

Tindakan Pengembalian Residu Panen Tebu untuk Meningkatkan Kualitas Tanah dan Produktivitas Tebu (*Saccharum officinarum* L.)

Rivandi Pranandita Putra¹, Muhammad Rasyid Ridla Ranomahera¹, Nindya Arini², Whisnu Febry Afrianto³

¹Departemen Pra Panen, Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia, Jl Pahlawan No 25, Pekuncen, Panggungrejo, Pasuruan, Jawa Timur, Indonesia, 67126

²Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Muria Kudus, Kayuapu Kulon, Gondangmanis, Bae, Kudus, Jawa Tengah, Indonesia, 59327

³Ecosystem and Biodiversity (Ecosbio), Jl Merapi 02/01, Datengan, Grogol, Kediri, Jawa Timur, Indonesia, 64151

Email : rivandiprananditap@gmail.com

Diterima: 29 Januari 2021; direvisi: 04 Maret 2021; disetujui: 06 April 2021

ABSTRAK

Tebu (*Saccharum officinarum* L.) merupakan salah satu komoditas perkebunan strategis di Indonesia. Penanaman tebu secara monokultur yang dilakukan selama bertahun-tahun di suatu wilayah yang sama menyebabkan penurunan kualitas fisik, kimia, maupun biologi tanah. Hal tersebut berdampak pada penurunan produktivitas tebu. Implementasi metode *green cane harvesting-trash blanketing* (GCTB) atau tindakan pengembalian residu panen tebu dapat membantu mempertahankan, bahkan meningkatkan kualitas tanah. GCTB dilakukan dengan cara memanen tebu secara manual tanpa membakar residu (*green cane harvesting*), kemudian residu tersebut dicacah dan dikembalikan ke lahan tebu. Cacahan residu tebu yang sudah mengalami dekomposisi dan menjadi sumber bahan organik di lahan tersebut. Implementasi metode GCTB di perkebunan tebu juga memberikan berbagai manfaat lainnya, antara lain meningkatkan populasi makro dan mikrofauna tanah, menghambat pertumbuhan gulma, serta mengurangi evaporasi tanah atau mempertahankan lengas tanah, yang selanjutnya berdampak pada peningkatan produktivitas tebu. Implementasi GCTB dapat dilakukan secara manual atau mekanis, baik pada tanaman baru maupun keprasan. Prosesnya dimulai dari pemanenan tebu secara manual atau tanpa pembakaran, pencacahan residu tebu, aplikasi di atas lahan, penambahan (bio)aktivator, dan inkorporasi residu dengan tanah. GCTB perlu diterapkan oleh petani tebu dan pabrik gula untuk meningkatkan kualitas tanah, yang pada akhirnya berimbas pada peningkatan produktivitas tebu.

Kata kunci: *green cane harvesting-trash blanketing*, kualitas tanah, produktivitas, tebu

Green Cane Harvesting-Trash Blanketing to Improve Soil Quality and Productivity of Sugarcane (Saccharum officinarum L.)

ABSTRACT

Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) is one of the strategic estate commodities in Indonesia. Sugarcane is commonly cultivated as a monoculture for several years in Indonesia, causing degradation of physical, chemical, and biological soil quality, ultimately leading to reduced sugarcane productivity. Green cane harvesting-trash blanketing (GCTB) is a method to keep or even increase soil quality. GCTB is performed by

harvesting sugarcane without burning residue (green cane harvesting), then the residue is cut into small pieces and is put back to the sugarcane field. In the field, small sugarcane residue pieces are expected to be decomposed into organic matter available for sugarcane. GCTB is also known to bring numerous benefits, such as increasing population of soil macro and microfauna, suppressing weed growth, and reducing soil evaporation. Previous studies also revealed an increase in productivity of sugarcane grown in fields under green cane harvesting-trash blanketing. In practice, green cane harvesting-trash blanketing can be performed manually or mechanically, either on plant cane or ratoon cane. The process of green cane harvesting-trash blanketing implementation is started from green sugarcane harvesting or without burning, residue shredding, addition of (bio)activator, and incorporation of the residue with soil. Green cane harvesting-trash blanketing needs to be implemented by sugarcane farmers and sugar mills to improve soil quality, which is ultimately able to increase sugarcane yield and productivity.

Keywords: green cane harvesting-trash blanketing, soil quality, productivity, sugarcane

PENDAHULUAN

Tebu (*Saccharum officinarum* L.) merupakan salah satu komoditas perkebunan penting di Indonesia, yakni sebagai sumber produksi gula utama untuk kebutuhan konsumsi langsung maupun industri. Tebu juga berperan penting bagi perekonomian nasional (Goenadi et al. 2005; Sulaiman et al. 2019). Industri gula berbasis tebu di Indonesia melibatkan tenaga kerja petani sebanyak 746.037 dan 267.937 tenaga kerja terkait proses produksinya (Kementerian Pertanian 2016). Saputri & Respatiadi (2018) melaporkan bahwa nilai industri tebu mencapai 0,20% dari total Produk Domestik Bruto (PDB) sebesar Rp12.406 triliun pada tahun 2016. Produksi tebu di Indonesia mengalami fluktuasi dari tahun ke tahun, namun dengan tren yang cenderung menurun (Putra et al. 2013; Direktorat Jenderal Perkebunan 2016; Kementerian Pertanian 2020). Penurunan tersebut dapat dikaitkan dengan berbagai faktor pra panen maupun pasca panen, mulai dari ketersediaan air, varietas tebu yang ditanam, praktik budidaya, hingga penanganan pasca panen dan performa pabrik gula (PG) (Toharisman & Triantarti 2016). Perubahan iklim juga menjadi faktor penting yang berkontribusi terhadap penurunan produksi gula (Srivastava & Rai 2012; Chandipasha 2013; Toharisman & Triantarti 2016). Dari segi sosial ekonomi, tebu juga masih harus bersaing dengan komoditas lain yang

dianggap petani lebih menguntungkan, seperti padi, jagung, dan bawang merah (Dianpratiwi et al. 2018), sehingga petani pada akhirnya menjadi kurang tertarik untuk membudidayakan tebu.

Degradasi kesuburan tanah merupakan salah satu faktor krusial yang berkontribusi terhadap penurunan produktivitas tebu di Indonesia. Beberapa wilayah di Indonesia, penanaman tebu dilakukan secara monokultur dalam jangka waktu lama, bahkan hingga puluhan tahun (Putra et al. 2020). Dari proses pemanenan tebu di lapang, terdapat beberapa jenis residu, antara lain daun kering (*daduk*) maupun daun hijau, *sogolan* atau tunas tebu muda, pucuk tebu, serta batang tebu hasil tebangan yang tertinggal di lahan (Karve et al. 2001; Misran 2005). Bila pemanenan tebu dilakukan dengan cara dibakar atau dipanen tanpa dibakar namun residunya tidak dikembalikan ke lahan, maka hal tersebut dapat berdampak buruk pada penurunan kesuburan tanah. Padahal, kualitas tanah yang baik diperlukan untuk menunjang produktivitas tebu. Ditinjau dari aspek kimia tanah, pemindahan atau pembakaran residu tebu pada saat panen menyebabkan penurunan unsur hara di dalam tanah. Pawirosemadi (2011) memperkirakan bahwa dalam setiap pemanenan tebu pada 100 ton/ha, akan terbawa sekitar 195 kg/ha nitrogen, 30-82 kg/ha fosfor, dan 117-600 kg/ha potasium dari dalam tanah. Tebu merupakan salah satu jenis tanaman yang tergolong 'rakus' unsur hara.

Oleh karena itu, pada tanaman tebu, penambahan unsur hara ke lahan baik berupa hara anorganik maupun organik mutlak diperlukan (Sujak et al. 2018). Peningkatan kualitas tanah terutama tanah yang miskin bahan organik dapat diupayakan dengan amandemen bahan organik melalui penambahan blotong atau produk samping pengolahan gula dari tebu, namun dapat juga dengan metode *green cane harvesting-trash blanketing* (GCTB) atau aksi pengembalian residu panen tebu (Putra et al. 2020). Penambahan bahan organik secara umum akan meningkatkan kapasitas tukar kation dan kapasitas menahan air sekaligus menambah unsur hara pada tanah (McCray et al. 2015). Berdasarkan penjelasan tersebut, tujuan dari studi ini adalah untuk: (1) mengkaji pengertian dari GCTB, (2) menganalisis dampak positif dan negatif dari implementasi GCTB, (3) mengkaji teknis implementasi GCTB di lahan tebu, dan (4) menganalisis kendala dan potensi penerapan GCTB pada perkebunan tebu di Indonesia.

GCTB DAN DAMPAK POSITIFNYA TERHADAP KUALITAS TANAH DAN PERTUMBUHAN TEBU

GCTB merupakan praktik agronomis pengembalian residu tebu sebagai sumber bahan organik *in-situ* (Tórtora et al. 2013). GCTB telah diterapkan secara luas dan menjadi praktik populer di beberapa negara dimana tebu merupakan komoditas penting, seperti Australia (Karve et al. 2001; Salter et al. 2010), Brazil (Vianna et al. 2020), dan Kolombia (James 2004). Hampir seluruh industri gula di Australia bahkan telah beralih memanen tebu dari cara konvensional ke praktik GCTB (Skocaj et al. 2013). Hal ini karena GCTB lebih ramah lingkungan dan diketahui memberikan berbagai dampak positif terhadap kualitas tanah dan pertumbuhan tebu.

Secara umum, tanaman tebu memproduksi biomasa dan residu dalam jumlah

yang besar (Stirling et al. 2016). Setiap satu kali pemanenan tebu, dihasilkan residu berupa daun kering atau *daduk*, serasah, dan pelepah tebu yang jumlahnya mencapai 20-25 ton/ha atau sekitar 10-15% dari total biomassa tebu (Basit & Nurhidayati 2016). Dalam sebuah percobaan lapang di Queensland dan New South Wales, Australia, Robertson dan Thorburn (2007) menemukan bahwa residu tebu segar yang baru dipanen mengandung sekitar 7-12 ton bahan kering (*dry matter*) per hektar dan 3-5 ton karbon. Di Thailand, satu hektar lahan tebu dalam satu tahun diperkirakan dapat menghasilkan sekitar 11 ton residu tebu (Khaehanchanpong et al. 2017). Karve et al. (2001) memperkirakan bahwa ada 10 ton residu yang dihasilkan dalam satu hektar lahan tebu. Melalui budidaya tebu yang baik, dapat dihasilkan 10-15 ton/ha residu, dengan kandungan rata-rata 0,42% nitrogen, 0,15% fosfor, dan 0,57% potasium (Tayade et al. 2017). Besarnya jumlah residu tebu yang dihasilkan di setiap kebun tentu berbeda-beda dan bergantung pada berbagai faktor, seperti kesuburan tanah, varietas tebu yang dipilih, praktik budidaya yang diterapkan, kondisi iklim pada saat budidaya, dan lain sebagainya (Rivera-Cadavid et al. 2019). Upaya mempertahankan kesuburan tanah melalui aplikasi bahan organik perlu dilakukan secara kontinyu dan membutuhkan dosis yang cukup tinggi sekitar 5-20 ton/ha (Dariah 2015). Pada implementasi GCTB, penambahan minimum tujuh ton per hektar residu tebu sudah dapat dilihat dampak positifnya (Carvalho et al. 2017).

Pengembalian residu tebu ke lahan dapat menjaga, bahkan meningkatkan bahan organik tanah serta menambah kandungan nitrogen tanah (Khaehanchanpong et al. 2017). Residu tebu sebanyak 23 ton yang tetap dibiarkan di atas lahan tebu setelah pemanenan menjadi sumber nitrogen hingga 60 kg Nitrogen/ha (Meier et al. 2006). Percobaan pengembalian residu tebu selama delapan tahun atau tujuh kali ratun di kebun

yang sama, Muñoz-Arboleda & Quintero-Duran (2009) menemukan bahwa produktivitas tebu pada tahun kedelapan atau ratun ketujuh dengan perlakuan GCTB dan diberi pupuk menghasilkan produktivitas yang menyamai tanaman pertama atau *plant cane* (PC). Sebaliknya, kebun dengan perlakuan pembakaran atau penghilangan residu menghasilkan produktivitas tebu yang lebih rendah. Pembakaran kebun tebu sebelum panen tidak menghilangkan semua residu tebu di kebun, namun biasanya masih terdapat sisa residu atau material tebu yang tidak terbakar. Meskipun demikian, jumlah residu tebu pada lahan yang dipanen dengan cara dibakar tidak sebanyak bila dipanen tanpa dibakar (Sandhu et al. 2018).

Tidak hanya sebagai sumber bahan organik, penerapan GCTB di lahan tebu juga memberikan berbagai dampak positif lain, antara lain meningkatkan makro dan mikrofauna tanah, menghambat pertumbuhan gulma, mengurangi evaporasi, mencegah erosi tanah, serta meningkatkan produktivitas tebu (Tabel 1).

Implementasi GCTB di lahan tebu selain meningkatkan kesuburan tanah juga mampu meningkatkan diversitas dan populasi makro dan mikrofauna tanah. Pemanfaatan residu

tanaman dapat berfungsi sebagai penarik arthropoda tanah dan menyediakan habitat yang sesuai untuk perkembangannya, seperti Collembola (Soebandrijo et al. 2000; Purwanti 2017). Keberadaan arthropoda tanah semacam ini bermanfaat dalam proses dekomposisi residu tebu. Beberapa jenis mikroarthropoda tanah seperti Collembola memiliki mulut dengan kemampuan mencacah bahan organik sambil memakan mikroflora yang menempel pada residu (Elkins & Whitford 1982). Penambahan residu tebu ke lahan tebu juga diharapkan akan diikuti dengan peningkatan populasi musuh alami sehingga dapat menekan keberadaan hama (Sujak et al. 2018).

GCTB membantu menekan pertumbuhan gulma di lahan tebu, meskipun ada juga beberapa jenis gulma yang dapat tetap tumbuh dan perlu diatasi dengan menggunakan herbisida (van Antwerpen 2010). Pada dasarnya, keberadaan gulma pada suatu lahan pertanian berasal dari adanya biji-biji gulma di dalam tanah. Biji-biji tersebut sewaktu-waktu akan tumbuh bila dalam kondisi yang mendukung, seperti tersedianya air, cahaya, dan ruang tumbuh. Namun dengan adanya residu tebu, biji gulma tidak dapat tumbuh dengan baik karena residu tersebut

Tabel 1. Manfaat implementasi GCTB terhadap tanah dan pertumbuhan tebu, sebagaimana dilaporkan oleh berbagai studi sebelumnya di seluruh dunia

Manfaat	Referensi dan lokasi studi
Meningkatkan kandungan bahan organik tanah	Singh et al. (2012) di Muzaffarnagar, India Liao et al. (2014) di Guangxi, China Gunawan et al. (2017) di Jengkol, Kediri, Indonesia Luca et al. (2018) di São Paulo, Brazil
Meningkatkan diversitas serta populasi makro dan mikrofauna tanah	Tórtora et al. (2013) di Tucumán, Argentina Liao et al. (2014) di Guangxi, China Sujak et al. (2018) di Asembagus, Situbondo, Indonesia
Menghambat pertumbuhan gulma	Singh et al. (2012) di Muzaffarnagar, India Concenço et al. (2016) di São Fernando Usine, Brazil
Mengurangi evaporasi/ menjaga lengas tanah di lahan tebu	Olivier & Singels (2012) di Pongola, Afrika Selatan Ng. Cheong & Teeluck (2016) di Savannah, Médine dan Saint Antoine, Mauritius Dhanapal et al. (2018) di Coimbatore, India Carvalho et al. (2019) di São Paulo, Brazil
Melindungi tanah dari erosi Meningkatkan produktivitas tebu	Martins Filho et al. (2009) di Catanduva, São Paulo, Brazil Singh et al. (2012) di Muzaffarnagar, India Liao et al. (2014) di Guangxi, China Ng. Cheong & Teeluck (2016) di Savannah, Médine dan Saint Antoine, Mauritius Dhanapal et al. (2018) di Coimbatore, India

menghambat akses benih gulma terhadap cahaya matahari sehingga tidak dapat melakukan proses fotosintesis dengan baik (Gustanti et al. 2014). Keberadaan residu tebu juga membatasi ruang tumbuh gulma. Berdasarkan hasil penelitian di Brazil, ditemukan bahwa residu tebu juga mengeluarkan beberapa substansi alelopati yang bersifat fitotoksik bagi berbagai spesies gulma (Lorenzi et al. 1989). Aplikasi GCTB menghasilkan penurunan sebesar 35% pada biaya pengendalian gulma (Núñez & Spaans 2008).

Residu tebu dalam sistem GCTB bertindak sebagai mulsa organik yang dapat mengurangi evaporasi dari lahan tebu. Evaporasi tanah dapat mengurangi air di zona perakaran (Surdianto et al. 2012). Peran GCTB dalam menjaga lengas tanah tentu akan sangat bermanfaat, mengingat sebagian besar tebu di Indonesia dibudidayakan di lahan kering atau lahan tadah hujan. Dengan adanya program ekstensifikasi tebu, perluasan lahan untuk budidaya tebu ke depannya bahkan diharapkan akan semakin banyak dilakukan di lahan kering. Hal ini karena budidaya tebu di lahan sawah dengan ketersediaan air melimpah, terutama di pulau Jawa, seringkali kalah bersaing dengan komoditas lain seperti padi atau palawija (Lestari et al. 2015). Modifikasi budidaya untuk lahan kering tebu di Indonesia dapat dilakukan diantaranya melalui irigasi tetes (*drip irrigation*) (Ranomahera et al. 2020), namun dapat juga dengan implementasi GCTB. Peran GCTB sebagai mulsa untuk mengurangi penguapan dari permukaan tanah berhasil meningkatkan efisiensi penggunaan air sebesar 7,8 kg/hektar/mm dibandingkan lahan tanpa aplikasi GCTB (Ng, Cheong & Teeluck 2016). Konservasi air di lahan pertanian dapat dilakukan dengan mengurangi evaporasi, antara lain dengan meningkatkan penutupan tanah dengan mulsa (Roni 2015).

Pengembalian residu tebu ke lahan juga dapat membantu melindungi tanah dari risiko erosi. Martins Filho et al. (2009) menyatakan

bahwa penambahan 50 dan 100% residu tebu di atas permukaan lahan, dibandingkan dengan perlakuan tanpa residu tebu, mengurangi erosi tanah hingga 68 dan 89%. Berdasarkan penelitian tersebut, diduga bahwa kejadian erosi tanah di perkebunan tebu menurun secara eksponensial dengan peningkatan jumlah residu tebu, terutama dalam jumlah lebih dari 7 ton/ha. Penurunan tingkat erosi tersebut diduga terjadi karena residu tebu menghilangkan energi kinetik dari rintik air hujan, menurunkan kecepatan aliran air, dan meningkatkan kedalaman lapisan air di permukaan tanah.

Pada akhirnya, produktivitas tebu pada lahan GCTB berpotensi meningkat seiring dengan peningkatan bahan organik, lengas tanah yang lebih terjaga, dan terhambatnya pertumbuhan gulma. Diana (2017) dalam penelitiannya pada tanaman tebu dengan berbagai paket pemupukan melaporkan bahwa penambahan bahan organik sebanyak 1,2 ton/ha dapat meningkatkan penyerapan unsur Nitrogen, Phospor dan Kalium pada jaringan tanaman tebu yang menghasilkan panjang ruas batang dan panjang batang yang lebih tinggi dibanding pemupukan tanpa bahan organik. Sebagai contoh, produksi tebu di Brazil pada lahan dengan pola GCTB dapat mencapai 105 ton/ha, meningkat 30 ton/ha pada pola tanpa GCTB Brazil (Oliveira et al. 2017). Pada penelitian lain di Brazil, de Aquino et al. (2018) menyimpulkan bahwa dengan penerapan GCTB, produktivitas meningkat menjadi 129 ton/ha (50-75% *trash cover*), lebih tinggi daripada perlakuan tanpa penerapan GCTB (0% *trash cover*) dengan produktivitas sebesar 89 ton/ha. Bahkan, pada residu yang dibakar, produktivitas yang dihasilkan hanya sebesar 85 ton/ha. Di Ekuador, produksi tebu menggunakan GCTB lebih tinggi 17,31/ha dibandingkan dengan perlakuan pembakaran residu tebu (3,7 ton/ha) (Núñez & Spaans 2008). Penggunaan GCTB di lahan pertanian di India menunjukkan hasil rata-rata tertinggi sampai 128,55 ton/ha

dibanding dengan pembuangan residu tebu (123,2 ton/ha) (Tayade et al. 2017). Di Kolombia, kebun tebu dengan aplikasi GCTB mampu meningkatkan produktivitas sampai 30 ton/ha, dan apabila dilakukan dengan pemupukan maksimal, peningkatan dapat mencapai 160 ton/ha (Muñoz-Arboleda & Quintero-Duran 2009). Di Mauritius, GCTB dapat meningkatkan produktivitas tebu lebih tinggi 6,6 ton/ha sampai 7,2 ton/ha dibandingkan tanpa penggunaan residu (Ng. Cheong & Teeluck 2016). Pengalaman di Pabrik Gula di Sumatera Selatan yang telah menerapkan GCTB selama lima tahun terakhir menunjukkan perbaikan visual performa tanaman tebu dibandingkan dengan Pabrik Gula di Lampung yang tidak menerapkan GCTB (Staf lapang PG Bungamayang PT Perkebunan Nusantara VII, komunikasi personal 2021).

Dampak positif dari aplikasi GCTB khususnya pada kualitas tanah ditunjukkan dengan peningkatan karbon organik di dalam tanah. Peningkatan kandungan karbon organik tanah sebesar 70% terjadi melalui penambahan biomassa seresah tanaman tebu (Sujak et al. 2018). Penambahan residu tebu melalui aplikasi GCTB dapat mempertahankan lengas tanah dan meningkatkan efisiensi penggunaan air. Peningkatan kualitas tanah pada kebun tebu dengan aplikasi GCTB berimbas pada peningkatan produktivitas tebu.

Dampak positif GCTB terhadap kualitas tanah dan produktivitas tebu tidak dapat langsung dirasakan. Dampak positif tersebut baru dapat dilihat setelah jangka waktu tertentu. Marin et al. (2014) melakukan simulasi pengaruh GCTB dalam jangka waktu 25 tahun menggunakan *APSIM-Sugar crop model*. Simulasi tersebut membandingkan tiga perlakuan pembuangan residu tebu dari lahan, yaitu tidak adanya pembuangan residu tebu, 50% pembuangan residu tebu, dan 90% pembuangan residu tebu dari lahan. Hasil simulasi tersebut menunjukkan kenaikan produktivitas tebu dengan tidak adanya pembuangan residu tebu dari lahan, dan produkti-

ktivitas tebu menurun secara proporsional dengan semakin meningkatnya persentase pembuangan residu tebu dari lahan.

Beberapa keuntungan yang didapatkan dari implementasi GCTB telah dijelaskan sebelumnya, tetapi ada beberapa keuntungan lain secara teknis dan ekonomi. Secara teknis, dibandingkan amandemen dengan bahan organik yang umumnya diperoleh dari luar lahan tebu dan perlu ditransportasikan ke kebun tebu, metode GCTB lebih praktis dan tidak perlu biaya transportasi karena residu tebu tersedia langsung di lapang, kecuali bila residu tersebut didatangkan dari tempat lain ke kebun tebu yang baru (tanaman tebu PC). Secara ekonomi, implementasi GCTB akan memberikan keuntungan bagi petani tebu atau PG seiring dengan peningkatan kesuburan tanah dan produktivitas tebu. Meskipun implementasi GCTB di lapang berpotensi menguntungkan secara teknis dan ekonomi, namun perlu dipertimbangkan juga biaya tambahan yang dikeluarkan untuk pengkomposan seresah tebu maupun penggunaan bahan aktivator.

DAMPAK NEGATIF IMPLEMENTASI GCTB DI LAHAN TEBU

Implementasi GCTB di lahan tebu diketahui memberikan beberapa dampak positif terhadap kualitas tanah dan pertumbuhan tebu, namun teknis pengelolaan yang kurang tepat dapat menyebabkan implementasi GCTB tidak berpengaruh terhadap tanaman. Residu tebu yang dibiarkan di permukaan tanah membuat mineralisasi karbon lebih tinggi dibandingkan nitrogen (Meier et al. 2006) sehingga C/N rasio residu cukup tinggi yaitu 70 hingga 120:1 (Oliveira et al. 2017). Rasio C/N yang tinggi dapat menyebabkan aktivitas biologi mikroorganisme di dalam tanah berkurang sehingga perlu waktu yang lebih lama agar residu terdegradasi (Purnomo et al. 2017). Penambahan residu tebu yang terlalu banyak ke dalam kebun tebu

juga dapat membawa dampak negatif, seperti menurunkan daya perkecambahan tebu keprasan atau ratun (Macedo et al. 2003). Penurunan daya tumbuh ini dapat disebabkan karena residu tebu menurunkan temperatur tanah (Sandhu et al. 2018), namun dapat juga karena residu tebu membatasi ruang tumbuh dan menghalangi akses terhadap cahaya matahari. Dampak negatif GCTB lainnya, antara lain meningkatkan risiko kebakaran di kebun tebu serta mempersulit proses mekanisasi di kebun tebu (Magalhães & Braunbeck 2014; Sandhu et al. 2018).

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, GCTB mampu meningkatkan produktivitas tebu. Namun dalam beberapa penelitian, juga ditemukan bahwa GCTB justru mengurangi produktivitas tebu. Di Zimbabwe, GCTB menurunkan produktivitas tebu di bawah kondisi terlalu lembab karena irigasi penuh, namun produktivitas tebu meningkat saat level irigasi diturunkan (Gosnell & Lonsdale 1997). Hal tersebut dapat dikaitkan dengan kondisi lingkungan tumbuh tebu yang semakin lembab karena adanya residu. Penambahan residu tebu tidak disarankan untuk dilakukan pada tanah dengan tekstur

berat dan drainase buruk karena kelebihan kelembaban tanah dapat menghambat pertumbuhan tebu (Hardy 1990). Dengan demikian, perlu diperhatikan jenis tanah dan kondisi kelancaran drainase di lahan tebu sebelum GCTB diimplementasikan, terutama pada saat musim penghujan tiba.

KARAKTERISTIK RESIDU TEBU

Secara umum, tajuk tanaman tebu terdiri dari tiga komponen yaitu batang (60%), pucuk (30%), dan daun (10%) (Murni et al. 2008). Batang tebu merupakan produk utama sebagai bahan baku gula. Selain itu, dihasilkan juga residu sebagai hasil sampingan (*by-products*). Residu mulai dihasilkan sejak tebu ditanam hingga panen. Residu tebu yang digunakan dalam implementasi GCTB dapat berupa daun kering, daun basah (termasuk pucuk daun), dan batang tebu yang tertinggal di lahan atau tidak terangkut ke PG pada saat pemanenan.

Stevenson (1982) menyebutkan bahwa kandungan lignin dan selulosa pada tanaman tebu dapat terdekomposisi menghasilkan karbon organik. Selulosa lebih mudah terde-

Tabel 2. Kandungan serta kadar unsur dan senyawa pada berbagai jenis residu tebu berdasarkan berbagai referensi

Jenis residu tebu	Kandungan unsur dan senyawa	Kadar unsur dan senyawa	Referensi	
Daun kering atau <i>daduk</i>	Selulosa	27,64%	Patil & Deshannavar (2017)	
	Hemiselulosa	19,15%		
	Lignin	11,95%	Leite et al. (2016)	
	Nitrogen (N)	34 kg/ha		
	Fosfor (P)	2 kg/ha		
	Potasium (K)	26 kg/ha		
	Nitrogen (N)	0,72%		Pusat Penelitian Gula PTPN X (2015)
	Fosfor (P ₂ O ₅)	0,15%		
	Potasium (K ₂ O)	0,13%		
	Kalsium (Ca)	0,36%		
	Magnesium (Mg)	0,094%		
	Besi (Fe)	506 ppm		
	Mangan (Mn)	98 ppm		
	Tembaga (Cu)	14 ppm		
Daun basah	Zink (Zn)	15 ppm	Data hasil analisis Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia (2015, tidak dipublikasikan)	
	Nitrogen (N)	1,29%		
	Fosfor (P)	0,26%		
Batang	Potasium (K)	1,52%	Oliviera et al. (2002) Leite et al. (2016)	
	Karbon (C)	450 g/kg		
	Nitrogen (N)	90 kg/ha		
	Fosfor (P)	19 kg/ha		
	Potasium (K)	266 kg/ha		

komposisi sedangkan lignin tergolong lebih sulit terdekomposisi. Furqon & Kusumawati (2018) menyebutkan bahwa kandungan bahan organik yang terkandung dalam batang tebu memiliki potensi meningkatkan ketersediaan hara bagi tanaman.

Sebagai referensi, kandungan senyawa organik pada setiap jenis residu tebu ditampilkan pada Tabel 2. Meskipun demikian, kandungan dan kadar senyawa organik residu dapat bervariasi pada kebun tebu yang berbeda, tergantung pada berbagai faktor seperti jenis dan jumlah unsur hara (pupuk) yang diberikan, praktik budidaya yang diterapkan, kondisi iklim yang berbeda, umur tanaman tebu saat panen, dan lain sebagainya.

Jenis residu tebu lain yang dapat dimanfaatkan sebagai GCTB yaitu *sogolan*. *Sogolan* merupakan tunas baru yang biasanya baru muncul saat tebu sudah masuk ke dalam fase pemasakan (Suryanto 2019), sehingga *sogolan* dapat juga disebut sebagai tebu muda. *Sogolan* memiliki karakteristik umum, yaitu warna batang lebih cerah daripada batang induknya karena umur lebih muda, kandungan sukrosa rendah, dan beberapa ditemukan batang *sogolan* berdiameter besar dibandingkan batang tanaman induknya (Bonnett et al. 2001; Pawirosemadi 2011). *Sogolan* umumnya dibuang dan tidak ikut diangkut bersama batang tebu lainnya ke PG karena mengandung sukrosa dengan kadar yang rendah. *Sogolan* juga lebih banyak mengandung air sehingga dapat menurunkan hasil rendemen tebu (Erlina et al. 2017). Salter (2010) menyatakan bahwa *sogolan* memiliki cadangan makanan yang lebih banyak sehingga dapat digunakan sebagai bahan tanam karena memiliki potensi perkecambahannya yang baik. *Sogolan* yang tidak dimanfaatkan sebagai bahan tanam umumnya hanya ditinggal di lahan dan menjadi residu. Residu tebu berupa *sogolan* memiliki persentase sekitar 11% dari nilai rata-rata produksi tebu per hektar (Akhadiarto 2008). Dengan nilai rata-rata produksi tebu pada tahun 2020 sebesar 2,13 juta

ton, maka saat ini tersedia 234,3 ribu ton *sogolan*.

TEKNIS PELAKSANAAN GCTB DI LAHAN TEBU

Implementasi GCTB di lahan tebu baru atau PC dapat dilakukan setelah proses pengolahan lahan dan sebelum tebu ditanam. Residu tebu untuk lahan PC dapat didatangkan dari petak kebun lain. Namun apabila tidak terdapat seresah tanaman tebu di sekitar, dan biaya transportasi untuk mendatangkan seresah tebu dari petak lain terbilang besar, maka implementasi GCTB pada tanaman PC tidak perlu dilakukan dan dilaksanakan pada tanaman keprasan atau *ratoon cane* (RC) saja.

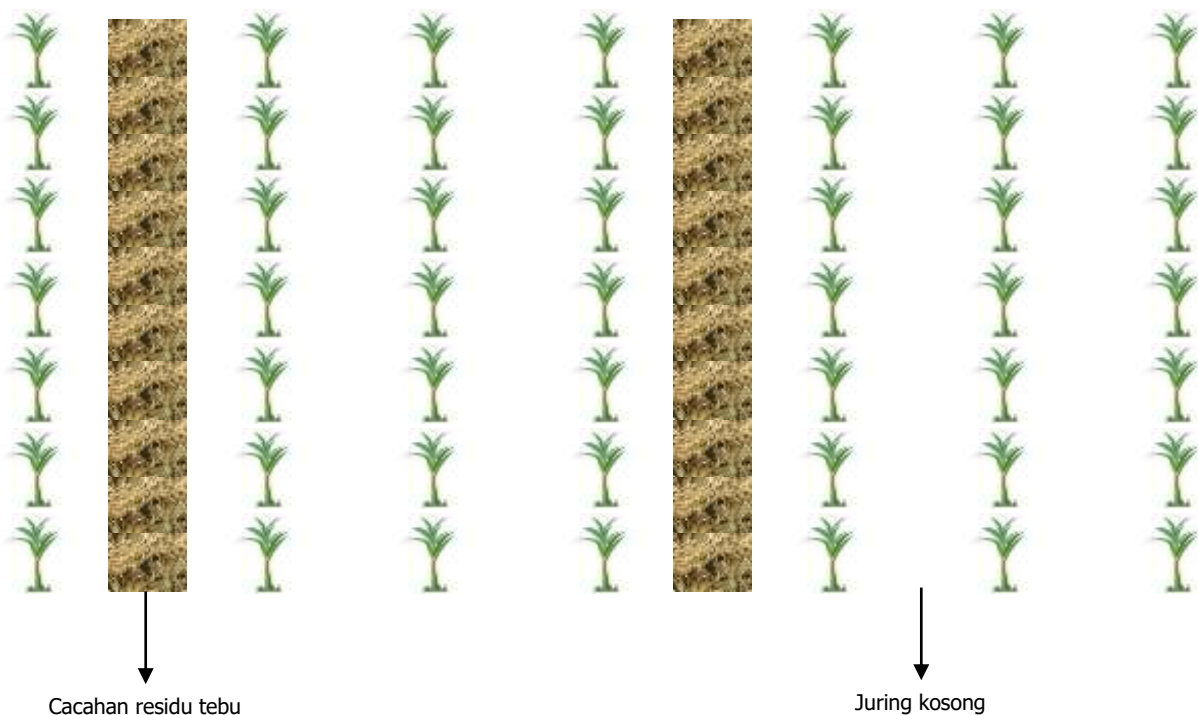
Pelaksanaan GCTB pada tanaman keprasan atau RC dapat dilakukan sesaat setelah tebu dipanen. Pelaksanaan GCTB dimulai dari pemanenan tebu dari musim tanam sebelumnya secara manual atau tebang hijau tanpa pembakaran residu. Residu dapat dikumpulkan ataupun dibiarkan di juring tanaman dan dicacah dengan ukuran yang tidak berpotensi mengganggu operasi alat dan mesin pertanian (Goenadi & Santi 2006). Proses pencacahan ini dapat dilakukan secara manual atau mekanisasi. Secara manual, proses pencacahan dapat dilakukan dengan menggunakan alat sederhana seperti parang dan alat pencacah lainnya. Secara mekanis, proses pencacahan dapat dibantu dengan alat mesin pemotong, seperti bajak rotari (*rotary mulcher*) atau penghancur residu (*trash shredder*) (Gunawan et al. 2018). Bila proses pencacahan dilakukan secara manual, waktu yang dibutuhkan lebih lama dan tenaga kerja yang dibutuhkan lebih banyak.

Proses pencacahan residu tebu dilakukan dengan tujuan untuk mempercepat proses dekomposisi. Dekomposisi merupakan suatu proses penguraian secara fisik dan kimiawi bahan organik. Dekomposisi seresah tebu yang terjadi pada GCTB dapat melalui proses alami tanpa dibantu oleh produk-

produk dekomposer namun memerlukan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan menggunakan dekomposer (Goenadi & Santi 2006). Dari proses tersebut, dihasilkan karbon yang dilepaskan ke atmosfer dan nutrisi yang dilepaskan ke tanah dalam bentuk yang tersedia bagi tanaman dan mikroba tanah (Chapin et al. 2002). Simamora (2006) menyatakan bahwa ukuran bahan yang akan digunakan sebagai bahan baku pembuatan kompos sebaiknya dibuat sekecil mungkin untuk mencapai efisiensi aerasi serta mempermudah dan mempercepat penguraian oleh mikroorganisme (Nur et al. 2016; Mukesh & Rani 2017). Dapat dinyatakan bahwa semakin kecil cacahan residu, semakin cepat proses penguraian oleh mikroorganisme. Meskipun demikian, dekomposisi merupakan proses kompleks yang juga sangat tergantung pada berbagai faktor, antara lain kondisi tekstur tanah, iklim, komposisi kimia residu, manajemen pupuk nitrogen, dan waktu implementasi GCTB (Meier et al. 2006; Robertson & Thorburn 2007; Galdos et al. 2009). Pencacahan residu tebu juga ditujukan untuk

mengurangi infestasi hama dan patogen, dan untuk memastikan kemudahan perawatan tebu yang ditanam pada musim tanam berikutnya. Cacahan residu kemudian diletakkan dalam juring di antara tanaman tebu. Proses peletakan cacahan residu tebu dapat dilakukan dengan bantuan alat mekanisasi, seperti traktor dengan alat penyapu jerami (*hay rake*) atau penyapu sampah (*wheel trash rake*) (Gunawan et al. 2018).

Dalam implementasi GCTB, tidak semua juring harus diisi dengan residu tebu. Pola 2-1-2 dapat juga digunakan, dimana 2 juring dibiarkan kosong dan 1 juring diisi dengan residu tebu yang telah dicacah (Gambar 1). Dengan pola 2-1-2, traktor atau alat mekanisasi lain tetap dapat masuk ke lahan tebu dan bekerja seperti biasa. Hal tersebut akan memudahkan perawatan mekanis tebu pada musim tanam setelah aplikasi, yang terdiri dari pemupukan pertama dan kedua, turun tanah pertama dan kedua, dan pengendalian gulma dapat dilakukan dengan lebih mudah. Pola 2-1-2 juga dapat meminimalkan resiko kebakaran karena tidak semua juring diberikan residu



Gambar 1. Skema penataan residu tebu dengan pola 2-1-2 dalam suatu kebun



Gambar 2. Penataan residu tebu dengan pola merata di lahan (diadopsi dari Khaehanchanpong et al. 2017)

tebu. Meskipun demikian, bila pemupukan tebu akan dilakukan dengan mesin pemupuk (*fertilizer applicator/FA*) yang dilengkapi dengan garu piringan (*disc coulter*), pola 2-1-2 dapat diabaikan dan cacahan residu tebu dapat ditaburkan di atas semua juring dalam kebun (Gunawan et al. 2018) (Gambar 2). Dari kedua pola penataan residu tebu tersebut, yang lebih efisien yaitu bila residu ditaburkan ke seluruh juring. Hal ini dimaksudkan untuk pemerataan sebaran seresah dan berimplikasi positif terhadap proses pemulihan bahan organik tanah. Namun meskipun demikian, juring yang diisi residu tebu pada pola 2-1-2 dapat dirotasi pada musim tanam berikutnya.

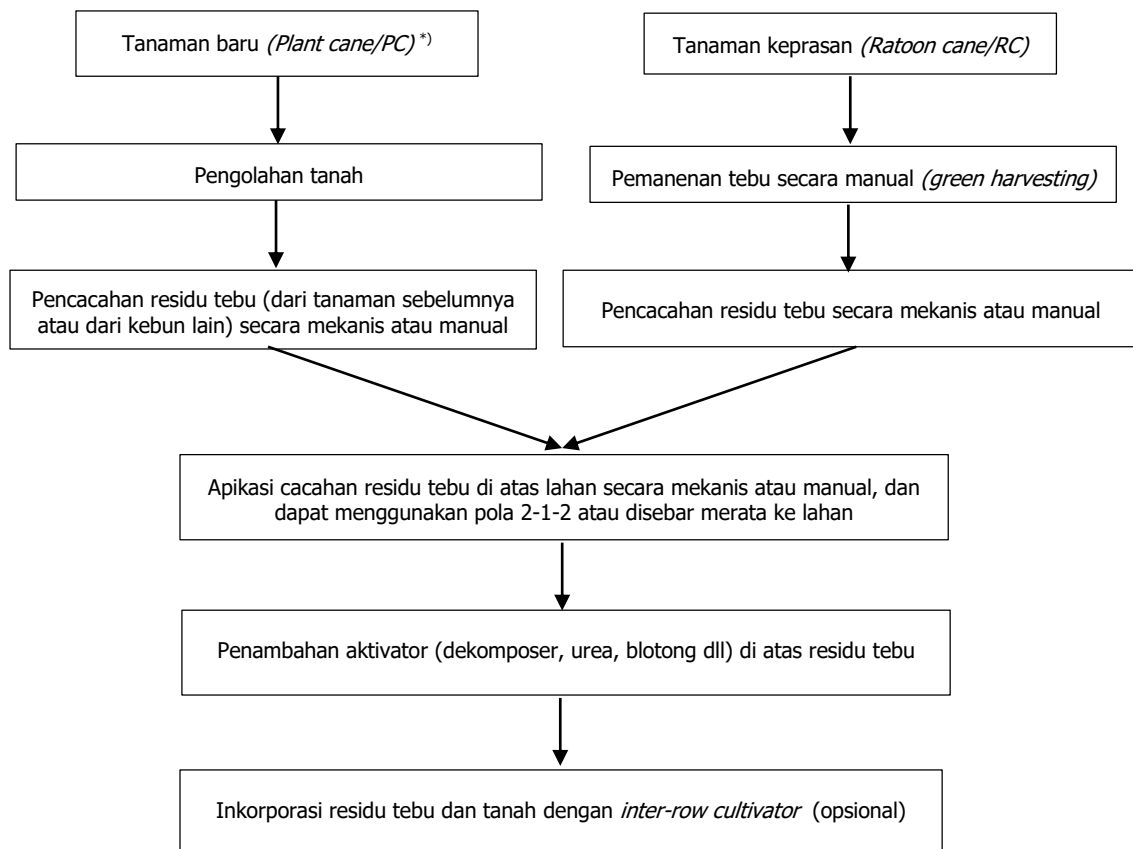
Setelah residu tebu diaplikasikan ke lahan, dapat dilakukan aplikasi aktivator tertentu untuk mempercepat proses dekomposisi cacahan residu tebu, seperti urea, konsorsium mikroorganisme dekomposer, atau bahkan blotong yang merupakan hasil sisa dari PG. Dalam hal ini, penambahan urea berfungsi sebagai sumber nitrogen yang digunakan sebagai bahan makanan mikroorganisme pengurai. Wijayanti (2017) menemukan bahwa aplikasi urea pada dosis 4 kg/ha pada cacahan seresah tebu menurunkan rasio C/N

sebesar 10,9%, memicu kenaikan kandungan Nitrogen total sebesar 16%, dan peningkatan populasi mikroba dibandingkan perlakuan tanpa urea. Penelitian Goenadi & Santi (2006) yang menggunakan formula konsorsium mikroorganisme *P. chrysosporium*, *T. pseudokoningii*, dan *Trichoderma* sp. menunjukkan penurunan rasio C/N sebesar 65% pada pengomposan seresah tebu yang akan digunakan sebagai pupuk. Widiyaningrum & Lisdiana (2015) juga menguji efektivitas beberapa jenis aktivator dalam proses pengomposan daun, antara lain limbah kulit jeruk, limbah sayuran, dan salah satu produk dekomposer cair di pasaran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan dekomposer cair paling efektif dalam proses pengomposan daun. Hal ini disebabkan oleh kandungan bakteri fotosintetik, *Lactobacillus* sp, *Saccharomyces* sp, *Actinomyces* sp, serta jamur fermentasi.

Setelah cacahan residu tebu ditambahkan aktivator, dapat dilakukan langkah lain yang bersifat opsional dengan tujuan untuk mempercepat proses dekomposisi, yaitu meratakan cacahan tebu dengan tanah. Hal tersebut dapat dilakukan secara manual de-



Gambar 3. Proses inkorporasi cacahan tebu dengan tanah secara mekanis menggunakan *inter-row cultivator* di Thailand (diadopsi dari Khaehanchanpong et al. 2017).



Keterangan *) = untuk kebun PC, perlu diperhatikan dan dipertimbangkan biaya mendatangkan seresah tebu dari kebun lain dan biaya tenaga kerjanya.

Gambar 4. Alur implementasi metode GCTB di kebun tebu

ngan menggunakan cangkul atau dengan bantuan alat seperti *inter-row cultivator*. Pencampuran residu tebu dan tanah dengan alat sederhana seperti cangkul dapat menghasilkan campuran yang lebih merata, namun membutuhkan tenaga kerja dalam jumlah yang besar. Penggunaan alat mekanis seperti pengolah tanah diantara juring (*inter-row cultivator*) dapat menghemat tenaga kerja, dengan kualitas campuran residu dan tanah yang tidak kalah dengan penggunaan cangkul. Khaehanchanpong et al. (2017) menemukan bahwa *inter-row cultivator* dapat mencampur 90% residu ke dalam tanah (Gambar 3). Diagram tahapan pelaksanaan GCTB di perkebunan tebu oleh petani atau PG dapat dijabarkan dengan alur sebagai berikut (Gambar 4).

ANALISIS SWOT DAN POTENSI PENERAPAN GCTB DI INDONESIA

Implementasi GCTB diketahui memberikan banyak manfaat bagi peningkatan kualitas tanah dan produktivitas tebu (Nurhidayati

et al. 2017), namun terdapat beberapa potensi kelemahan dan ancaman dalam proses implementasinya di lapang (Tabel 3).

Pada tanaman pertama (PC), dimana residu tebu perlu didatangkan dari kebun lain, maka perlu diperhatikan biaya yang diperlukan untuk mendatangkan material residu tersebut beserta biaya tenaganya. Aplikasi residu tebu dengan material dari kebun lain memerlukan tenaga tambahan dalam menurunkan residu tersebut dan menyebarkannya di lahan. Hal cukup berbeda terjadi pada tanaman keprasan (RC) dimana residu tebu berasal dari sisa panen tebu di kebun yang sama dan sudah langsung tersebar di seluruh petak.

Secara teknis, keberadaan residu tebu yang belum dicacah dapat mengganggu operasional pemeliharaan tanaman secara mekanis. Secara non-teknis, masih banyak petani tebu yang enggan untuk melakukan GCTB di lapang. Perspektif petani tebu atau PG terhadap implementasi GCTB sering dianggap tidak praktis. Dalam jangka waktu pendek, belum ada dampak positif GCTB terhadap kualitas tanah dan peningkatan

Tabel 3. Analisis SWOT (*Strength-Weakness-Opportunity-Threat*) penerapan GCTB oleh petani tebu dan pabrik gula di Indonesia.

Komponen analisis	Keterangan
<i>Strength</i> (kekuatan)	<ul style="list-style-type: none"> Jumlah residu tebu banyak tersedia, terutama pada tanaman RC dimana residu tebu dapat diambil dari tanaman PC atau dari tanaman RC sebelumnya. Terbitnya peraturan daerah di beberapa wilayah di Indonesia, misalnya pemerintah Sumatera Selatan yang melarang pembakaran lahan dan mewajibkan pengelolaan biomasa dari lahan perkebunan (Peraturan Gubernur Sumatera Selatan 2016).
<i>Weakness</i> (kelemahan)	<ul style="list-style-type: none"> Dampak positif GCTB terhadap kualitas tanah dan pertumbuhan tebu tidak dapat dirasakan secara langsung, namun memerlukan proses dalam jangka waktu tertentu. Implementasi GCTB secara manual memakan waktu dan memerlukan tambahan biaya karena kebutuhan tenaga kerja lebih banyak, kecuali jika sudah berlaku sistem mekanisasi. Riset dan program penyuluhan mengenai GCTB di Indonesia masih kurang.
<i>Opportunity</i> (peluang)	<ul style="list-style-type: none"> Sosialisasi informasi atau penyuluhan seputar teknis pelaksanaan GCTB dan manfaatnya melalui media massa, sekolah lapang, forum kemitraan petani tebu, atau penyuluh dinas pertanian. Inovasi pembuatan alat dan mesin pertanian untuk mempermudah implementasi GCTB di tingkat petani sehingga lebih praktis dilakukan. Alat dan mesin pertanian (alsintan) GCTB berpeluang menjadi produk pengembangan bisnis bagi produsen untuk mendukung pelaksanaan GCTB di berbagai sentra tebu di Indonesia. Pengembangan riset yang implementatif mengenai GCTB, terutama mengenai dampak jangka panjang GCTB pada kualitas tanah dan pertumbuhan tebu.
<i>Threat</i> (ancaman)	<ul style="list-style-type: none"> Implementasi GCTB sering dianggap tidak praktis atau bahkan 'menyusahkan' oleh petani tebu. Kesadaran pembudidaya tebu khususnya petani yang belum mendukung sepenuhnya dalam memandang pelaksanaan GCTB. Belum semua pemerintah daerah mengeluarkan peraturan daerah mengenai pelarangan pembakaran lahan tebu.

produksi tebu yang dapat terlihat dan menguntungkan secara ekonomi, sementara petani tebu atau PG harus menyediakan biaya ekstra untuk tenaga kerja atau mengoperasikan peralatan untuk pelaksanaan GCTB. Di beberapa wilayah di Indonesia, petani tebu cenderung memilih untuk membakar residu tebu sebelum panen karena dianggap lebih praktis, cepat, dan murah dengan penggunaan tenaga kerja yang lebih sedikit. Namun, pembakaran residu tebu lama kelamaan dapat menguras bahan organik tanah dan nutrisi dari lahan tebu (Stirling et al. 2016). Kandungan nitrogen yang terdapat pada residu tebu dapat hilang ke atmosfer pada saat proses pembakaran (Mukesh & Rani 2017). Pembakaran residu tebu juga merusak sifat fisik tanah, menurunkan laju infiltrasi dan retensi air (Khaehanchanpong et al. 2017), serta dapat mencemari udara (Mashoko et al. 2010; Jenjariyakosoln et al. 2014) dan membahayakan kesehatan pekerja atau penduduk yang tinggal di sekitar perkebunan tebu (Tsao et al. 2011).

Hal lain yang mempengaruhi minat petani dalam menerapkan GCTB adalah dampak positif GCTB yang tidak dapat dirasakan secara langsung. Proses peningkatan kesuburan tanah setelah implementasi GCTB membutuhkan waktu. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, seresah tebu dapat menyediakan nitrogen dan unsur hara lain bagi tanaman, namun unsur hara tersebut tidak dapat langsung tersedia karena harus melalui proses dekomposisi dan mineralisasi (Batubara & Listyarini 2017). Seresah tebu memiliki rasio C/N yang tergolong tinggi, yaitu 130 (Simanungkalit et al. 2006; Batubara & Listyarini 2017). Tingginya rasio C/N tersebut berimplikasi pada semakin lamanya waktu yang diperlukan untuk proses dekomposisi. Hal lain yang menjadi motivasi petani atau PG untuk memilih membakar tebu daripada menerapkan GCTB adalah potensi residu tebu menjadi limbah. Beberapa bagian dari tanaman tebu memiliki kandungan serat atau fiber

tinggi yang bila tertinggal di lahan perkebunan dapat menjadi limbah pascapanen (Astuti 2019). Bila dibiarkan terlalu lama sehingga menumpuk di lahan sementara proses dekomposisi berlangsung cukup lama, limbah tersebut dapat menghambat pertumbuhan tunas tebu dan juga dapat mengganggu pengolahan tanah saat penanaman tebu (Sugandi et al. 2013).

Selain minat petani atau PG, hal lain yang berpotensi menjadi kendala dalam penerapan GCTB di perkebunan tebu adalah keterbatasan alat mekanisasi penghancur residu tebu sebagai penunjang, misalnya *trash shredder*. Tanpa alat *trash shredder*, GCTB tetap dapat diimplementasikan secara manual namun hal tersebut seringkali membutuhkan tenaga kerja dalam jumlah yang besar dan waktu yang lebih lama.

Berdasarkan hal tersebut, diperlukan upaya dari berbagai pihak terkait perkebunan maupun industri gula untuk mengedukasi dan mendukung penerapan GCTB di tingkat petani atau PG. Informasi seputar teknis pelaksanaan GCTB dan manfaatnya dapat didiseminasikan melalui media massa, sekolah lapang, forum kemitraan petani tebu, atau penyuluh dinas pertanian (Abegunde et al. 2020). Sosialisasi GCTB dapat juga dilakukan melalui asosiasi petani tebu, seperti Gabungan Kelompok Tani (GAPOKTAN) (Perdinan et al. 2018). Selain sosialisasi mengenai program GCTB ke tingkat petani, riset yang implementatif mengenai GCTB juga harus ditingkatkan, terutama mengenai dampak implementasi GCTB pada kualitas tanah dalam jangka panjang dan juga inovasi alat untuk mempermudah implementasi GCTB di tingkat petani sehingga lebih praktis dilakukan.

PENUTUP

Green cane harvesting-trash blanketing (GCTB) merupakan praktik agronomis yang dapat membantu meningkatkan kualitas tanah dan produktivitas tebu di suatu lahan pada

jangka panjang. GCTB terutama dapat diaplikasikan pada tanaman tebu keprasan atau *ratoon cane* (RC), namun dapat pula dilakukan pada tanaman tebu baru atau *plant cane* (PC) asalkan residu tebu dari kebun tebu lain tersedia dalam jarak yang tidak terlalu jauh dari kebun tersebut. Berbagai studi sebelumnya telah mengemukakan berbagai manfaat dari implementasi GCTB di perkebunan tebu, antara lain meningkatkan populasi makro dan mikrofauna tanah, menghambat pertumbuhan gulma, mengurangi evapotranspirasi tanah atau menjaga kadar air tanah, dan meningkatkan produktivitas tebu. Dengan berbagai manfaat penerapan GCTB di lahan tebu, disarankan bagi petani tebu dan pabrik gula untuk menerapkan praktik ini secara berkelanjutan. Bila memungkinkan, disarankan juga untuk menggunakan alat dan mesin pertanian (alsintan) dalam penerapan GCTB, mengingat penerapan GCTB secara manual membutuhkan biaya tambahan yang lebih tinggi. Meski demikian, perlu diperhatikan jenis dan kondisi tanah di lingkungan tumbuh tebu. Implementasi GCTB tidak disarankan dilakukan pada kebun dengan kondisi tanah berat dan iklim basah dengan kelembaban tinggi karena justru berpotensi menyebabkan banjir dan mempermudah penyebaran patogen yang pada akhirnya dapat menurunkan produktivitas tebu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada staf lapang PG Bungamayang PTPN VII yang telah bersedia diwawancarai terkait topik ini. Terima kasih juga kepada Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia yang telah memberikan akses data dan pustaka yang berkaitan dengan topik ini kepada penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- Abegunde, VO, Sibanda, M & Obi, A 2020, Determinants of the adoption of climate-smart agricultural practices by small-scale farming households in King Cetshwayo district municipality, South Africa, *Sustainability*, 12(1): 1-27.
- Akhadiarto, S 2008, Pemanfaatan limbah tanaman tebu untuk pakan sapi, *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 4(3): 149-154.
- Astuti, AD 2019, Analisis potensi dampak lingkungan dari budidaya tebu menggunakan pendekatan *life cycle assessment* (LCA), *Jurnal Litbang*, 15(1): 51-64.
- Basit, A & Nurhidayati 2016, Manajemen residu untuk meningkatkan serapan hara N dan S, hasil tebu dan gula dalam budidaya tebu (*Saccharum officinarum* L.) lahan kering, *Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat LPPM*, Universitas Islam Malang, Malang, pp. 121-126.
- Batubara, RP & Listyarini, E 2017, Kajian aplikasi seresah tebu dan urea terhadap ketersediaan nitrogen dalam tanah PT. Perkebunan Nusantara X Jengkol – Kediri, *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 4(1): 411-419.
- Bonnett, GD, Salter, B & Alberston, PL 2001, Biology of sucker: Late-formed shoots in sugarcane, *Annals of Applied Biology*, 138: 17-26.
- Carvalho, JL, Nogueirol, RC, Menandro, LMS, Bordonal, RO, Borges, CD, Cantarella, H & Franco, HCJ 2017, Agronomic and environmental implications of sugarcane straw removal: A major review, *GCB Bioenergy*, 9: 1181-1195.
- Carvalho, KS, Vianna, MS, Nassif, DSP, Costa, LG, Folegatti, MV & Marin, FR 2019, Effect of soil straw cover on evaporation, transpiration, and evapotranspiration in sugarcane cultivation, *Australian Journal of Crop Science*, 13(08): 1362-1368.
- Chandiposha, M 2013, Potential impact of climate change in sugarcane and mitigation strategies in Zimbabwe, *African Journal of Agricultural Research*, 8: 2814-2818.

- Chapin III, FS, Matson, PA & Mooney, HA 2002, *Principles of terrestrial ecosystem ecology*, Springer Verlag, United States of America, 529 p.
- Concenço, G, Leme, JRA, Silva, CJ, Marques, RF, Silva, LBX, & Correia, IVT 2016, Weed occurrence in sugarcane as function of variety and ground straw management, *Planta Daninha*, 34(2): 219-228.
- Dariah, A, Sutono, S, Nurida, NL, Hartatik, W & Pratiwi, E 2015, Pembenh tanah untuk meningkatkan *produktivitas* lahan pertanian, *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 9(2): 67-84.
- de Aquino, GS, Medina, CC, Shahab, M, Santiago, AD, Cunha, ACB, Kussaba, DAO, Carvalho, JB & Moreira, A 2018, Does straw mulch partial-removal from soil interfere in yield and industrial quality sugarcane? A long term study, *Industrial Crops and Products*, 111: 573-578.
- Dhanapal, R, Tayade AS, Bhaskaran, A & Geetha, P 2018, Efficient water management in sugarcane with composted coir pith and sugarcane trash under tropical Indian conditions, *Sugar Tech*, 21(2): 256-264.
- Diana, NE, Sujak, S & Djumali, D 2017, Efektivitas aplikasi pupuk majemuk NPK terhadap produktivitas dan pendapatan petani tebu. *Buletin Tanaman Tembakau, Serat & Minyak Industri*, 9(2): 43-53.
- Dianpratiwi, T, Wibowo, EP, & Wibowo, H 2018. Daya saing usahatani tebu terhadap komoditas *eksisting* di wilayah kerja Pabrik Gula Wonolangan Kabupaten Probolinggo tahun 2018, *Caraka Tani: Journal of Sustainable Agriculture*, 33(1): 57-67.
- Direktorat Jenderal Perkebunan 2016, *Tree crop estate statistics of Indonesia 2015-2017 (Statistik perkebunan Indonesia 2015-2017)*, diakses pada 22 Desember 2020, (<http://bit.ly/39Swm9Q>).
- Elkins, NZ & Whitford, WG 1982, The role of microarthropods and nematodes in decomposition in a semi-arid ecosystem, *Oecologia*, 55(3): 303-210.
- Erlina, Y, Wicaksono, KP & Barunawati, N 2017, Studi pertumbuhan dua varietas tebu (*Saccharum officinarum* L.) dengan jenis bahan tanam berbeda, *Jurnal Produksi Tanaman*, 5(1): 33-38.
- Furqon, A & Kusumawati, A 2018, Perbandingan aplikasi seresah dibakar dan diserak tanpa dibakar terhadap pertumbuhan dan produktivitas tanaman tebu (*Saccharum officinarum* L.) di distrik cinta manis PT Perkebunan Nusantara VII, *AGROISTA: Jurnal Agroteknologi*, 2(2): 108-117.
- Galdos, MV, Cerri, CC & Cerri, CEP 2009, Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil, *Geoderma*, 153:347-352.
- Goenadi, DH, Susila, WR, Nahdodin & Malian, H 2005, *Prospek dan arah pengembangan agribisnis tebu*, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian, Jakarta, 35 p.
- Goenadi, DH & Santi, LP 2006, Aplikasi bioaktivator *SuperDec* dalam *pengomposan* limbah padat organik tebu, *Buletin Agronomi*, 34(3): 173-180.
- Gosnell, JM & Lonsdale, JE 1977, Effects of irrigation level and trash management on sugarcane, *16th Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists*, pp 565-585.
- Gunawan, S, Koto, S, Aji, P & Widarto, A 2017, Sugarcane trash management after manual harvest and its impact on productivity, *Proceeding of the International Sugarcane Conference in Conjunction with World Plantation Conferences and Exhibition (WPLACE)*, Indonesian Sugar Research Institute, 9 p.
- Gunawan, S, Aji, P, Widarta, A & Misdi 2018, *Penerapan trash management pada tanaman ratoon sebagai upaya peningkatan kesuburan tanah dan produktivitas tebu*, diakses pada 22 Desember 2020, (<http://bit.ly/3ixT0Ix>).
- Gustanti, Y, Chairul & Syam, Z 2014, Pemberian mulsa jerami padi (*Oryza sativa*) terhadap gulma dan produksi tanaman kacang kedelai

- Glycine max* (L.) Merr), *Jurnal Biologi Universitas Andalas*, 3(1): 73-79.
- Hardy, G 1990, An integrated approach to weed control management in the Cuban sugar industry, *Proceedings X ALAM Congress*, Havana, pp 46-55.
- James, G 2004, *Sugarcane (2nd Edition)*, Blackwell Science Ltd, p 115.
- Jenjariyakosoln, S, Gheewala, HS, Sajjakulnukit, B & Garivait, S 2014, Energy and GHG emission reduction potential of power generation from sugarcane residues in Thailand, *Energy for Sustainable Development*, 23: 32-45.
- Karve, P, Mabajan, HY, Salunkbe, RM & Karve, AD 2001, *Boiling point 47: A chain of technologies for using sugarcane trash as a household fuel*, Practical Action, diakses pada 20 Januari 2021, (<https://bit.ly/2KBrhKA>), pp 16-18.
- Kementerian Pertanian 2016, Statistik Perkebunan Indonesia-Tebu 2015-2017. Direktorat Jendral Perkebunan, Kementerian Pertanian.
- Kementerian Pertanian 2020, *Produktivitas tebu menurut provinsi, 2016-2020*, diakses pada 22 Desember 2020, (<https://bit.ly/3a5Ivsn>).
- Khaehanchanpong, Y, Ahamed, T & Takigawa, T 2017, Design, fabrication and performance evaluation of an inter-row cultivator for sugarcane fields, *Inventions*, 2: 25.
- Leite, JM, Ciampitti, IA, Mariano, E, Vieira-Megda, MX, Trivelin, & PCO 2016, Nutrient partitioning and stoichiometry in unburnt sugarcane ratoon at varying yield levels, *Frontiers in Plant Science*, 7: 466.
- Lestari, EK, Fauzi, A, Hutagaol, MP & Hidayat, A 2015, Keuntungan petani tebu rakyat melalui kemitraan di Kabupaten Jember, *Buletin Tanaman Tembakau, Serat & Minyak Industri*, 7(2): 79-89.
- Liao, Q, Wei, G, Chen, G, Liu, B, Huang, D & Li, Y 2014, Effect of trash addition to the soil on microbial communities and physico-chemical properties of soils and growth of sugarcane plants, *Sugar Tech*, 16(4): 400-404.
- Lorenzi, HJ, Gandini, MO & Gazon, AL 1989, Trash blankets: The potential to control weeds and the effect on ratoon cane development. *Proceedings XX ISSCT Congress*, São Paulo, Brazil, pp 53-56.
- Luca, EF, Chaplot, V, Mutema, M, Feller, C, Ferreira, ML, Cerri, CC & Couto, HTZ 2018, Effect of conversion from sugarcane pre-harvest burning to residues green-trashing on SOC stocks and soil fertility status: Results from different soil conditions in Brazil, *Geoderma*, 310: 238-248.
- Macedo, NM, Botelho, PSM & Campos, MBS 2003, Chemical control of the leafhopper-root sugarcane and impact on the population of arthropods, *STAB-Açúcar, Álcool e Subprodutos*, 21: 30-33.
- Magalhães, PSG & Braunbeck, OA 2014, Sugarcane and straw harvesting for ethanol production, in Cortez LAB (ed.), *Sugarcane bioethanol – R&D for productivity and sustainability*, Blucher, São Paulo, pp 465-475.
- Marin, FR, Thorburn, PJ, da Costa, LG & Otto, R 2014, Simulating long-term effects of trash management on sugarcane yield for Brazilian cropping systems, *Sugar Tech*, 16: 164-173.
- Martins Filho, MV, Liccioti, TT, Pereira, GT, Marques Júnior, J & Sanchez, RB 2009, Perdas de solo e nutrientes por erosão num Argissolo com resíduos vegetais de cana-de-açúcar, *Engenharia Agrícola*, 29: 8–18.
- Mashoko, L, Mbohwa, C & Thomas, VM 2010, LCA of the South African sugar industry, *Journal of Environmental Planning and Management*, 53(6): 793-807.
- McCray, JM, Ji, S & Baucum, LE 2015, Sugarcane yield response to furrow-applied organic amendments on sand soils. *International Journal of Agronomy*, 2015: 1-9.

- Meier, EA, Thorburn, PJ, Wegener, MK & Basford, KE 2006, The availability of nitrogen from sugarcane trash on contrasting soils in the wet tropics of North Queensland, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 75: 101–114.
- Misran, E 2005, Industri tebu menuju zero waste industry, *Jurnal Teknologi Proses*, 4(2): 6-10.
- Mukesh, S & Rani, V 2017, Performance evaluation of machinery for sugarcane handling and trash management, *International Journal of Agricultural Engineering*, 10(1): 234-238.
- Muñoz-Arboleda, F & Quintero-Duran, R 2009, Trash management after green cane harvesting and its effect on productivity and soil respiration, *27th Proceedings of the Australian Sugar Cane Technology*, Australian Society of Sugar Cane Technologists, Bundaberg, Australia, pp 1-8.
- Murni, R, Akmal, S & Ginting, BL 2008, *Buku Ajar Teknologi Pemanfaatan Limbah untuk Pakan*, Universitas Jambi, Jambi.
- Ng. Cheong, LR & Teeluck, M 2016, The practice of green cane trash blanketing in the irrigated zone of Mauritius: Effects on soil moisture and water use efficiency of sugarcane, *Sugar Tech*, 18(2): 124-133.
- Núñez, O & Spaans, E 2008, Evaluation of green-cane harvesting and crop management with a trash-blanket, *Sugar Tech*, 10(1): 29-35.
- Nur, T, Noor, AR & Elma, M 2016, Pembuatan pupuk organik cair dari sampah organik rumah tangga dengan penambahan bioaktivator EM4 (*effective microorganisms*), *Konversi*, 5(2): 5-12.
- Nurhidayati, Sholihah, A & Hadiyono, ME 2017, Efek residu berbagai macam pengelolaan sisa tanaman tebu dan pemupukan N dan S terhadap pertumbuhan, hasil dan gula tanaman tebu keprasan (*Saccharum officinarum L.*), *Jurnal Folium*, 1(1): 1-13.
- Olivier, FC & Singels, A 2012, The effect of crop residue layers on evapotranspiration, growth and yield of irrigated sugarcane, *Water SA*, 38(1): 77-86.
- Oliviera, MW, Trivelin, PCO, Kingston, G & Vitti, AC 2002, Decomposition and release of nutrients from sugarcane trash in two agricultural environments in Brazil, *24th Proceedings of the Australian Sugar Cane Technology*, Australian Society of Sugar Cane Technologists, Bundaberg, Australia, pp 1-10.
- Oliveira, APP, Alves, BJR, Anjos, LHCD, Lima, E, Zonta, E, Pereira, W & Soares, PFC 2017, Agronomic performance of green cane fertilized with ammonium sulfate in a coastal tableland soil. *Bragantia*, 76(2): 246-256.
- Patil, RA & Deshannavar, UB 2017, Dry sugarcane leaves: Renewable biomass resources for making briquettes, *International Journal of Engineering Research and Technology*, 10(1), 232-235.
- Pawirosemadi, M 2011, *Dasar-dasar teknologi budidaya tebu dan pengolahan hasilnya*, Universitas Negeri Malang Press, Malang, 812 p.
- Peraturan Gubernur Sumatera Selatan 2016, *Peraturan Daerah Provinsi Sumatera Selatan Nomor 8 Tahun 2016 tentang Pengendalian Kebakaran Hutan dan/atau Lahan*, diakses pada 1 Maret 2021, (<https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/35957>).
- Perdinan, Dewi, NWSP & Dharma, AW 2018, Lesson learnt from Smart Rice actions in Indonesia, *Future of Food: Journal of Food, Agriculture and Society*, 6(2): 9-20.
- Purnomo, EA, Sutrisno, E & Sumiyati, S 2017, Pengaruh variasi C/N rasio terhadap produksi kompos dan kandungan kalium (K), pospat (P) dari batang pisang dengan kombinasi kotoran sapi dalam sistem vermicomposting, *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(2): 1-15.
- Purwanti, EW 2017, *Pengelolaan hama terpadu (PHT) berbasis konservasi dan augmentasi detritivora di lahan padi sawah (Oryza sativa L.)*, Universitas Brawijaya, Malang.
- Pusat Penelitian Gula PTPN X 2015, *Bukti Penyerahan Analisa Pupuk*, PTPN X, Kediri.

- Putra, LK, Kristini, A, Achadian, EM & Damayanti, TA 2013, Sugarcane streak mosaic virus in Indonesia: Distribution, characterisation, yield losses and Management Approaches, *Sugar Tech*, 16(4): 392-399.
- Putra, RP, Ranomahera, MRR, Rizaludin, MS, Supriyanto, R & Dewi, VAK 2020, Investigating environmental impacts of long-term monoculture of sugarcane farming in Indonesia through DPSIR framework, *Biodiversitas*, 21(9): 4945-4958.
- Ranomahera, MRR, Puspitasari, AR, Putra, RP, Gustomo, D & Winarsih, S 2020, Agronomic performance and economic benefits of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) under drip irrigation for sandy and clay soils in East Java, Indonesia, *Indonesian Soil and Climate Journal*, 44(2): 141-153.
- Rivera-Cadavid, L, Manyoma-Velásquez, PC & Manotas-Duque, DF 2019, Supply chain optimization for energy cogeneration using sugarcane crop residues (SCR), *Sustainability*, 11(23): 6565.
- Robertson, FA & Thorburn, PJ 2007, Decomposition of sugarcane harvest residue in different climatic zones, *Soil Research*, 45(1): 1-11.
- Roni, NGK 2015, *Konservasi tanah dan air*, Buku Ajar Fakultas Peternakan Universitas Udayana, Bali, 30 p.
- Salter, B, Schroeder, B & Perna, J 2010, Farming systems and their effect on the response of sugarcane to nitrogen, *32nd Proceedings of the Australian Sugar Cane Technology*, Australian Society of Sugar Cane Technologists, Bundaberg, Australia, pp. 210-220.
- Sandhu, H, Singh, M, Gilbert, R, Morgan, K, Rice, R, Baucum, L, Shine Jr., J & Irely, M 2018, Effects of harvest method on microclimate in Florida sugarcane, IFAS Extension, University of Florida, diakses pada 20 Januari 2021, (<https://edis.ifas.ufl.edu/sc100>).
- Saputri, NK & Respatiadi, H 2018, Policy Reform to Lower Sugar Prices in Indonesia. Center for Indonesian Policy Studies, diakses pada 25 Maret 2021, (<https://repository.cips-indonesia.org/publications/270481/policy-reform-to-lower-sugar-prices-in-indonesia>).
- Simamora, C 2006. *Inokulasi mikroba selulolitik untuk mempercepat proses pengomposan sampah pasar dan pengaruh kompos terhadap produksi dan usaha tani sayuran*, Tesis S2, Institut Pertanian Bogor.
- Simanungkalit, RDM, Suriadikarta, DA, Saraswati, R, Setyorini, D & Hartatik, W 2006, *Pupuk organik dan pupuk hayati*, Kementerian Pertanian Republik Indonesia, diakses pada 22 Desember 2020, (<http://bit.ly/3o4PuXa>).
- Singh, SN, Singh, AK, Malik, JPS, Kumar, R, Sunderpal & Sharma, ML 2012, Cultural-practice packages and trash management effects on sugarcane ratoons under sub-tropical climatic conditions in India, *Journal of Agricultural Science*, 150: 237-247.
- Skocaj, DM, Everingham, YL & Schroeder, BL 2013, Nitrogen management guidelines for sugarcane production in Australia: Can these be modified for wet tropical conditions using seasonal climate forecasting?, *Springer Science Reviews*, 1: 51-71.
- Soebandrijo, SH, Wahyuni, SA & Soeharjan, M 2000, Peranan serasah dan gulma dalam meningkatkan keanekaragaman hayati dan pengendalian serangga hama kapas di Indonesia, *Prosiding Simposium Keanekaragaman Hayati Arthropoda pada Perkembangan Jambu Mete dan Strategi Pengendalian Hama Utamanya*, pp. 277-284.
- Srivastava, AK & Rai, MK 2012, Sugarcane production: Impact of climate change and its mitigation, *Biodiversitas*, 13(4): 214-227.
- Stevenson, FJ 1982. *Organic forms of soil nitrogen in agricultural soils*, Agronomy 22 ed., Madison, WI, pp 67-122.
- Stirling, G, Hayden, H, Pattison, T & Stirling, M 2016, *Soil health, soil biology, soilborne diseases and sustainable agriculture: A guide*, CSIRO Publishing, Australia, 280 p.

- Sugandi, W, Setiawan, RPA & Hermawan, W 2013, Uji kinerja unit pemotong serasah tebu tipe reel, *Bionatura*, 15(3): 149–155.
- Sujak, Sunarto DA & Subiyakto 2018, Pengaruh penambahan biomasa di lahan kering terhadap diversitas arthropoda tanah dan produktivitas tebu, *Buletin Tanaman Tembakau, Serat & Minyak Industri*, 10(1): 21-31.
- Sulaiman, AA, Sulaeman Y, Mustikasari, N, Nursyamsi, D & Syakir, AM 2019, Increasing sugar production in Indonesia through land suitability analysis and sugar mill restructuring, *Land*, 8(4): 61.
- Surdianto, Y, Setiawan, BI, Prastowo & Saptomo, SK 2012, Peningkatan resapan air tanah dengan saluran resapan dan rorak untuk meningkatkan produktivitas belimbing manis (studi kasus di kota Depok), *Jurnal Irigasi*, 7(1): 1-15.
- Suryanto, A 2019, *Teknologi produksi tanaman budi daya*, UB Press, Malang, Indonesia, 140 p.
- Tayade, AS, Geetha, P, Anusha, S, Dhanapal, R & Hari, K 2017, Effect of green cane trash blanketing and microbial consortia application on soil compaction and productivity of mechanically harvested sugarcane ratoon crops, *Journal of Sugarcane Research*, 7(2): 112-120.
- Tórtora, ML, Vera, L, Naval, NG, de Ullivarri, JF, Dignonzelli, P & Romero, ER 2013, Effect of sugar cane trash blanketing on the development of microorganisms of agronomic and environmental interest, *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán*, 90(1): 61-68.
- Toharisman, A & Triantarti 2016, An overview of sugar sector in Indonesia, *Sugar Tech*, 18(6): 636-641.
- Tsao, CC, Campbell, JE, Mena-Carrasco, M, Spak, SN & Carmichael, GR 2011, Increased estimates of air-pollution emissions from Brazilian sugar-cane ethanol, *Nature Climate Change*, 2: 53-57.
- van Antwerpen, R 2010, *Information Sheet: The pros and cons of trashing or burning at harvest*, South African Sugarcane Research Institute, South Africa, 4 p.
- Vianna, M, Carvalho, KD, Marin, FR & Nassif, DSP 2020, Modelling the trash blanket effect on sugarcane growth and water use, *Computers and Electronics in Agriculture*, 172: 105361.
- Widiyaningrum, P & Lisdiana 2015, Efektivitas proses pengomposan sampah daun dengan tiga sumber activator berbeda, *Rekayasa*, 13(2): 107-113.
- Wijayanti, R 2017, Pengaruh pemberian urea terhadap laju dekomposisi serasah tebu di Pusat Penelitian Gula Jengkol, Kabupaten Kediri, *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 5(1): 793-799.