

IKLIM DAN PENGELOLAAN AIR TANAMAN TEBU

Prima Diarini Riajaya

Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat
Jln. Raya Karangploso, Kotak Pos 199 Malang, 65152
e-mail: primariajaya@yahoo.com

Ringkasan

Penanaman tebu di Indonesia umumnya dilakukan di lahan kering dan sangat dipengaruhi oleh ketersediaan air dari curah hujan untuk memenuhi kebutuhan tanaman. Pemahaman mengenai iklim dan pengaruhnya terhadap pertumbuhan dan produksi sangat penting karena kebutuhan air pada setiap fase pertumbuhan, dan pengelolaan air tanaman sangat dibutuhkan untuk memperoleh produktivitas tebu yang tinggi. Fase pertunasan sampai pemanjangan batang merupakan periode pembentukan komponen hasil yang paling kritis terhadap kebutuhan air, sehingga stres air yang terjadi pada periode tersebut berpengaruh terhadap penurunan hasil. Tingkat ketersediaan air pada periode pemanjangan batang menentukan tinggi batang, sedangkan pada periode kemasakan akan menentukan tingkat rendemen. Tebu merupakan tanaman yang berumur panjang hingga satu tahun dengan produksi biomassa yang tinggi sehingga kebutuhan air juga tinggi. Bila kandungan air tanah berkurang sampai 50% maka pertumbuhan dan produksi batang akan berkurang. Pengairan diberikan apabila curah hujan tidak dapat memenuhi kebutuhan tanaman, dan diberikan berdasarkan kapasitas tanah memegang air. Produksi tanaman tebu sangat ditentukan oleh jumlah dan bobot batang, sehingga usaha untuk menjamin ketersediaan air selama pertumbuhan sangat diperlukan. Drainase dibutuhkan apabila curah hujan melebihi kebutuhan tanaman dan kapasitas tanah memegang air. Pada kondisi anomali iklim yang mengarah pada curah hujan tinggi menyebabkan potensi genangan pada lahan berdrainase buruk dan bila terjadi pada musim kemarau akan menurunkan rendemen. Pemilihan lahan yang sesuai sebaiknya mempunyai drainase lancar untuk menghindari genangan, dan untuk mendukung hal tersebut maka usaha untuk perbaikan saluran drainase sangat diperlukan. Tulisan ini memaparkan pemahaman mengenai faktor iklim yang berpengaruh pada setiap fase pertumbuhan tanaman tebu dan pengelolaan air mendukung upaya peningkatan produktivitas dan rendemen tebu.

Kata kunci: Tebu, iklim, , pengelolaan air

Climate and Water Management for Sugarcane

Summary

Planting sugarcane in Indonesia is generally carried out in dry land and strongly influenced by the availability of water from rainfall to meet the water needs of plants. An understanding of the climate and its impact on growth and production is important in which water needs in each phase of growth and crop water management is needed to obtain a high productivity of sugarcane. Starting from sprouting until stem elongation phase is a period of yield formation and the most critical period to the needs of water, so the water stress that occurs during this period resulted in yield reduction. The level of water availability in the period of stem elongation determine the height of the stem, while the maturity period influences the sucrose content. Sugarcane has a

long crop age of up to one year with the production of high biomass that water demand is also high. When the soil water content is reduced to 50%, then growth and stem production will be reduced. Watering is delivered if rainfall is not able to meet the water needs of plants and is given according to the needs of plants and water holding capacity of the soil. Crop production is largely determined by the number and weight of stalk, so that efforts to ensure the availability of water during the growth of the plant is needed. Drainage is required if the rainfall exceeds the water needs of plants and water holding capacity of the soil. Under climate anomalies that lead to high rainfall causing potential inundation on land that is poorly drained and if they occur in the dry season will decrease the yield. Selection of suitable areas should be based on good drainage to avoid puddles, and to meet that demand on attempt to repair the drainage channel is needed. This paper describes the understanding of climatic factors that affect every phase of plant growth and water management of sugarcane for increased productivity and yield of sugarcane.

Keywords: Climate, sugarcane, water management

Pendahuluan

Tebu merupakan salah satu komoditas strategis penghasil gula dan bioenergi yang dapat tumbuh di daerah tropis dan subtropis dengan kendala utama ketersediaan air untuk mendukung pertumbuhan dan produksi (Kingston 1994; Silva *et al.* 2013). Penanaman tebu di Indonesia umumnya dilakukan di lahan kering dan dipengaruhi oleh ketersediaan air dari curah hujan. Faktor iklim terutama curah hujan berpengaruh terhadap tingkat produktivitas tebu di samping suhu, kelembapan, dan lama penyinaran. Tingkat produktivitas tebu berbeda dari satu wilayah ke wilayah lainnya tergantung pada kondisi iklim terutama curah hujan, tingkat pengelolaan tanaman, dan air. Variasi produksi tebu di Nigeria dipengaruhi oleh faktor evaporasi saat pertumbuhan cepat dan suhu minimum saat perkecambahan (Binbol *et al.* 2006). Total evapotranspirasi selama pertumbuhan tebu sangat tinggi yaitu 800–2.000 mm (FAO 2012). Rata-rata kebutuhan air tanaman tebu berkisar 20 MI/ha dan kira-kira 80% dari total kebutuhan tersebut dipenuhi dari air tanah (Shrivastava dan Solomon 2011).

Total lahan tebu di Indonesia pada tahun 2014 seluas 474.928,7 ha dan 60% dari total luas lahan tersebut merupakan lahan tebu rakyat yang umumnya diusahakan di lahan kering dengan masa tanam pada pola II atau awal musim hujan sehingga pengaturan masa tanam optimum sangat diperlukan agar tanaman tebu mendapatkan kecukupan air untuk pertumbuhannya. Pemenuhan kebutuhan air tanaman dipenuhi dari curah hujan sehingga produktivitas akan bervariasi dengan pola hujan. Informasi kondisi iklim perlu diketahui sedini mungkin untuk meminimalkan dampak negatif terhadap pertumbuhan dan produksi tebu. Kurangnya informasi tentang pengaruh iklim, umur tanaman, dan varietas terhadap produksi dan rendemen merupakan faktor utama yang

berpengaruh terhadap produksi gula dan etanol di Brazil (Cardozo dan Sentelhas 2013).

Perubahan iklim berpengaruh terhadap tingkat produktivitas tebu, terutama di negara berkembang yang tingkat adaptasi dan mitigasi terhadap perubahan iklim masih rendah. Kejadian cuaca ekstrim yang meningkat akibat perubahan iklim berpengaruh negatif terhadap produktivitas tebu (Zhao dan Li 2015; Kumar dan Sharma 2014). Kumar dan Sharma (2014) mendapatkan hubungan non-linear antara produktivitas tebu dan faktor iklim. Variabilitas iklim global (suhu dan curah hujan) akan menjadi faktor utama pengendali produksi pertanian di masa mendatang, langkah-langkah adaptasi dan mitigasi perlu disiapkan untuk menghadapi isu perubahan iklim (Marin *et al.* 2013).

Faktor-faktor iklim dan dampaknya terhadap pertumbuhan dan produksi perlu diketahui. Untuk memperoleh produktivitas tebu yang tinggi dibutuhkan pemahaman mengenai iklim dan pengaruhnya terhadap pertumbuhan dan produksi, kebutuhan air pada setiap fase pertumbuhan, dan pengelolaan air untuk tanaman. Kekurangan air akibat kekeringan dan kelebihan air menurunkan produksi tebu. Kenyataan di lapangan sulit untuk mendapatkan kondisi optimum pada setiap fase pertumbuhan karena perubahan cuaca. Tebu merupakan tanaman yang berumur panjang hingga satu tahun dengan produksi biomassa yang tinggi sehingga kebutuhan air juga tinggi. Di samping itu kesesuaian lahan untuk tebu harus diperhatikan. Lahan berdrainase lancar dengan suplai air cukup, sangat sesuai untuk tebu untuk menghindari terjadinya genangan terutama pada fase kemasakan. Produktivitas tebu lahan kering lebih rendah dibanding lahan beririgasi.

Pengelolaan air tanaman yang baik dan menjamin ketersediaan air yang dibutuhkan setiap fase tumbuh dapat meningkatkan produktivitas tebu dan rendemen. Air bagi tanaman mempunyai peran penting dalam proses biokimia dan difusi yang terjadi di dalam sel dan dapat mengatur suhu dalam tanaman dan turgor sel. Untuk mendapatkan tingkat produksi yang optimum diusahakan tanaman tidak mengalami stres air terutama saat kebutuhan air maksimum. Stres yang terjadi saat fase pertumbuhan maksimum akan menurunkan pertumbuhan dan produksi. Setiap fase pertumbuhan tanaman mempunyai respon yang berbeda terhadap stres air, jumlah air yang digunakan tanaman berkaitan erat dengan tingkat produksi yang dihasilkan (Wright dan Whitty 2011). Tulisan ini memaparkan pemahaman mengenai faktor iklim yang berpengaruh pada setiap fase pertumbuhan tanaman tebu dan pengelolaan air tanaman untuk peningkatan produktivitas dan rendemen tebu.

Iklim dan Respon Ketersediaan Air Setiap Fase Pertumbuhan

Tanaman tebu berasal dari Asia dan tersebar di lahan irigasi dan lahan kering pada 23°LU dan 23°LS . Tanaman ini membutuhkan periode pertumbuhan relatif lama dengan kondisi lingkungan yang beradiasi dan berketersediaan air tinggi, diikuti dengan kondisi yang cerah (*sunny*) saat pemasakan dan panen. Pertumbuhannya membutuhkan suhu antara 22–30°C dengan suhu minimum 20°C (FAO 2015) dan suhu optimum 28–30°C (Liu dan Bull 1998). Suhu optimum 27°C dan minimum 15°C pertumbuhan akan terhambat (Ebrahim *et al.* 1998). Tanaman tebu menyimpan gula (sukrosa) dalam jumlah banyak di batang yang tumbuh di atas tanah. Produksi akhir tebu merupakan fungsi dari pertumbuhan batang yang menghasilkan ruang atau volume untuk pembentukan gula pada periode pemasakan. Hal ini merupakan hasil dari proses fisiologi yang kompleks dalam pertumbuhan dan pembentukan gula. Dengan mengetahui proses yang terjadi akan membantu pemahaman pembentukan gula dan peningkatan produktivitas.

Bahan untuk pertumbuhan dan hasil tebu adalah hasil proses fotosintesis. Akumulasi gula dalam batang berhubungan erat dengan aktivitas fotosintesis sehingga cekaman biotik dan abiotik selama fase pertumbuhan cepat akan menurunkan hasil (Endres *et al.* 2010). Proses fisiologi yang terjadi sangat berkaitan dengan kandungan air dalam tanaman, membuka dan menutup stomata tergantung pada turgor tanaman. Air dalam tanaman sangat dibutuhkan untuk proses fotosintesis dan menjaga turgor tanaman (Bull 2000). Endres *et al.* (2010) mendapatkan bahwa apabila turgor daun mencapai -1,5 MPa, maka laju fotosintesis kurang dari 20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{detik}$ dan stomata menutup, konsentrasi CO_2 dalam daun untuk fotosintesis berkurang. Pada kondisi optimum dengan konduksi stomata mencapai 0,6 $\text{mol}/\text{m}^2/\text{detik}$ akan dihasilkan laju fotosintesis sampai 40 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{detik}$. Pada siang hari tanpa stres air, potensial air daun tebu mencapai -1 MPa dan turun menjadi -1,5 MPa pada kondisi stres. Dengan demikian potensial air daun dapat dijadikan indikator stres air.

FAO (2015) membagi fase pertumbuhan tanaman tebu menjadi empat fase yaitu perkecambahan (*initial*) selama 30 hari, pertunasan (*crop development*) selama 50 hari, pemanjangan batang atau pertumbuhan cepat (*mid season*) selama 180 hari, dan pemasakan (*late season*) selama 60 hari. Pada fase perkecambahan dibutuhkan kondisi yang lembap di sekitar benih yang baru ditanam. Laju pertumbuhan awal masih lambat kemudian meningkat sampai mencapai pertumbuhan maksimum kemudian menurun bersamaan

dengan fase pemasakan. Fase pertunasan sampai pemanjangan batang merupakan periode pembentukan komponen hasil dan paling kritis terhadap kebutuhan air, sehingga stres air yang terjadi pada periode tersebut paling berpengaruh terhadap penurunan hasil (Ramesh dan Mahadevaswamy 2000).

Pembungaan tebu dipengaruhi oleh panjang hari, ketersediaan air atau nitrogen. Umur tanaman tebu bervariasi mulai 9 bulan sampai 12 bulan bahkan 14 bulan di wilayah tropis, akan tetapi dari segi indeks penggunaan waktu (*index of time value*) semakin lama umur panen semakin menurun indeks penggunaan waktu, angka *poll*, *brix*, produksi, dan sukrosa. Produksi gula optimum di wilayah tropis di Etiopia pada berbagai varietas dicapai bila tanaman dipanen umur 12 bulan dengan indeks penggunaan waktu yang optimum yaitu 91,36 ton/ha/bulan (Hagos *et al.* 2014).

Kondisi lingkungan sangat menentukan pertumbuhan dan perkembangan setiap fase tanaman tebu. Ketersediaan air yang cukup pada fase perkembangan dapat mempercepat tumbuhnya batang (*shoot*) dan akar (*root*), dan pertumbuhan jumlah anakan pada fase pertunasan. Batang tebu terdiri atas bagian yang masih muda dan yang sudah tua. Bagian muda berada pada 8 internode teratas dengan pertumbuhan cepat dan kandungan sukrosa masih rendah. Batang yang sudah tua berada di bagian bawah, pertumbuhannya lambat, dan kandungan sukrosanya tinggi. Pada saat batang memanjang kandungan serat meningkat akan tetapi kandungan sukrosa masih rendah (Bull 2000). Seiring dengan bertambah panjangnya batang tebu dan sudah berumur delapan bulan atau lebih, bagian batang yang sudah tua lebih banyak dibanding yang muda sehingga menandakan saat panen. Pada proses pemasakan dapat dipercepat dengan menunda irigasi untuk merangsang terjadinya stres air atau melalui aplikasi zat pemacu kemasakan (Inman-Bamber *et al.* 2002). Bila kandungan air tanah berkurang sampai 50% maka pertumbuhan dan produksi batang akan berkurang (Inman-Bamber dan Smith 2005).

Tingkat ketersediaan air pada periode pemanjangan batang menentukan tinggi batang, sedangkan pada periode kemasakan akan menentukan rendemen. Batang tebu akan terus tumbuh sepanjang kebutuhan air dan nutrisi terpenuhi dan suhu tidak membatasi. Pada saat kanopi mulai menutup, pertumbuhan jumlah anakan berhenti dan mencapai maksimum, tunas yang baru tumbuh akan mati, selanjutnya tunas tersebut tumbuh menjadi batang yang memanjang, menebal, dan membentuk sukrosa (FAO 2012). Inman-Bamber dan Smith (2005) menyatakan bahwa pemanjangan batang lebih sensitif terhadap stres air dibanding pemanjangan daun. Pada kondisi air tanah tersedia lebih dari 230 mm, laju pemanjangan batang dan daun menurun pada defisit kandungan air tanah mencapai 60–130 mm, jumlah daun per batang berku-

rang saat defisit air tanah 80 mm, biomassa berkurang pada defisit air tanah 130 mm, dan produksi sukrosa menurun pada defisit air tanah 150 mm. Robertson *et al.* (1999) mendapatkan bahwa stres air yang terjadi saat fase pembentukan anakan, tanaman tebu masih dapat membentuk anakan kembali pada periode berikutnya bila kondisi air tanah kembali mencukupi kebutuhan tanaman, tetapi apabila stres air terjadi saat kanopi tanaman sudah menutup sempurna maka akan terjadi penurunan produksi batang dan sukrosa karena menurunnya total biomassa.

Selanjutnya Smit dan Singels (2006) mendapatkan bahwa varietas yang mempunyai konduksi stomata dan potensial air daun yang tinggi pada kondisi stres air dapat menjaga perkembangan kanopi lebih lama. Silva *et al.* (2013) menyatakan bahwa respon pertama tanaman terhadap kondisi kekeringan adalah menutup stomata. Tanaman yang mempunyai mekanisme fisiologi yang dapat mengontrol fungsi stomata merupakan tanaman yang lebih tahan terhadap kekeringan, stomata dapat dikontrol dengan tingkat defisit air yang dapat menutup sebagian stomata sehingga fiksasi karbon masih terus berlangsung dan efisiensi penggunaan air meningkat.

Pada lahan berpengairan, pengairan dihentikan sebelum panen dengan istilah yang biasa dipakai periode *drying-off* agar kondisi lahan kering dan meningkatkan kandungan sukrosa. Kondisi kering sebelum panen diperlukan tanpa mengurangi produksi tebu (Carr dan Knox 2011) yaitu 30 hari sebelum panen dengan defisit air 37,76 mm (Araujo *et al.* 2016). Penurunan produksi tebu kurang dari 4% bila irigasi dihentikan pada periode *drying-off* namun tidak mempengaruhi produksi gula. Pada wilayah dengan curah hujan dan kapasitas tanah memegang air tinggi membutuhkan periode *drying off* lebih lama (Donaldson dan Bezuidenhout 2000). Fase kemasakan tebu terjadi antara pertumbuhan dan kematian dan merupakan fase pembentukan sukrosa di batang mulai dari batang bawah sampai atas. Dengan demikian batang tebu merupakan *reservoir* atau *storage sink* yang pada kondisi optimum akan diisi oleh sukrosa dalam jumlah yang banyak. Batang tebu terdiri atas internode yang terbentuk setiap 10 hari (Cardozo dan Sentelhas 2013).

Dengan demikian idealnya panen dilakukan pada saat yang tepat yaitu pada saat puncak kemasakan dengan kandungan sukrosa yang optimum pada musim kemarau. Kondisi yang demikian sering tidak terpenuhi karena perubahan cuaca, menunggu jadwal tebang, terbatasnya tenaga atau mesin tebang sehingga tebu dipanen sebelum atau sesudah mencapai rendemen puncak. Varietas dengan tipe kemasakan awal lebih sensitif terhadap kondisi cuaca sehingga masak lebih cepat dibanding varietas masak lambat yang mencapai kandungan sukrosa maksimum pada akhir panen (Scarpari dan de Beauclair

2009). Ketersediaan air yang rendah merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap pemasakan yang dapat menurunkan laju fotosintesis, pemanjangan daun dan batang (Cardozo dan Sentelhas 2013).

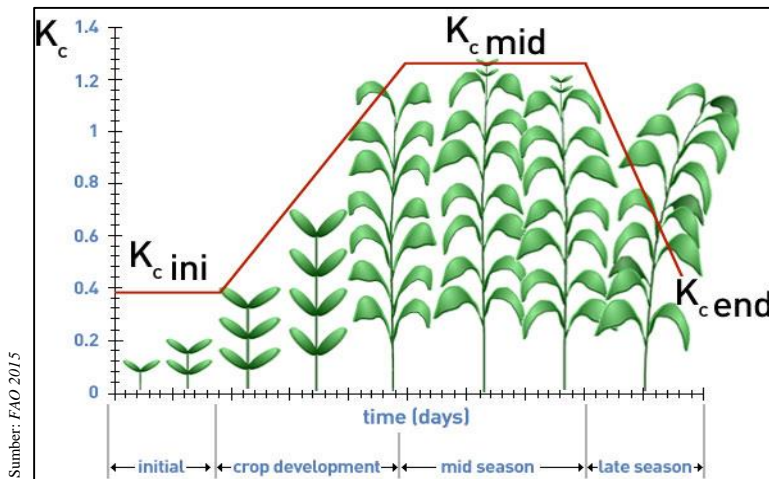
Dengan periode hujan yang terbatas, penanaman tebu pada periode I (akhir musim hujan) seringkali dihadapkan pada kondisi stres air terutama pada fase pertunasan sehingga diperoleh jumlah tunas yang sedikit. Penanaman tebu pada periode II (awal musim hujan) biasanya dihadapkan dengan stres air terutama pada fase pemanjangan batang dan menyebabkan panjang batang kurang optimal. Stres yang terjadi pada fase pemanjangan batang akan menyebabkan ruas batang pendek dan pertumbuhan tinggi tanaman terhambat. Sedangkan pada fase kemasakan justru diperlukan kondisi kering. Respon tanaman terhadap tingkat stres air akan berbeda pada setiap fase pertumbuhan.

Pembentukan sukrosa sangat ditentukan oleh periode kering sehingga dengan curah hujan yang merata sepanjang tahun terutama pada curah hujan tahunan 2.000–3.000 mm akan diikuti dengan periode kering yang pendek sehingga waktu yang dibutuhkan untuk kemasakan tebu berkurang dan menurunkan kandungan sukrosa dalam batang tebu sehingga menurunkan rendemen gula. Varietas tebu masak awal akan masak terlebih dahulu begitu memasuki musim kemarau kemudian varietas tebu masak lambat membutuhkan waktu yang lebih lama lagi akan masak.

Pengelolaan Air pada Tanaman Tebu

1. Kebutuhan Air Tanaman Tebu

Evapotranspirasi (ET) tanaman atau evapotranspirasi aktual mencerminkan kebutuhan air tanaman yang tergantung pada tingkat penutupan permukaan tanah oleh kanopi, kadar lengas tanah, dan distribusi akar. ET nilainya rendah pada fase awal tumbuh tanaman, meningkat pada fase pertumbuhan cepat, dan menurun kembali pada fase akhir pertumbuhan. Faktor yang mempengaruhi ET meliputi radiasi matahari, kelembapan, temperatur, dan angin. Evapotranspirasi potensial terkait dengan kondisi tersedianya energi untuk menguapkan air dari tanah dan angin untuk mengangkut uap air dari tanah naik ke permukaan. Secara sederhana kebutuhan air tanaman merupakan perkalian antara ET potensial dikalikan dengan koefisien tanaman. Koefisien tanaman menurut FAO (2015) disajikan pada Gambar 1 yang menggambarkan pola kebutuhan air tanaman tebu.

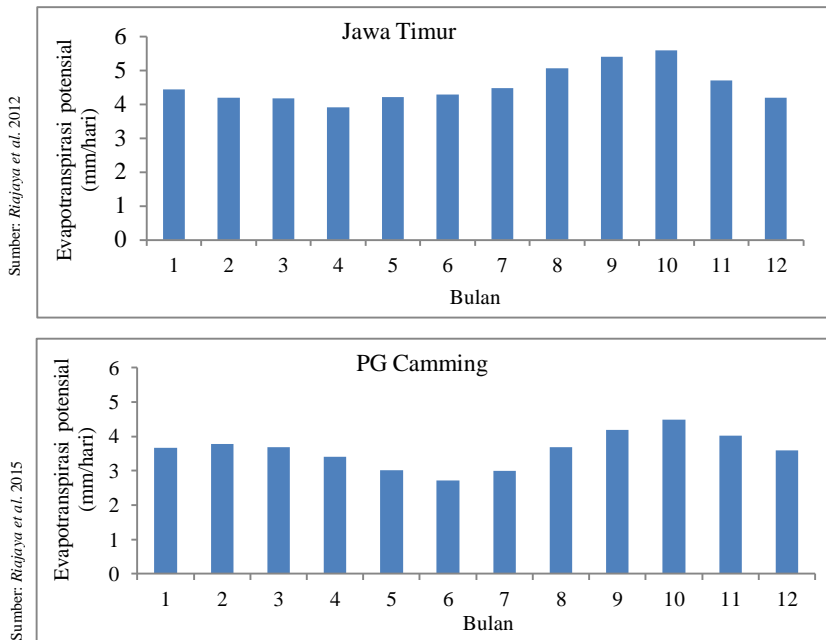


Sumber: FAO 2015

Gambar 1. Koefisien tanaman tebu (K_c) tiap fase pertumbuhan tanaman, yaitu fase perkecambahan (*initial*), pertunasan (*crop development*), pemanjangan batang, atau pertumbuhan cepat (*mid season*), dan kemasakan (*late season*)

Pada tanaman tebu, kebutuhan air berbeda tergantung setiap fase pertumbuhan. Pada fase perkecambahan kebutuhan air tanaman masih rendah, kemudian mulai meningkat pada fase pertunasan, mencapai puncaknya pada fase pemanjangan batang atau pertumbuhan cepat, dan mulai menurun pada fase pemasakan sampai panen. Kebutuhan air ini berbeda dari lokasi ke lokasi dan kondisi iklim. Pada saat tanam kondisi tanah harus cukup lembap (50% kandungan air tanah tersedia).

Evapotranspirasi potensial dapat dihitung menggunakan metode Penman berdasarkan data iklim. Riajaya *et al.* (2012;2015) menghitung evapotranspirasi potensial di wilayah Jawa Timur dan PG Camming, Bone yang disajikan pada Gambar 2a dan 2b. Evapotranspirasi potensial menggunakan data rata-rata lima tahun (2007–2011) suhu maksimum, suhu minimum, kelembapan, lama penyinaran, dan kecepatan angin dari Stasiun Meteorologi Perak I Surabaya dan PG Camming, Bone. Selama musim hujan sampai awal musim kemarau evapotranspirasi potensial di wilayah Jawa Timur berkisar 3,92–4,70 mm/hari, kemudian meningkat pada Agustus sampai Oktober dengan kisaran 5,06–5,59 mm/hari seiring dengan meningkatnya suhu maksimum, intensitas radiasi matahari, dan kecepatan angin. Di wilayah PG Camming evapotranspirasi potensial berkisar 2,72–4,48 mm/hari, dan Desember–Mei berkisar 3,01–3,78 mm/hari, Juni–Juli 2,72–2,99 mm/hari, dan Agustus–November 3,69–4,48 mm/hari.



Gambar 2. Evapotranspirasi potensial di wilayah (a) Jawa Timur dan (b) PG Camming

Total evapotranspirasi potensial selama musim tanam di wilayah PG Camming 1.278 mm (Riajaya *et al.* 2015) dan 1.692 mm di Jawa Timur pada penanaman bulan November (Riajaya *et al.* 2012). Dari data tersebut mengindikasikan bahwa pengembangan tebu di masing-masing wilayah diarahkan ke wilayah dengan curah hujan tahunan mendekati total evapotranspirasi potensial yang tersebar merata sesuai dengan pola kebutuhan air tebu. Dengan curah hujan efektif 80% maka dibutuhkan curah hujan tahunan sebesar 2.100 mm untuk wilayah Jawa Timur dan 1.600 mm untuk PG Camming. Idealnya saat puncak kebutuhan air tanaman yaitu saat fase pemanjangan batang bersamaan dengan musim hujan (3–4 bulan) dan pada akhir musim hujan mulai memasuki fase kemasakan. Pada fase awal perkecambahan tidak bersamaan dengan puncak musim hujan, jadi penanaman dilakukan pada awal musim hujan saat intensitas curah hujan masih rendah. Informasi total kebutuhan air ini penting diketahui dalam upaya pengembangan ke wilayah baru dan perkiraan hasil.

Total evapotranspirasi di Brazil 1.645 mm/tahun (da Silva *et al.* 2012), 1.369,84 mm di Myanmar (Win *et al.* 2014), 1.450 mm di Bundaberg, Australia (Kingston 1994), 1.100–1.960 mm di berbagai lokasi di Australia (Holden dan McGuire 2013), 1.542–1.964 mm di Hawaii (Osorio *et al.* 2014) dan

1.100–1.800 mm di beberapa lokasi tebu di dunia dengan puncak kebutuhan air 6–15 mm/hari (Carr dan Knox 2011). Tanaman tebu membutuhkan air 20 Ml/ha selama siklus hidupnya (Shrivastava dan Solomon 2011). Dengan memadukan pola kebutuhan tanaman dan pola hujan di suatu wilayah maka dapat ditetapkan masa tanam yang optimum. Stres terjadi akibat kebutuhan air hanya terpenuhi 50% sehingga menurunkan total bahan kering 20–56% dan total produksi 17–52% (Basnayake *et al.* 2012).

Efisiensi penggunaan air tanaman tebu 12,21 ton/Ml air di Australia (Kingston 1994); 4,8–12,1 ton/Ml air di Afrika bagian Selatan, Hawaii, dan Australia (Robertson dan Muchow 1994); 5,43 kg/m³ air di Iran (Bahrani *et al.* 2009); dan 12,6 ton/100 mm air di Afrika Selatan (Olivier dan Singels 2003). Setiap 10 mm air akan dihasilkan satu ton tebu per hektar dan dengan irigasi yang sangat efisien produktivitas dapat ditingkatkan menjadi 1,5 ton per hektar (Holden dan McGuire 2013). Efisiensi penggunaan air pada kondisi air tanah 80% di berbagai wilayah di dunia dilaporkan oleh FAO sebesar 5–8 kg tebu/m³ air dan 0,6–1 kg sukrosa/m³ air. Kingston (1994) membuat ringkasan dari berbagai sumber menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang linear antara penggunaan air tanaman dan produksi biomassa pada beberapa tanaman termasuk tebu pada kondisi lingkungan seperti pupuk, radiasi, dan suhu optimum. Pada tanaman tebu sebagian besar produksi biomassa berupa produksi batang tebu. Produktivitas dan efisiensi penggunaan air yang tinggi menunjukkan pengelolaan tanaman yang baik, produktivitas dan efisiensi penggunaan air yang rendah menunjukkan perlunya memperbaiki pengelolaan tanaman.

Pada kondisi lingkungan yang optimum yaitu radiasi 7.300 MJ/m², 4.000 *growing degree days* (GDD) pada suhu dasar 10°C, dan suplai air 1.800 mm menghasilkan produktivitas 200 ton/ha dan 24 ton gula/ha (Inman-Bamber 1995). Kondisi aktual di lapangan produktivitas tebu irigasi berkisar 80–150 ton/ha dengan 10–17 ton gula/ha. Produktivitas tebu irigasi rata-rata 120 ton/ha termasuk tingkat produktivitas yang tinggi. Produktivitas tebu lahan kering 30–90 ton/ha dengan rata-rata 60 ton/ha termasuk tingkat produktivitas yang tinggi.

2. Pengairan dan Drainase

Pengairan diberikan apabila curah hujan tidak dapat memenuhi kebutuhan air tanaman dan ditujukan untuk mengisi kembali profil tanah antara kapasitas lapang dan titik layu permanen. Defisit air sangat membatasi produktivitas tanaman tebu. Air tanah tersedia dapat digunakan oleh tanaman, dan bila air ta-

nah tersebut telah habis digunakan oleh tanaman maka akan dicapai titik layu permanen. Ketersediaan air dalam tanah tergantung jenis tanah. Pada tanah dengan tekstur pasir kira-kira 80% dari total air tersedia yang tersedia untuk tanaman dan pada tanah dengan tekstur liat hanya 40–50%. Tabel 1 menyajikan total air tanah tersedia yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman, hasil rangkuman Holden dan McGuire (2013). Efisiensi pengairan dimaksudkan untuk memberikan air yang cukup di sekitar perakaran tetapi tidak melebihi kapasitas lapang dan sesuai kebutuhan. Dengan demikian pemberian irigasi pada waktu dan volume yang tepat serta efisien dan ekonomis sesuai kebutuhan tanaman dan kapasitas tanah memegang air (Schroeder *et al.* 2009).

Tabel 1. Air tanah tersedia pada berbagai tekstur tanah (*RAW: readily available water*)

Jenis tanah	RAW (mm)
Liat	90–100
Lempung berliat	80–90
Lempung	70–80
Lempun berpasir	50–60
Liat berlempung	30–40

Sumber: Holden dan McGuire (2013)

Drainase dibutuhkan apabila curah hujan melebihi kebutuhan air tanaman dan kapasitas tanah memegang air. Pemilihan lahan yang sesuai sebaiknya mempunyai drainase lancar untuk menghindari genangan, maka usaha untuk perbaikan saluran drainase sangat diperlukan. Pada kondisi anomali iklim yang mengarah pada curah hujan tinggi menyebabkan potensi genangan pada lahan berdrainase buruk dan bila terjadi pada musim kemarau akan menurunkan rendemen.

Produksi tanaman tebu sangat ditentukan oleh jumlah dan bobot batang sehingga usaha untuk menjamin ketersediaan air tanaman selama pertumbuhan sangat diperlukan. Pada fase kritis tanaman tebu yaitu mulai fase anakan sampai pertumbuhan cepat sehingga kebutuhan air tanaman harus tercukupi untuk membentuk komponen produksi yang tinggi. Silva *et al.* (2008) mendapatkan penurunan produktivitas tebu 22,5% bila stres air terjadi pada fase pertumbuhan cepat karena menurunnya jumlah, panjang, dan bobot batang. Komponen produksi tersebut sangat dipengaruhi lingkungan dan dapat menentukan produksi pada kondisi stres air dan responnya sangat tergantung genotipe.

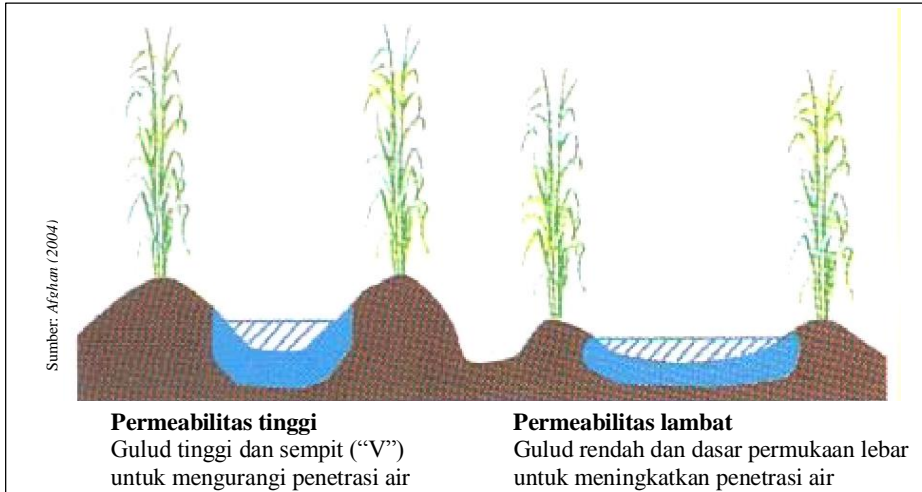
Idealnya penanaman tebu dilakukan sebelum memasuki musim hujan dengan menambah pengairan pada awal pertumbuhan yaitu pada fase perkecambahan sampai pertunasan sehingga memasuki fase pemanjangan batang

bersamaan dengan musim hujan dan menjelang kemasakan bersamaan dengan musim kemarau. Penanaman tebu di lahan kering pada pola II dapat dilakukan pada awal musim hujan. Tanaman tebu membutuhkan 9 bulan dengan tingkat kecukupan air sebelum memasuki periode kemasakan sehingga waktu tanam sangat berpengaruh pada tanaman baru (PC). Saat fase kemasakan tanaman tebu tidak membutuhkan pengairan. Pertumbuhan tinggi batang dapat dijadikan indikator kebutuhan irigasi. Saat kandungan air tanah kurang dari 50% pertumbuhan berkurang.

Jumlah air yang dibutuhkan untuk mengairi pada fase awal tumbuh lebih sedikit dibanding mengairi pada fase pemanjangan batang. Tanaman tebu sedikitnya membutuhkan 850 mm per tahun untuk lahan kering. Irigasi penuh dibutuhkan bila curah hujan tahunan kurang dari 800 mm, irigasi tambahan dibutuhkan bila curah hujan tahunan kurang dari 1.000 mm untuk menjaga kestabilan hasil. Irigasi bisa diberikan melalui alur, drip, berjadwal berdasarkan kondisi air tanah yang dapat ditentukan berdasarkan pengukuran potensi air tanah (ambang -40 sampai -80 kPa), air tanah tersedia (ambang 50% air tanah tersedia) atau model simulasi (FAO 2012). Tanaman tebu di Indonesia menyebar mulai dari wilayah kering dengan curah hujan tahunan rata-rata 985–1.590 mm di Sampang, Madura (Riajaya *et al.* 2012) dan wilayah basah dengan curah hujan tahunan 1.650–2.500 mm di Bone Sulawesi Selatan (Riajaya *et al.* 2015).

Irigasi alur (*furrow irrigation*) paling banyak dipakai di berbagai negara karena tidak banyak membutuhkan peralatan irigasi, mudah dilaksanakan, dan sesuai untuk lahan dengan kemiringan kurang dari 3% dengan efisiensi pemberian air bervariasi 30–90%. Guludan dibentuk saat tanaman telah berumur 3–6 bulan dengan ketinggian bervariasi 15–25 cm dan di antara guludan dapat dijadikan alur irigasi. Apabila penetrasi air ke dalam tanah lambat maka kemiringan saluran air landai (0,06%). Semakin panjang juringan semakin rendah efisiensi penggunaan air dan meningkatkan perkolasi. Tingkat kemiringan lahan menentukan panjang juring yang dibuat, bila kemiringan lahan meningkat maka dibuat juring lebih panjang tetapi harus mempertimbangkan penetrasi air ke dalam tanah. Genangan sering terjadi dengan semakin panjang juring dan kemiringan lahan yang rendah. Pada tanah dengan permeabilitas yang lebih tinggi dan kemiringan lahan >0,5% maka dibuat juring yang lebih pendek. Guludan tinggi dengan bentuk guludan “V” dipakai untuk mengurangi penetrasi air ke dalam tanah untuk menghindari perkolasi dalam dan mengurangi kontak permukaan tanah dengan air. Guludan yang lebih pendek sesuai untuk lahan dengan permeabilitas rendah dan meningkatkan kontak permukaan tanah dengan air. Laju aliran air tergantung pada kemiringan la-

han, infiltrasi, dan panjang juring. Sebagai ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 3. Pada irigasi alur dalam periode yang lama bisa menyebabkan pemadatan tanah yang dapat mengurangi penetrasi air ke dalam tanah maka pengolahan tanah setelah panen sangat diperlukan.



Gambar 3. Bentuk gulud pada tanah dengan permeabilitas tinggi dan lambat

Penutupan tanah dengan sisa-sisa tanaman pada awal pertumbuhan tanaman dapat mengurangi evaporasi dan dapat menunda irigasi, juga berfungsi memperlambat pergerakan air sepanjang alur irigasi sehingga dibutuhkan irigasi yang lebih lama. Untuk menghemat air irigasi pengairan bisa diberikan tidak di setiap alur tanaman (*alternate furrow irrigation*) dengan membiarkan satu alur diberi mulsa dan alur berikutnya diairi karena air masih bisa bergerak lateral dengan frekuensi pemberian air ditingkatkan karena hanya sebagian permukaan tanah yang diairi.

Sistem irigasi *sprinkler* yang *portable* hanya dapat digunakan pada tanaman yang masih muda dan membutuhkan tenaga yang lebih banyak untuk memindahkan alat ke tempat lain untuk menjangkau lahan yang lebih luas sehingga tidak praktis digunakan untuk tanaman yang keragaannya tinggi seperti tebu. Setiap *sprinkler riser* hanya menjangkau 12–14 baris tanaman. Laju pemberian air sangat tergantung dengan tekstur tanah, tingkat tutupan tanah, dan kemiringan lahan. Pada lahan berpasir dibutuhkan 50 mm/jam pada kemiringan lahan 0,5% dibanding dengan 5 mm/jam pada lahan bertekstur liat. Dengan memberikan tekanan pada *nozzle* sebesar 400 kPa akan dihasilkan diameter *spray* sampai 39 m tergantung pada ketinggian *nozzle*. Irigasi

sprinkler yang bisa bergerak secara otomatis membentuk lingkaran menggunakan *centre pivot irrigator* yang dapat mengairi lahan yang lebih luas.

Irigasi tetes atau drip mempunyai efisiensi pengairan yang tinggi karena air diberikan langsung di daerah perakaran tanaman melalui pipa dan dibutuhkan investasi yang mahal. Evaluasi irigasi tetes di Zimbabwe untuk menggantikan irigasi permukaan menunjukkan bahwa efisiensi penggunaan air meningkat, namun demikian kendala distribusi air dari *emiter* karena penyumbatan sehingga harus dilakukan penyaringan dan pemasangan filter yang baik (Ndeketya *et al.* 2014). Pada irigasi *subsurface* kendala yang dihadapi adalah apabila terjadi kebocoran pipa tidak bisa terdeteksi dengan mudah sehingga harus dilakukan pengecekan berkala. Pada tanah berlempung, irigasi dalam waktu lama akan menyebabkan tanah jenuh, pertumbuhan batang tebu yang tinggi akan mudah roboh bila diterpa angin yang kuat.

Irigasi tetes memberikan air di atas atau di bawah permukaan tanah dalam volume yang sedikit tetapi frekuensinya sering, dengan *low rate* langsung di daerah perakaran tanaman. Penggunaan irigasi tetes di Maharashtra, India pada tanaman tebu membutuhkan air 940 mm/ha dengan produktivitas tebu 170 ton/ha dibanding 2.150 mm air/ha dengan irigasi konvensional yang biasa dipakai yaitu irigasi permukaan dengan produktivitas 128 ton/ha, sehingga menghemat 65% penggunaan air dan meningkatkan produktivitas 33% (Shrivastava dan Solomon 2011). Di samping itu biaya produksi tanaman tebu dengan irigasi tetes lebih murah 18% dibanding dengan irigasi permukaan, pemupukan dapat diaplikasikan bersamaan dengan air irigasi sehingga penyerapan pupuk lebih efisien, kehilangan air irigasi dapat dikurangi (Narayanamoorthy 2005), dan tidak terjadi *run-off* karena permukaan tanah yang basah hanya bersifat parsial tidak membasahi semua permukaan tanah sehingga pertumbuhan gulma terbatas (Lewis *et al.* 2011).

Pengairan yang berlebihan atau curah hujan yang tinggi menyebabkan genangan yang dapat berlangsung beberapa saat atau hari. Pada kondisi curah hujan yang berlebihan menyebabkan tanah jenuh air sehingga tergenang karena air tidak dapat dialirkan keluar atau naiknya permukaan *water table* mendekati permukaan tanah. Penurunan produksi tanaman tergantung lama dan kedalaman genangan. Tanaman tebu tidak tahan genangan lebih dari dua hari (James 2004) yang dapat menurunkan produktivitas 0,5 ton/ha setiap hari genangan (Davis 2014). Drainase dibuat agar terjadi keseimbangan antara kandungan air dalam tanah dan udara di wilayah perakaran.

Perbaikan drainase sangat diperlukan melalui drainase permukaan (*surface drainage*) untuk mengalirkan air permukaan atau *run-off* setelah hujan dan drainase bawah permukaan (*subsurface drainage*) untuk menjaga muka air

tanah (James 2004). Bila genangan disebabkan oleh naiknya muka air tanah maka drainase bawah permukaan diperlukan melalui pemasangan pipa di area yang tergenang dan mengalirkan air keluar dari daerah perakaran menuju drainase permukaan (terbuka). Naiknya muka tanah biasanya disebabkan oleh tingginya curah hujan yang terjadi setiap tahun (bertahun-tahun), minimnya saluran pembuangan air, dan lahan relatif datar. Drainase permukaan ditujukan untuk mengalirkan air permukaan dari lahan untuk mengurangi genangan melalui pembuatan kemiringan lahan berjenjang (*field levelling*) terutama pada lahan dengan sistem irigasi alur. *Levelling* lahan bisa dibuat di setiap batas lahan pada posisi lahan yang lebih rendah untuk mengalirkan air. Pada sistem drainase di lahan sebaiknya dangkal dan bentuknya tidak mengganggu pergerakan alat-alat mekanisasi dan pada bidang permukaan dasar drainase berumput sebagai penyaring sedimen, nutrien, atau pestisida sebelum air mencapai sungai, dan memperlambat aliran. Sebelum memilih sistem drainase yang sesuai harus diperhatikan faktor penyebabnya, bila setelah irigasi terjadi genangan maka efisiensi irigasi harus ditingkatkan dengan memperhatikan saluran pembuangan yang tepat. Saluran drainase dibuat terlebih dahulu sebelum melakukan pengairan.

Pada lahan tebu yang luas dan relatif datar sering terjadi genangan, bila muka air tanah naik akan mengganggu perakaran tanaman dan menurunkan potensi hasil. Untuk itu perlu mengamati kedalaman muka air tanah (kurang dari 120 cm di bawah permukaan tanah) menggunakan alat piezometer yang dipasang di lahan atau dengan pemonitor tinggi muka air pada sumur dangkal yang biasa ditemui di lahan sehingga fluktuasi muka air tanah dapat diketahui dan dapat mengatasi masalah drainase dengan tepat (Bakker 2012).

Penutup

Pemahaman mengenai iklim dan pengaruhnya terhadap pertumbuhan dan produksi, kebutuhan air pada setiap fase pertumbuhan, dan pengelolaan air tanaman sangat dibutuhkan untuk memperoleh produktivitas tebu yang tinggi. Mulai fase pertunasan sampai pemanjangan batang merupakan periode pembentukan komponen hasil dan paling kritis terhadap kebutuhan air, sehingga stres air yang terjadi pada periode tersebut harus dihindari. Tebu merupakan tanaman yang berumur panjang dengan produksi biomassa yang tinggi sehingga kebutuhan air juga tinggi. Pengairan diberikan apabila curah hujan tidak dapat memenuhi kebutuhan air tanaman yang diberikan sesuai kebutuhan tanaman dan kapasitas tanah memegang air. Drainase dibutuhkan apabila curah hujan melebihi kebutuhan air tanaman dan kapasitas tanah me-

megang air. Pada kondisi anomali iklim yang mengarah pada curah hujan tinggi menyebabkan potensi genangan pada lahan berdrainase buruk dan bila terjadi pada musim kemarau akan menurunkan rendemen. Pemilihan lahan yang sesuai sebaiknya mempunyai drainase lancar untuk menghindari genangan, maka usaha untuk perbaikan saluran drainase sangat diperlukan.

Daftar Pustaka

- Araujo, R., J.A. Junior, D. Casaroli, and A.W.P. Evangelista. 2016. "Variation in the sugar yield in response to drying-off of sugarcane before harvest and the occurrence of low air temperatures". *Agrometeorology Article. Bragantia*, 75(1):118–127. Epub Jan 08, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.170>.
- Bahrani, M.J., M. Shomeili, S.H. Zande-Parsa, and A. Kamgar-Haghighi. 2009. "Sugarcane responses to irrigation and nitrogen in subtropical Iran". *Iran Agricultural Research*, 27(1–2):17–25.
- Bakker, H. 2012. *Sugar Cane Cultivation and Management*. New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow: Springer Science & Business Media. Kluwer Academic/Plenum Publishers. 679p.
- Basnayake, J, P.A. Jackson, N.G. Inman-Bamber, and P. Lakshmanan. 2012. "Sugarcane for water-limited environments. Genetic variation in cane yield and sugar content in response to water stress". *Journal of Experimental Botany*, 63(16):6023–6033.
- Binbol, N.L., A.A. Adebayo, and E.H. Kwon-Ndung. 2006. "Influence of climatic factors on the growth and yield of sugarcane at Numan, Nigeria". *Climate Research*, 32:247–252.
- Bull, T. 2000. "The sugarcane plant". Mac Hogarth, D, Mac Hogarth, and P. Allsopp (Eds). *Manual of Cane Growing* Chapter 4. Bureau of Sugar Experiment Station. pp. 71–88.
- Cardozo, N.P. and P.C. Sentelhas. 2013. "Climatic effects on sugarcane ripening under the influence of cultivars and crop age". Review. *Scientia Agricola*, 70(6):449–456.
- Carr, M.K.V. and J.W. Knox. 2011. "The water relations and irrigation requirements of sugarcane (*Saccharum officinarum*)": A review. *Expl. Agric.*, 47(1):1–25.
- Davis, M. 2014. "Managing poor drainage and waterlogging to improve sugarcane yields". 1p. www.sugarresearch.com.au (Diakses tanggal 16 Februari 2016).
- da Silva, V.P.R., C.J.R. Borges, C.H.A. Farias, V.P. Singh, W.G. Albuquerque, and B.B. da Silva. 2012. "Water requirements and single and dual crop coefficients of sugarcane grown in a tropical region, Brazil". *Agricultural Sciences*, 3(2):274–286. <http://dx.doi.org/10.4236/as.2012.32032> (Diakses tanggal 25 Agustus 2014).
- Donaldson, R.A. and C.N. Bezuidenhout. 2000. "Determining the maximum drying off periods for sugarcane grown in different regions of the South African Industry". *Proceedings of the South African Sugar Technologist Association*, 74:162–166.
- Ebrahim, M.K., O. Zingsheim, M.N. El-Shourbagy, P.H. Moore, and E. Komor. 1998. "Growth and sugar storage in sugarcane grown at temperatures below and above optimum". *Journal of Plant Physiology*, 153(5–6):593–602.
- Endres, L., J.V. Silva, V.M. Ferreira, and G.V. de S. Barboza. 2010. "Photosynthesis and water relations in Brazilian sugarcane". *The Open Agriculture Journal*, 4:31–37.
- FAO. 2012. "Crop yield response to water". *Sugarcane*, pp. 174–180.

- FAO. 2015. "Crop water information: sugarcane". FAO. Water, Land, and Water Division. www.fao.org/nr/water/cropinfo_sugarcane.html (Diakses 26 Januari 2016).
- Hagos, H., L. Mengistu, and Y. Mequanint. 2014. "Determining optimum harvest age of sugar cane varieties on the newly establishing sugar project in the tropical areas of Tendaho, Ethiopia". *Advances in Crop Science and Technology*, 2(5), 4p.
- Holden, J.R. and P.J. McGuire. 2013. *Irrigation of Sugarcane Manual*. QLD-Aust.: BSES Limited Technical Publication. 68p.
- Inman-Bamber, N.G. 1995. "Climate and water as constraints to production in the South African sugar industry". *Proc. of Conf. South African Sugar Technol. Assoc.*, 69:55–59.
- Inman-Bamber, N.G. and D.M. Smith. 2005. "Water relations in sugarcane and response to water deficits". *Field Crops Research*, 92(2–3):185–202.
- Inman-Bamber, N.G., R.C. Muchow, and M.J. Robertson. 2002. "Dry matter partitioning of sugarcane in Australia and South Afrika". *Field Crops Research*, 76(1):71–84.
- James, G.L. 2004. "An Introduction to sugarcane". In James, G. (Ed.). *Sugarcane. World Agriculture Series*. Second Edition. UK. USA. Australia: Blackwell Science Ltd. pp. 1–18.
- Kingston, G. 1994. "Benchmarking yield of sugarcane from estimates of crop water use". *Proc. of Australian Society of Sugarcane Technologies*, pp. 201–209.
- Kumar, A. and P. Sharma. 2014. "Climate change and sugarcane productivity in India: An Econometric analysis". *Journal of Social and Development Sciences*, 5(2) June 2014:111–122.
- Lewis, E.M., C. Fearon, and T. Falloon. 2011. "Profitable drip irrigation". *Sugarcane*, 27(1), 12p. Jamaica: Sugar Industry Research Institute, Sugar Industry Authority.
- Liu, D.L. and T.A. Bull. 1998. "A new technique for the determining the thermal parameters of phenological development in sugarcane, including suboptimum and supra-optimum temperature regimes". *Agricultural and Forest Meteorology*, 90(1–2):119–139.
- Marin, F.R., J.W. Jones, A. Singels, F. Royce, E.D. Assad, G.Q. Pellegrino, and F. Justino. 2013. "Climate change impacts on sugarcane attainable yield in Southern Brazil". *Climatic Change*, (2013) 117:227–239.
- Narayanamoorthy, A. 2005. "Economics of drip irrigation in sugarcane cultivation: case study of a farmer from Tamil Nadu". *Ind. Jn. of Agri. Econ.*, 60(2) April–June:235–248.
- Ndeketea, A., F. Rusere, O. Svubure, S. Gwatibaya, G. Soropa, and J. Mashonganyika. 2014. "Drip irrigation as a potential alternative to furrow irrigation in sugarcane production-A case of the lowvels estate, Zimbabwe". *International Journal of Agricultural Policy and Research*, 2(1) January 2014:026–032.
- Olivier, F. and A. Singels. 2003. "Water use efficiency of irrigated sugarcane as affected by row spacing and variety". *Proc. South Africa Sugar Technol. Ass.*, (2003) 7:347–351.
- Osorio, J., J. Jeong, K. Bieger, and J. Arnold. 2014. "Influence of potential evapotranspiration on the water balance of sugarcane fields in Maui, Hawaii". *Journal of Water Resource and Protection*, 6:852–868.
- Ramesh, P. and M. Mahadevaswamy. 2000. "Effect of formative phase drought on different classes of shoots, shoot mortality, cane attributes, yield and quality of four sugarcane cultivars". *J. Agron Crop Sci.*, 185:249–258.
- Riajaya, P.D., F.T. Kadarwati, dan Djumali. 2015. "Potensi sumber daya iklim di Kabupaten Bone untuk pengembangan tanaman tebu". *Buletin Tanaman Tembakau, Serat & Minyak Industri*, 7(1) April 2015:28–44.

- Riajaya, P.D., Mastur, F.T. Kadarwati, Djumali, Sholeh, S. Mulyaningsih, C. Suhara. 2012. "Evaluasi hidrologi pengembangan tebu lahan kering di Kabupaten Bangkalan dan Sampang". Laporan Akhir Kerja Sama antara Dinas Perkebunan Provinsi Jawa Timur dengan Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat. (tidak dipublikasi). 106 hlm.
- Robertson, M.J. and R.C. Muchow. 1994. "Future research challenges for efficient crop water use in sugarcane production". *Proc. Austr. Soc. Sugarcane Technol.*, 16:193–200.
- Robertson, M.J., N.G. Inman-Bamber, R.C. Muchow, and A.W. Wood. 1999. "Physiology and productivity of sugarcane with early and mid-season water deficit". *Field Crops Research*, 64(3):211–227.
- Scarpari, M.S. and E.G.F. de Beauclair. 2009. "Physiological model to estimate the maturity of sugarcane". *Sci. Agric.*, 66(5):622–628.
- Schroeder, B., J. Panitz, T. Linedale, C. Whiteing, B. Callow, P. Samson, A. Hurney, D. Calcinio, and P. Allsopp. 2009. *SmartCane Harvesting and Ratoon Management*. BSES. Cane Growers, Environmental Protection Agency, Qld Gov. BSES Limited Technical Publication. 34p.
- Shrivastava, A.K. and S. Solomon. 2011. "Sustaining sugarcane productivity under depleting water resources". *Current Science*, 101(6):748–754.
- Silva, M. de A, J.A.G. da Silva, J. Enciso, V. Sharma, and J. Jifon. 2008. "Yield components as indicators of drought tolerance of sugarcane". *Sci.Agric.*, 65(6):620–627.
- Silva, M. de A., J.L. Jifon, C.M. dos Santos, C.J. Jadoski, and J.A.G. da Silva. 2013. "Photosynthetic capacity and water use efficiency in sugarcane genotypes subject to water deficit during early growth phase". Brazilian Archives of Biology and Technology. *An International Journal*, 56(5):735–748.
- Smit, M.A. and A. Singels. 2006. "The response of sugarcane canopy development to water stress". *Field Crops Research*, 98(2–3):91–97.
- Win, S.K., O.B. Zamora, and S. Thein. 2014. "Determination of the water requirement and Kc values of sugarcane at different crop stages by lysimetric method". *Sugar Tech.*, 16(3):286–294. DOI. 10.1007/s12355-013-0282-1.
- Wright, D.L. and E.B. Whitty. 2011. *Water Use and Irrigation Management of Agronomic Crops*. SS-AGR-155. IFAS Extension, University of Florida. 5p.
- Zhao, D. and Yang-Rui Li. 2015. "Climate change and sugarcane production: potential impact and mitigation strategies". *International Journal of Agronomy*, Vol. 2015. 10 p. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/547386> (Diakses 19 Januari 2016).