings/2000s/2005_schroeder_sustainable_nutrient_management.pdf
- Singh, K. P., Suman, A., Singh, P. N., & Lal, M. (2007). Yield and Soil Nutrient Balance of Sugarcane

- Plant-Ratoon System With Conventional and Organic Nutrient Management in Sub-Tropical India. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 79(3), 209–219. <https://doi.org/10.1007/s10705-007-9108-4>
- Solanki, M. K., Wang, Z., Wang, F. Y., Li, C. N., Lan, T. J., Singh, R. K., Singh, P., Yang, L. T., & Li, Y. R. (2016). Intercropping in Sugarcane Cultivation Influenced the Soil Properties and Enhanced the Diversity of Vital Diazotrophic Bacteria. *Sugar Tech*, 19(2), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s12355-016-0445-y>
- Swapna, S. S. M., Tong, V., Yi, X., & Mon, Y. (2016). Devf Sugar Industry in ASEAN CountrieDevelopment of Sugar Industry in ASEAN Countriess. *Sugar Tech*, 18(6), 559–575. <https://doi.org/10.1007/s12355-016-0497-z>
- Toharisman, A., & Triantarti. (2016). An Overview of Sugar Sector in Indonesia. *Sugar Tech*, 18(6), 636–641. <https://doi.org/10.1007/s12355-016-0490-6>
- Vipin, S. K. S., & Jha, K. C. K. (2016). Effect of Integrated use of Bio-Compost and Nitrogen on Productivity and Soil Properties of Sugarcane Plant – Ratoon System in Calcareous Soil. *Sugar Tech*. <https://doi.org/10.1007/s12355-016-0501-7>
- Wagner de Oliveira, M., Trivelin, P. C. O., Boaretto, A. E., Muraoka, T., & Mortatti, J. (2002). Leaching of nitrogen, potassium, calcium and magnesium in a sandy soil cultivated with sugarcane. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 37(6), 861–868. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000600016>
- Y. C. Mo, Y. P. Ye, Q. Liang, and Y. R. L. (2009). Effect of Vinasse on the Quality of Sugarcane and Key Enzymes in Sucrose Synthesis. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 22(1), 55–59.
- Yadav, R. L., & Prasad, S. R. (1992). Conserving The Organik Matter Content of The Soil to Sustain Sugarcane Yield. *Expl Agric*, 28, 57–62.
- Zhou, M. M., & Gwata, E. T. (2015). Location effects and their implications in breeding for sugarcane yield and quality in the midlands region in South Africa. *Crop Science*, 55(6), 2628–2638. <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.02.0101>