

Potensi Sumber Daya Iklim di Kabupaten Bone untuk Pengembangan Tanaman Tebu

Climate Resources Potential in Bone Regency for Sugar Cane Development

Prima Diarini Riajaya, Fitriiningdyah Tri Kadarwati, dan Djumali

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

Diterima: 20 Oktober 2014

Disetujui: 6 Januari 2015

ABSTRAK

Salah satu wilayah pengembangan tanaman tebu lahan kering di Sulawesi Selatan terdapat di Kabupaten Bone dengan dua pabrik gula (PG) yaitu PG Bone dan PG Camming. Produktivitas tebu dan rendemen sangat berfluktuasi dan dipengaruhi oleh faktor iklim selain pengelolaan *on farm*. Dengan demikian potensi sumber daya iklim yang berpengaruh terhadap produktivitas tebu dan rendemen perlu diketahui. Analisis data iklim di Kabupaten Bone dilaksanakan mulai bulan Juni 2012 sampai Desember 2013. Data yang diperlukan terdiri atas curah hujan, suhu maksimum, suhu minimum, kelembapan, lama penyinaran, dan kecepatan angin yang terkumpul dari Dinas PU Pengairan Provinsi Sulawesi Selatan, PG Camming, dan PG Bone. Data produktivitas tebu dan rendemen diperoleh dari PG Camming dan PG Bone. Awal dan akhir musim hujan, peluang hujan, serta lama periode kering ditentukan berdasarkan metode *Markov Chain First Order Probability*. Pola sebaran hujan ditentukan berdasarkan isohiet yang dibuat menggunakan program ArcGIS 9.03. Evapotranspirasi dihitung berdasarkan hasil analisis neraca air berdasarkan metode Penman-Monteith menggunakan program CROPWAT 8.0. Sebaran curah hujan tahunan di Kabupaten Bone didominasi oleh pola hujan tahunan >2.000 mm dan 1.500–2.000 mm dan sebagian kecil wilayah Timur dengan curah hujan tahunan <1.000 mm. Tingginya curah hujan yang berlangsung sepanjang tahun menyebabkan rata-rata periode hari kering relatif pendek yaitu 66–92 hari. Evapotranspirasi potensial di wilayah PG Camming berkisar 1.268–1.288 mm sehingga potensi curah hujan dapat memenuhi kebutuhan air tanaman tebu. Tekstur tanah di sebagian besar wilayah pengembangan tebu di Bone adalah tekstur berat dan drainase lahan jelek maka potensi lahan tergenang cukup tinggi. Dengan potensi sumber daya iklim tersebut mengindikasikan bahwa di sebagian besar wilayah PG Bone dan PG Camming optimasi masa tanam sangat penting dan menggunakan varietas tebu masak awal yang tahan kelebihan air terutama pada wilayah dengan curah hujan >2.000 mm/tahun. Selain itu perlu ditunjang dengan usaha memanen air hujan yang melimpah dan perbaikan drainase. Waktu tanam yang optimum adalah tengah bulan pertama Oktober sampai tengah bulan pertama November (10A–11A) di wilayah PG Camming dan tengah bulan pertama November (11A) di wilayah PG Bone.

Kata kunci: Tebu, PG Bone, PG Camming, sebaran hujan, evapotranspirasi potensial

ABSTRACT

One of sugar cane cultivation area of dry land in South Sulawesi concentrated in Bone regency with two sugar mills (Bone and Camming). The productivity of sugar cane and sugar are fluctuated and mostly caused by climatic factors. Therefore, climate resources in Bone regency that influence sugar cane growth and yield need to be evaluated. Analysis of climate data in Bone regency was conducted from June 2012 up to December 2013 based on the data of rainfall, maximum temperature, minimum temperature, humidity, sun shine duration, and wind speed collected from the Department of Irrigation Works South Sulawesi Province, Camming and Bone Sugar Mills. Cane and sugar production were collected from Camming and Bone Sugar Mills. The onset and end of rainy season, length of dryspell, and rainfall probability were analysed by The Markov Chain First Order Probability Method. Rainfall pattern was determined by using isohiet. Evapotranspiration was calculated by water balance analysis. Rainfall pattern in Bone was dominated by annual rainfall pattern

>2,000 mm and 1,500–2,000 mm, eastern part of Bone has annual rainfall pattern <1,000 mm. The high rainfall that lasted throughout the year resulted in relatively short average dry day (66–92 days). Potential evapotranspiration in the region of Camming Sugar Mill ranges from 1,268 to 1,288 mm so the annual rainfall can meet crop water requirement of sugar cane. Heavy soil texture and bad soil drainage in Bone regions resulted in flooded land. Based on climate resources, it indicates that in most areas of the Bone and Camming Sugar Mills optimization of planting time is critical, use of sugar cane varieties with early maturity and resistant to excess water, and effort to harvest the abundant rainwater especially in areas with rainfall >2000 mm/year, and improvement in drainage system. Optimum planting season in Camming Sugar Mill is the first half of October to second half of November (10A–11A) and the first half of November (11A) in Bone Sugar Mill.

Keywords: Sugar cane, Bone Sugar Mill, Camming Sugar Mill, rainfall distribution, potential evapotranspiration

PENDAHULUAN

Tebu merupakan sumber pemanis utama selain bit gula dan stevia. Produksi gula dunia yang berasal dari tebu enam kali lebih besar dibanding dari bit gula dan sumber lainnya (Anonymous 2011). Pengusahaan tanaman tebu ditujukan untuk memenuhi kebutuhan gula domestik yang besarnya cenderung meningkat yaitu 5,7 juta ton seiring dengan bertambahnya penduduk dan perkembangan industri makanan dan minuman. Perannya sangat penting di Indonesia sebagai bahan baku utama pembuatan gula. Produksi gula di Indonesia sebagian besar dipenuhi oleh tanaman tebu yang tumbuh di Pulau Jawa, Sumatra, dan Sulawesi. Sebagian besar areal pengembangan tanaman tebu di Sulawesi Selatan terdapat di Kabupaten Bone dengan dua pabrik gula (PG) yaitu PG Camming dan PG Bone.

Wilayah pengembangan tebu di Kabupaten Bone memiliki curah hujan sangat tinggi dan tersebar sepanjang tahun dengan kisaran 1.500–2.500 mm/tahun. Berdasarkan data produktivitas tebu dan rendemen dari PG Camming (1986–2013) dan PG Bone (1993–2013) rata-rata produktivitas tebu berkisar 46,02 ton/ha dengan rendemen gula 5,97%. Tingkat produktivitas tebu dan rendemen gula tersebut sangat rendah dibanding wilayah lain di Jawa. Produktivitas tanaman tebu sangat berfluktuasi mengikuti faktor iklim selain pengelolaan *on farm*. Faktor iklim yang sangat berpengaruh terhadap keberhasilan tanaman tebu adalah curah hujan (Gawander 2007). Curah

hujan yang turun terus-menerus selama fase pemasakan tebu akan menurunkan rendemen. Pada masa pertumbuhan tanaman tebu banyak memerlukan air sedangkan menjelang panen tidak banyak memerlukan air (FAO 2013) atau diperlukan periode kering yang cukup untuk proses tebang dan angkut ke pabrik gula. Fase pertumbuhan dan pemasakan sangat dipengaruhi oleh kondisi iklim, periode kering dengan suhu malam hari yang rendah sangat sesuai untuk fase pemasakan dan akumulasi gula (Cardozo & Sentelhas 2013).

Untuk optimasi pemanfaatan air maka pengaturan masa tanam sangat penting terutama di wilayah yang memiliki pola sebaran curah hujan sepanjang tahun seperti di Kabupaten Bone. Pengaturan masa tanam dan tebang sangat mempengaruhi produksi tebu (McDonald & Lisson 2001), sehingga potensi sumber daya iklim perlu diketahui agar pada saat tebang tanaman tebu telah mencapai tingkat kemasakan yang optimum selain penggunaan varietas yang sesuai dengan tipe kemasakan. Masa tanam yang optimum disesuaikan dengan masa tebang dan giling di suatu pabrik gula. Perakitan varietas unggul tebu tahan kelebihan air pada wilayah dengan iklim basah seperti di Kab. Bone sedang dilakukan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan dan diharapkan mampu beradaptasi pada lingkungan iklim basah.

Pengembangan tebu di luar Pulau Jawa sangat terkendala oleh faktor iklim yang sulit dikendalikan dan faktor kesesuaian lahan untuk tebu. Ketersediaan air merupakan faktor

pembatas utama bagi tanaman tebu. Keke-
ringan akibat dari kejadian El-Nino atau kele-
bihan air akibat La-Nina juga mempengaruhi
produktivitas dan rendemen. Jumlah dan pe-
nyebaran curah hujan berpengaruh terhadap
pertumbuhan dan perkembangan tanaman
tebu (Felix 1981). Tujuan dari penelitian ini
untuk mengevaluasi potensi sumber daya iklim
yang mempengaruhi pertumbuhan dan pro-
duktivitas tanaman tebu di Kabupaten Bone,
Sulawesi Selatan.

BAHAN DAN METODE

Analisis data untuk mengetahui potensi
sumber daya iklim di Kabupaten Bone untuk
pengembangan tanaman tebu dilaksanakan
mulai bulan Juni 2012 sampai Desember 2013.
Data yang dibutuhkan terdiri atas data iklim
dan data pendukung. Data iklim terdiri atas
curah hujan, suhu maksimum, suhu minimum,
kelembapan relatif, lama penyinaran, dan ke-
cepatan angin diperoleh dari Dinas PU Peng-
airan Provinsi Sulawesi Selatan, PG Camming,
dan PG Bone. Data curah hujan yang terkum-
pul dari PG Bone selama 43 tahun pengamat-
an (1970–2012) dan 38 tahun pengamatan
(1975–2012) dari PG Camming. Selain itu juga
diperoleh data pendukung terdiri atas luas are-
al, produktivitas tebu, dan rendemen selama
19–26 tahun terakhir dari PG Camming (1986–
2011) dan PG Bone (1993–2011). Data curah
hujan harian dianalisis berdasarkan metode
Markov Chain First Order Probability menggu-
nakan program PROBNEW.EXE yang dikem-
bangkan oleh ICRISAT untuk menentukan
awal musim kemarau dan awal musim hujan
berdasarkan kondisi iklim normal. Metode ini
juga digunakan untuk menentukan awal mu-
sim kering dan hujan serta minggu tanam pa-
ling lambat (MPL) pada tanaman kapas di ber-
bagai daerah pengembangan di Indonesia (Ria-
jaya 2008). Awal musim hujan ditentukan ber-
dasarkan peluang hujan di atas 60% untuk
mendapatkan hujan 10–20 mm/minggu, dan
awal musim kemarau ditentukan berdasarkan
peluang hujan di bawah 60%. Tipe iklim di-

tentukan menurut klasifikasi iklim Oldeman
dan Smith & Ferguson berdasarkan data curah
hujan bulanan di setiap kecamatan di Kabupa-
ten Bone.

Selanjutnya dari data curah hujan bulan-
an tersebut dibuat peta sebaran hujan (isohiet)
yang menghubungkan titik-titik dengan curah
hujan yang sama menggunakan program Arc-
GIS 9.03 yang dilakukan di Laboratorium Pe-
metaan dan Penginderaan Jarak Jauh, Univer-
sitas Brawijaya. Data unsur iklim lainnya yaitu
suhu maksimum, minimum, kelembapan relatif
dan lama penyinaran digunakan untuk meng-
hitung evapotranspirasi potensial berdasarkan
metode Penman-Monteith menggunakan pro-
gram CROPWAT 8.0 yang dikembangkan oleh
FAO. Selanjutnya neraca air tanaman dihitung
berdasarkan perimbangan curah hujan, eva-
potranspirasi potensial, dan aktualnya mulai
musim tanam sampai tebang dengan masa ta-
nam yang berbeda. Masa tanam tebu merupa-
kan kurun waktu penanaman tebu dalam satu
musim.

Untuk mengetahui hubungan antara pro-
duksi tebu dan rendemen dengan faktor curah
hujan dilakukan analisa regresi linear untuk
mengetahui keragaan produksi tebu dan ren-
demen pada berbagai kondisi curah hujan.
Data produksi tebu giling di wilayah PG Cam-
ming dan PG Bone berasal dari tebu sendiri
(TS) atau tebu yang dikelola sendiri oleh PG
pada wilayah HGU bertahun-tahun, dengan
demikian tidak terdapat suplai tebu yang ber-
asal dari luar wilayah Kabupaten Bone.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Luas Areal Tebu Giling, Produktivitas Tebu, dan Rendemen

Luas areal tebu giling, produktivitas te-
bu, dan rendemen di PG Camming mulai ta-
hun 1996 sampai 2013 dan PG Bone dari tahun
1993 sampai 2013 tersaji dalam Gambar 1.
Luas areal tebu giling bervariasi dari waktu ke
waktu, pada periode tahun 1990–1997 di wila-

yah PG Camming luas areal tebu giling di atas 5.000 ha dan berangsur-angsur menurun mulai tahun 1998 sampai 2007 kemudian meningkat lagi mulai 2008 sampai 2013. Kondisi yang sama terjadi di wilayah PG Bone, pada periode tahun 1993–1997 areal tebu giling mencapai 4.000–5.000 ha kemudian menurun menjadi 3.000–4.000 ha mulai 1998 sampai 2013. Peningkatan luas areal tebu giling disesuaikan total tebu yang dibutuhkan untuk memenuhi kapasitas giling PG Bone dan PG Camming.

Dengan luas tebu giling di PG Camming 4.728 ha pada tahun 2013 dan produktivitas tebu 41,1 ton/ha maka diperoleh 194.320,8 ton tebu yang akan digiling dalam 60 hari giling (rata-rata masa giling tebu di Bone), maka setiap hari dibutuhkan 3.238 ton tebu. Saat ini kemampuan PG Camming menggiling tebu adalah 3.000 TCD, dengan demikian luas areal tebu giling di wilayah PG Camming telah memenuhi kapasitas giling. Bila kapasitas giling ditingkatkan menjadi 5.000 TCD maka dibutuhkan penambahan areal lagi atau peningkatan produktivitas tebu saat ini. Dengan luas areal yang ada untuk memenuhi 5.000 ton tebu per hari maka produktivitas tebu harus mencapai 63 ton/ha. Tingkat produktivitas tersebut hanya tercapai tiga kali dalam kurun waktu 28 tahun yaitu pada tahun 1998, 2003, dan 2010 (Gambar 1c). Pada tahun tersebut curah hujan meningkat 42-48% dari rata-ratanya berdasarkan data curah hujan di PG Camming yang diikuti dengan peningkatan produktivitas tetapi rendemen gula menurun. Dengan demikian perlu upaya untuk meningkatkan produktivitas dan rendemen.

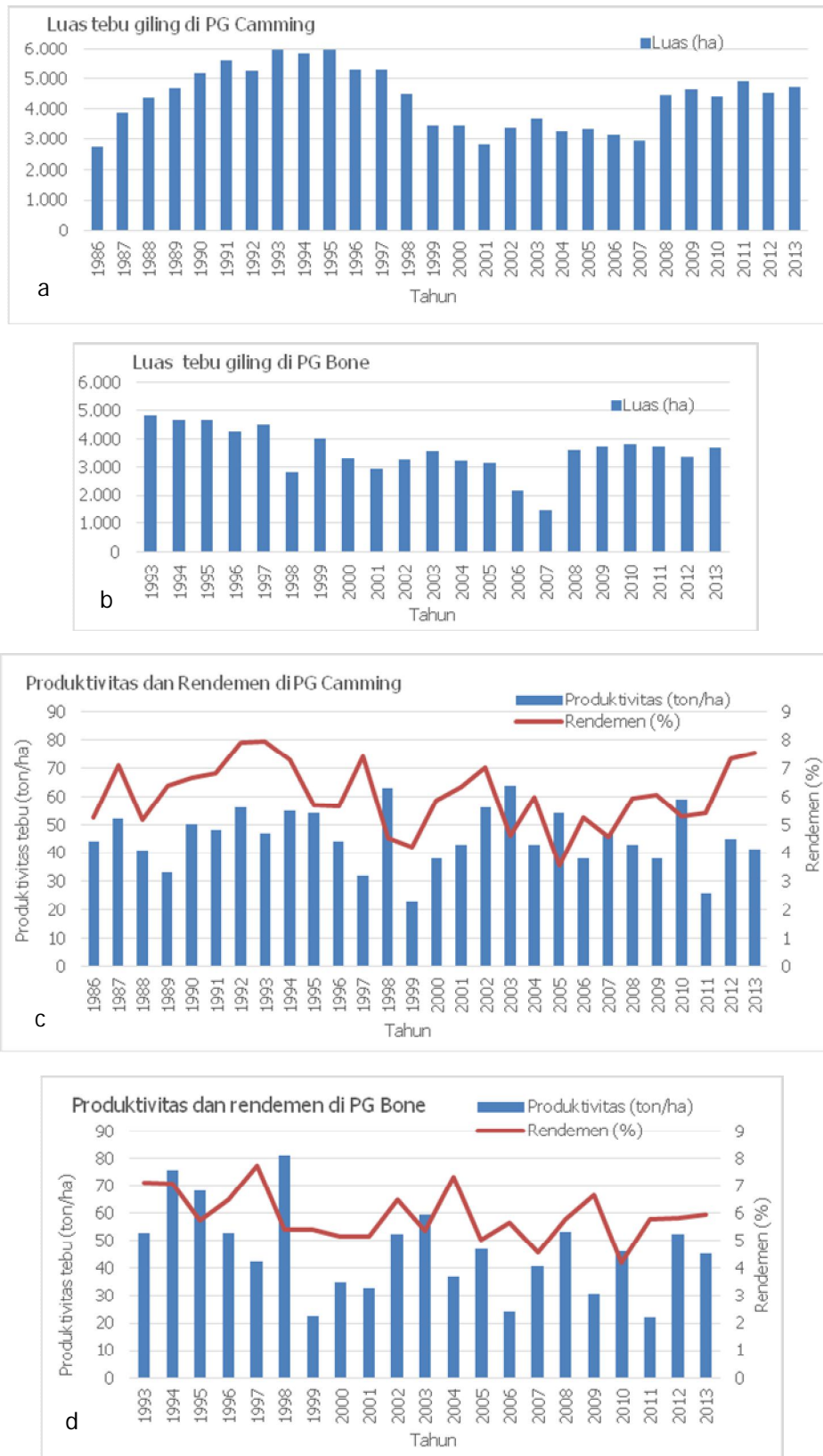
Luas tebu giling di PG Bone pada tahun 2013 adalah 3.701 ha dengan rata-rata produktivitas 45,4 ton/ha, sehingga diperoleh 168.025 ton tebu yang akan diligiling dalam 60 hari giling, sehingga dalam sehari mampu menggiling 2.800 ton tebu. Saat ini kapasitas giling tebu PG Bone 2.400 TCD. Dengan demikian untuk meningkatkan kapasitas pabrik gula dibutuhkan pasokan tebu yang lebih banyak lagi

yang dapat dipenuhi dari peningkatan areal tebu atau peningkatan produktivitas tebu. Apabila kapasitas giling ditingkatkan menjadi 5.000 TCD, dengan areal yang ada sekarang, maka untuk memenuhi 5.000 ton tebu per hari dan rata-rata hari giling 60 hari, maka produktivitas tebu harus mencapai 81 ton/ha. Tingkat produktivitas tersebut hanya dicapai satu kali dalam kurun waktu 21 tahun (Gambar 1d) yaitu pada tahun 1998. Berdasarkan data curah hujan di PG Bone pada tahun 1998 terjadi peningkatan curah hujan sebesar 52% dari rata-ratanya dan tidak terdapat musim kemarau sehingga rendemen menurun akan tetapi bobot tebu meningkat.

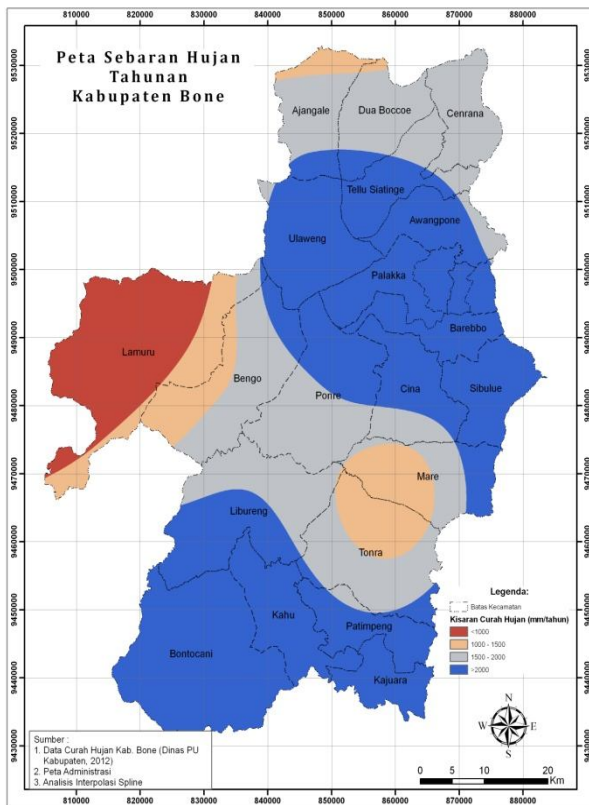
Produktivitas tebu dan rendemen gula juga berfluktuasi menurut waktu dengan kisaran produktivitas 40–50 ton/ha dan rendemen 5–6% (Gambar 1c–d). Secara umum areal tebu di PG Camming lebih luas dibanding di PG Bone akan tetapi tingkat produktivitas tebu hampir sama, hal ini menunjukkan bahwa kendala dari faktor fisik lingkungan hampir sama antara lain iklim. Kondisi fisik lahan dengan tekstur berat dan kandungan liat cukup tinggi (Kadarwati 2012) sehingga tanpa pengelolaan tanaman yang baik sulit diperoleh tingkat produktivitas yang tinggi.

Sebaran Curah Hujan di Kabupaten Bone, Sulawesi Selatan

Peta sebaran curah hujan tahunan di Kabupaten Bone terbagi ke dalam empat pola hujan yaitu pola hujan <1.000 mm/tahun, 1.000–1.500 mm/tahun, 1.500–2.000 mm/tahun, dan >2.000 mm/tahun (Gambar 2 dan Tabel 1). Sebaran curah hujan tahunan di Kabupaten Bone didominasi oleh pola hujan tahunan >2.000 mm, 1.500–2.000 mm, dan sebagian kecil wilayah Timur dengan curah hujan tahunan <1.000 mm. Menurut FAO (2010) evapotranspirasi tahunan tanaman tebu antara 800–2.000 mm. Tanaman tebu sedikitnya membutuhkan 850 mm air per tahun untuk lahan kering (tadah hujan). Irigasi penuh dibutuhkan bila curah hujan tahun-



Gambar 1. Luas areal tebu giling di a. PG Camming dan b. PG Bone serta produktivitas tebu dan rendemen di c. PG Camming dan d. PG Bone (Sumber: Risbang PG Camming dan PG Bone)



Gambar 2. Peta sebaran hujan tahunan di Kabupaten Bone, Sulawesi Selatan

Tabel 1. Pola hujan di Kabupaten Bone

Pola hujan	Curah hujan tahunan (mm)	Kecamatan
I.	<1 000	Lamuru
II.	1 000–1 500	Sebagian Tonra , sebagian Mare , sebagian Bengo (berbatasan dengan Lamuru)
III.	1 500–2 000	Bagian utara: Ajangale, Duaboccoe, Cenrana Bagian tengah: Bengo, sebagian Ponre , sebagian Mare , sebagian Tonra , sebagian Libureng .
IV.	>2 000	Bagian Selatan: Bontocani, Kahu, Patimpeng , Kajuara, sebagian Libureng Bagian Tengah: Sibulue , Barebbo, Palakka, Awangpone, Ulaweng, sebagian Telluslatinge, sebagian Cina , sebagian Ponre , sebagian Bengo.

Keterangan: Wilayah yang tercetak tebal = wilayah pengembangan tebu di Bone

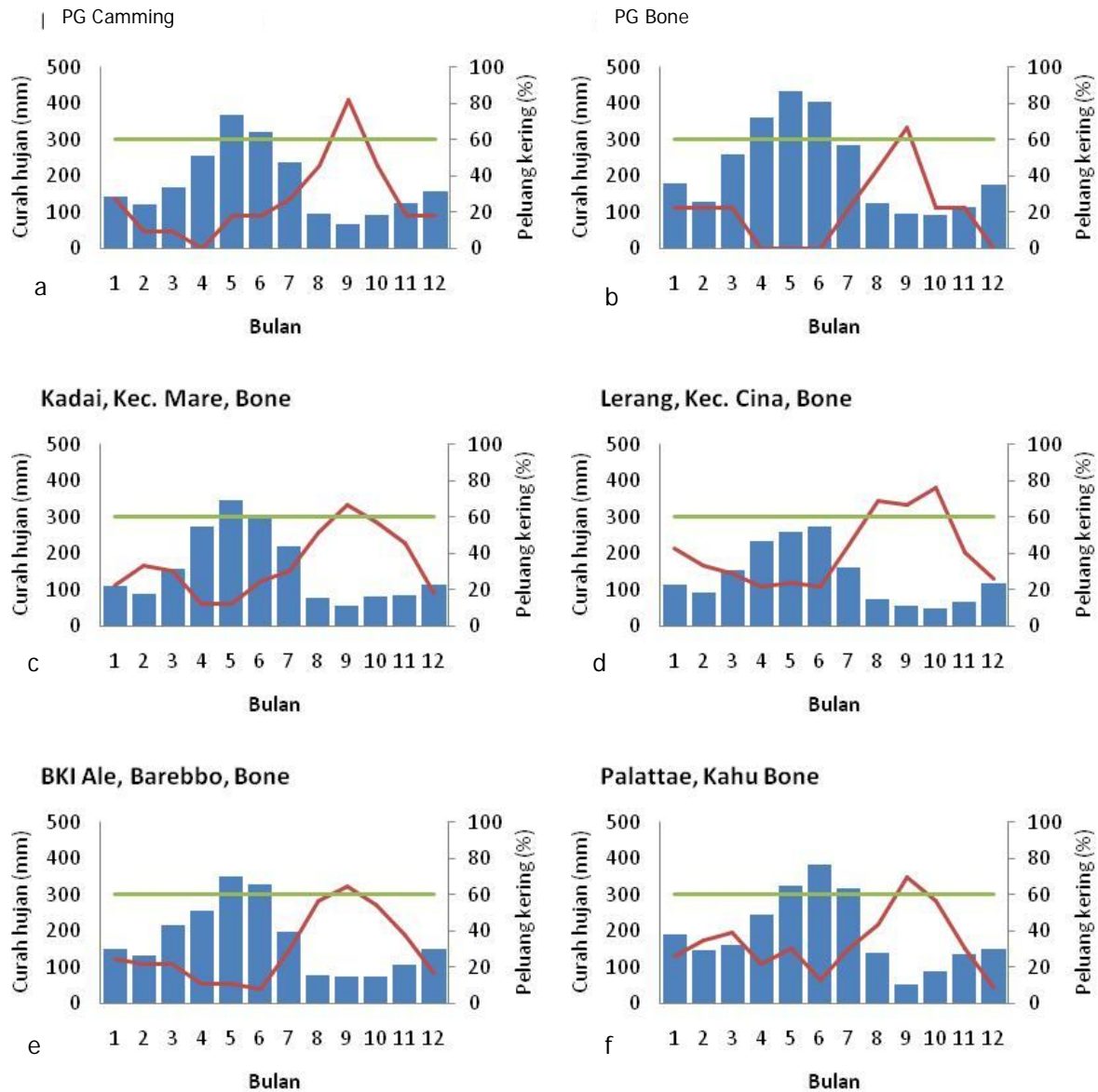
an kurang dari 800 mm dan irigasi tambahan dibutuhkan bila curah hujan tahunan kurang dari 1.000 mm. Shrivastava & Solomon (2011)

melaporkan kebutuhan air tanaman tebu selama siklus hidupnya yaitu 20 MI/ha.

Pengembangan tebu PG Camming terkonsentrasi di wilayah selatan dengan curah hujan tahunan >2.000 mm di Kec. Patimpeng dan Libureng, sedangkan sebagian Kec. Tonra mempunyai curah hujan 1.500–2.000 mm dan 1.000–1.500 mm. Wilayah pengembangan tebu PG Bone juga terkonsentrasi di bagian tengah Kabupaten Bone yaitu Kec. Cina, Ponre, Sibulue, dan Mare dengan curah hujan tahunan >2.000 mm dan 1.500–2.000 mm. Hanya di wilayah Mare yang mempunyai curah hujan lebih rendah dibanding wilayah lainnya.

Dari total hujan tahunan di Kabupaten Bone dapat memenuhi kebutuhan air tanaman tebu yaitu 1.500–2.500 mm/tahun. Namun demikian produktivitas tanaman tebu masih rendah (rata-rata 46 ton/ha) yang disebabkan oleh banyak faktor antara lain terhambatnya pertumbuhan tinggi tanaman, jumlah batang tanaman, dan bobot tebu. Data dari profil PG Bone menunjukkan tinggi tanaman tebu baik PC maupun RC mencapai 2,25 m, dengan 11 batang/m pada PC dan 9–10 batang/m pada RC, dan 0,43 kg/m batang pada PC dan 0,38–0,40 kg/m batang pada RC. Dengan demikian bobot tebu, jumlah batang, dan tinggi tanaman harus ditingkatkan untuk meningkatkan produktivitas tanaman tebu.

Sebaran curah hujan bulanan di Kabupaten Bone tersaji dalam Gambar 3. Sebaran curah hujan merata sepanjang tahun mulai Januari sampai Desember mengakibatkan pendeknya periode kering (66–92 hari) bagi tanaman tebu untuk fase pemasakan (Tabel 2). Puncak curah hujan terjadi mulai April sampai Juli yang ditandai dengan curah hujan bulanan >250 mm. Musim hujan mulai November dan curah hujan meningkat terus hingga bulan April. Periode hujan tertinggi terjadi selama bulan April–Juli di seluruh wilayah dan diharapkan puncak kebutuhan air tanaman tebu terjadi selama periode tersebut. Musim kemarau mulai Agustus hingga Oktober, periode ini merupakan periode terkering dan diharapkan tanaman tebu telah memasuki periode pemasakan. Periode kering tersebut sangat pendek



Gambar 3. Pola sebaran curah hujan (*bar*) dan peluang kering (*line*) di beberapa wilayah di Kab. Bone yaitu a. PG Camming, b. PG Bone, c. Kec. Mare, d. Kec. Cina, e. Kec. Barebbo, dan f. Kec. Kahu

Tabel 2. Awal hujan dan kering, total hari kering dan hujan tahunan, serta tipe iklim di wilayah pengembangan tebu Kabupaten Bone, Sulawesi Selatan

No.	Lokasi	Awal hujan	Awal kering	Total hari kering	Total hujan tahunan	Tipe iklim*
1.	Camming, Libureng	IV-November	IV-Juli	88	2 010	D2/C
2.	Palattae, Kahu	I-November	I-Agustus	92	2 330	D2/B
3.	Lagussi, Mare	III-Oktober	III-Agustus	66	2 509	B1/B
4.	Kadai, Mare	II-November	IV-Juli	68	1 897	D3/C
5.	Katumpi, Cina	II-November	I-Agustus	66	2 347	D1/B
6.	BKI Ale, Barebbo	II-November	I-Agustus	73	2 113	D2/C
7.	Lerang, Cina	II-November	I-Agustus	90	1 650	D3/D
8.	PG Bone	III-Oktober	I-Agustus	50	2 649	C2/C
9.	PG Camming	I-November	I-Agustus	82	2 050	D2/C

Keterangan: *Tipe iklim menurut Oldeman dan Schmith & Ferguson

yang ditandai dengan intensitas hujan rendah. Dengan demikian di wilayah pengembangan tebu PG Camming dan PG Bone tidak terdapat musim kemarau yang tegas, sehingga pemilihan varietas yang tahan terhadap kondisi basah sangat direkomendasikan.

Pola sebaran hujan dan peluang hari kering di berbagai wilayah Kabupaten Bone hampir sama. Peluang kering selama masa tebang tebu yaitu mulai Agustus sampai Oktober mencapai 60–70% (Gambar 3). Selama periode tersebut curah hujan di bawah 50 mm/bulan dan tebu *ratoon* berada pada fase pertumbuhan awal sampai pembentukan anakan sehingga pertumbuhan terhambat. Fase kritis tanaman tebu terhadap kecukupan air adalah fase pertumbuhan awal pada tebu *ratoon*, fase perkecambahan, pembentukan anakan, dan pemasakan pada tebu PC (Shrivastava & Solomon 2011). Pada awal pertumbuhan tanaman air dibutuhkan untuk mempercepat tumbuhnya mata tunas, memperbanyak anakan sehingga rumpun tebu akan lebih banyak. Dengan demikian upaya yang perlu dilakukan saat fase pertumbuhan awal pada tebu *ratoon* antara lain dengan mengaplikasikan biomassa dari daun tebu yang kering setelah panen yang masih berada di lapang sebagai mulsa pada setiap juring atau setiap dua juring yang dapat menjaga kelembapan tanah.

Peluang kering di bawah 60% terjadi hampir sepanjang tahun, hal ini memperkuat pendeknya total hari kering pada Tabel 2, misalnya di wilayah PG Bone peluang hari kering di atas 60% hanya terjadi dalam periode paling pendek di antara wilayah lainnya. Periode dengan peluang kering di atas 60% dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam penentuan masa tebang dengan puncak peluang kering terjadi pada bulan September di hampir semua wilayah. Wilayah Lerang, Cina dengan curah hujan lebih rendah dibanding wilayah lainnya mempunyai peluang kering relatif lebih lama (Gambar 3d). Puncak hujan yang terjadi mulai April sampai Juli dengan curah hujan 200-400 mm/bulan yang juga ditandai dengan menurunnya peluang kering sehingga

selama periode tersebut perlu diwaspadai terjadinya kelebihan air yang sebenarnya dapat dipanen atau ditampung di embung atau lebung. Embung atau lebung biasa ditemui di wilayah pengembangan tebu di Bone dan pemanfaatannya perlu dioptimalkan.

Total hari kering terpendek terjadi di sekitar wilayah PG Bone dan Katumpi, Cina (bagian utara) yaitu 50–66 hari sedangkan di wilayah Lerang, Cina (bagian selatan) lebih panjang yaitu 90 hari. Dengan demikian, pemilihan varietas dengan tingkat kemasakan yang berbeda yang disesuaikan dengan kondisi iklim merupakan hal penting yang harus dipertimbangkan. Total hari kering terpendek di sekitar wilayah PG Bone yaitu 50 hari dengan total hujan tahunan tertinggi (2.649 mm). Semakin tinggi curah hujan tahunan semakin pendek total hari kering yang berarti semakin pendek bagi tanaman tebu memasuki fase pemasakan. Curah hujan tahunan di atas 2.500 mm atau dengan tipe iklim B1-C2 akan mengurangi total hari kering menjadi sekitar 50–66 hari. Idealnya wilayah dengan total hari kering lebih pendek dapat ditanami tebu dengan tipe kemasakan awal dan ditebang lebih awal dibanding wilayah dengan total hari kering lebih panjang dengan tipe kemasakan tebu lebih lambat. Pendeknya total hari kering menyebabkan pendeknya total hari giling pabrik gula di Kabupaten Bone. Awal giling tebu rata-rata mulai minggu pertama Agustus sampai Oktober. Musim hujan berawal November sehingga proses tebang diharapkan sudah berakhir sebelum musim hujan tiba.

Di wilayah PG Bone 74% lahan tebu ditanami tanaman tebu masak awal (varietas ROC, AR 86, CM 2012, PSBM 901) sisanya ditanami tebu masak tengah (varietas KK dan Q83) dan akhir (varietas Q81, Triton, dan BZ 121). Komposisi varietas tebu tersebut harus disesuaikan dengan sebaran hujan dan tipologi lahan agar diperoleh tingkat kemasakan yang optimum saat panen. Misalnya di wilayah dengan curah hujan tahunan di atas 2.000 mm dianjurkan ditanami tebu masak awal, di wilayah dengan curah hujan lebih rendah yaitu

1.500–2.000 mm/tahun ditanami tebu masak tengah, dan di wilayah dengan curah hujan 1.000–1.500 mm/tahun ditanami dengan tebu masak akhir.

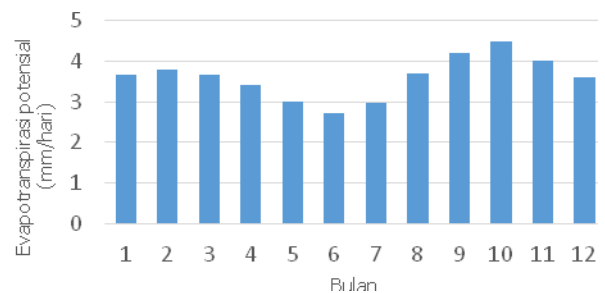
Pada wilayah dengan tekstur tanah berat dan sistem drainase lahan buruk akan mengakibatkan kondisi lahan tergenang terutama pada tahun dengan sifat curah hujan di atas normal (La Nina). Perbaikan sistem drainase pada pertanaman tebu sulit dilakukan saat kanopi tanaman sudah saling menutup dan hanya bisa dilakukan secara manual sedangkan ketersediaan tenaga kerja sangat langka. Hal ini memperkuat pentingnya mengembangkan varietas yang mempunyai ketahanan terhadap kelebihan air.

Neraca Air Tanaman Tebu

Neraca air tanaman merupakan perimbangan antara *input* berupa curah hujan dan irigasi dan *output* berupa evapotranspirasi (kebutuhan air tanaman) yang menggambarkan dinamika ketersediaan air dalam tanah dalam periode tertentu dan dapat digunakan untuk menduga kebutuhan irigasi, terjadinya surplus dan defisit air. Hujan atau irigasi yang masuk ke lahan, sebagian akan masuk ke dalam tanah, atau sebagian tertampung dalam cekungan di permukaan tanah, dan juga sebagian mengalir di permukaan. Air yang masuk melalui infiltrasi sebagian akan menguap secara langsung melalui evaporasi, sebagian diserap oleh tanaman untuk pertumbuhan atau transpirasi, sebagian akan bergerak dari daerah perakaran ke lapisan yang lebih dalam, dan sisanya akan tersimpan dalam daerah perakaran dan menambah simpanan lengas tanah.

Evapotranspirasi potensial (ET_o) dihitung berdasarkan rata-rata data klimatologi PG Camming (Gambar 4). Evapotranspirasi potensial terkait dengan kondisi tersedianya energi untuk penguapan air dari tanah dan angin untuk mengangkut uap air dari tanah naik ke atmosfer. Pada kondisi ketersediaan air yang cukup ET aktual sama dengan ET potensial. Evapotranspirasi sangat dipengaruhi oleh faktor iklim dan tanaman yaitu radiasi matahari,

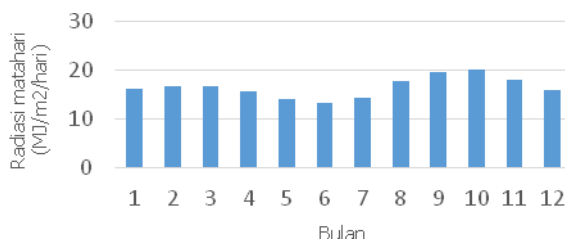
kelembapan, temperatur, kecepatan angin, dan fase pertumbuhan tanaman (Priyono 2010). Evapotranspirasi tanaman atau aktual mencerminkan kebutuhan air tanaman yang tergantung pada penutupan permukaan tanah oleh kanopi dan kadar lengas tanah. Secara sederhana kebutuhan air tanaman merupakan perkalian antara ET potensial dengan koefisien tanaman. Koefisien tanaman tebu menurut FAO (2013) menggambarkan pola kebutuhan air tanaman. Pada fase pertama (*initial*) kebutuhan air tanaman masih rendah, kemudian mulai meningkat pada pertunasan (*crop development*) dan mencapai puncaknya pada fase pemanjangan batang/pertumbuhan cepat (*mid season*), dan mulai menurun pada fase pemasakan (*late season*) sampai panen. Binbol *et al.* (2006) mendapatkan bahwa lebih dari 68% variasi produksi tebu di Nigeria ditentukan oleh evaporasi selama fase pertumbuhan batang.



Gambar 4. Evapotranspirasi potensial harian (mm/hari) setiap bulan dari Stasiun Klimatologi PG Camming (dihitung dengan metode Penman)

Meningkatnya curah hujan selama periode puncak hujan yaitu mulai April sampai Juli dan rendahnya radiasi matahari menurunkan evapotranspirasi potensial (2,72–3,41 mm/hari) selama periode tersebut. Memasuki musim kemarau yaitu Agustus sampai Oktober ditandai dengan intensitas radiasi yang meningkat (Gambar 5) mengakibatkan evapotransporasi potensial juga meningkat. Meningkatnya tingkat radiasi pada bulan September–Oktober dapat membantu proses pemasakan tebu agar diperoleh rendemen yang tinggi. Untuk me-

macu tingkat kemasakan tebu radiasi matahari yang tinggi sangat dibutuhkan (Cardozo & Sentelhas 2013). Puncak ETo terjadi pada bulan Oktober yaitu 4,48 mm/hari. Evapotranspirasi aktual tanaman tebu di Brazil sebagaimana dilaporkan da Silva *et al.* (2013) pada lahan tadah hujan 2,7 mm/hari dan pada lahan irigasi 4,2 mm/hari, kondisi ini mirip dengan kondisi di Indonesia.



Gambar 5. Rata-rata radiasi matahari/hari setiap bulan dari Stasiun Klimatologi PG Camming (dihitung dengan metode Penman)

Berdasarkan data radiasi harian setiap bulan, total radiasi matahari di wilayah PG Camming dalam setahun adalah 6.049,6 MJ/m². Inman-Bamber (1995) mensyaratkan untuk tanaman tebu dalam satu siklus musim tanam dibutuhkan radiasi matahari/tahun 7.300 MJ/m², 4.000 satuan panas atau GDD (*growing*

degree days), dan suplai air yang cukup 1.800 mm untuk menghasilkan tebu 200 ton/ha dan gula 24 ton/ha. Total radiasi matahari di wilayah PG Camming lebih rendah dibanding yang disyaratkan Inman-Bamber sehingga hal ini juga berpengaruh terhadap tingkat produktivitas tebu dan rendemen.

Neraca air dibuat pada kondisi curah hujan normal di wilayah PG Camming dengan rata-rata curah hujan 2.050 mm/tahun (Tabel 3) dan wilayah PG Bone (Tabel 4) dengan curah hujan tahunan lebih tinggi yaitu 2.650 mm. Pada kondisi curah hujan normal dengan tingkat kecukupan air baik di PG Camming dan PG Bone ET aktual sama dengan ET potensial. Dengan demikian dari tingkat kecukupan air dari curah hujan dapat memenuhi kebutuhan air tanaman, bahkan curah hujan berlebih selalu terjadi yang berkisar masing-masing 793–823 mm (efisiensi curah hujan 60–61%) di wilayah PG Camming dan wilayah PG Bone yaitu 1.343–1.382 mm (efisiensi curah hujan 48–49%) selama satu siklus musim tanam mulai tanam sampai panen.

Hasil neraca air pada Tabel 3 dan 4 menunjukkan bahwa evapotranspirasi berkisar 1.268–1.288 mm, lebih rendah dibanding total evapotranspirasi di Brazil 1.645 mm/tahun (da Silva *et al.* 2012), 1.369,84 mm di Myanmar

Tabel 3. Neraca air di PG Camming pada kondisi curah hujan normal (tanpa irigasi)

Masa tanam	ET aktual (mm)	ET potensial (mm)	Curah hujan (mm)	Curah hujan efektif (mm)	Total <i>rain loss</i> (mm)	Efisiensi curah hujan (%)
10A*	1 267,9	1 267,9	2 050,2	1 256,8	793,4	61,3
11A	1 278,8	1 278,8	2 050,2	1 225,0	825,2	59,8
12A	1 288,0	1 288,0	2 050,2	1 227,0	823,2	59,8

Keterangan: huruf A bila penanaman pada periode tengah bulan pertama (tanggal 1–15) dan B pada tengah bulan kedua (tanggal 16–31), 10A = Oktober tengah bulan pertama, 11A = November tengah bulan pertama, 12A = Desember tengah bulan pertama

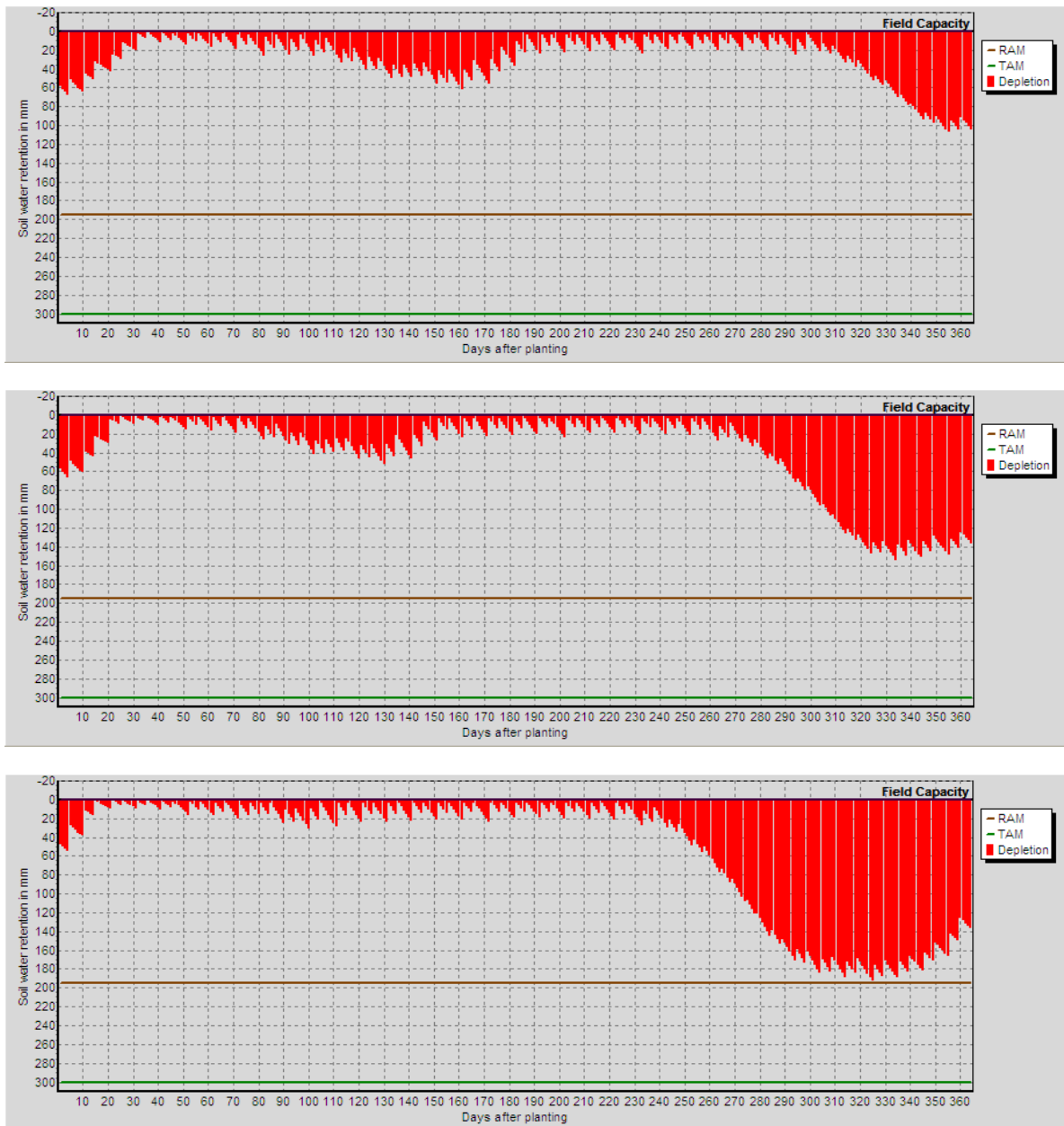
Tabel 4. Neraca air di PG Bone pada kondisi curah hujan normal (tanpa irigasi)

Masa tanam	ET aktual (mm)	ET potensial (mm)	Curah hujan (mm)	Curah hujan efektif (mm)	Total <i>rain loss</i> (mm)	Efisiensi curah hujan (%)
10A	1 267,9	1 267,9	2 649,9	1 307,2	1 342,7	49,3
11A	1 278,8	1 278,8	2 649,9	1 268,1	1 381,8	47,9
12A	1 288,0	1 288,0	2 649,9	1 272,8	1 377,1	48,0

Keterangan: huruf A bila penanaman pada periode tengah bulan pertama (tanggal 1–15) dan B pada tengah bulan kedua (tanggal 16–31), 10A = Oktober tengah bulan pertama, 11A = November tengah bulan pertama, 12A = Desember tengah bulan pertama

(Win *et al.* 2014) 1.450 mm di Bundaberg, Australia (Kingston 1994). Carr & Knox (2011) melaporkan evapotranspirasi di beberapa lokasi tebu di dunia 1.100–1.800 mm dengan puncak kebutuhan air 6–15 mm/hari. Efisiensi penggunaan air tanaman tebu dengan 80% kandungan air adalah 5–8 kg/m³ dan untuk pembentukan sukrosa tanpa kandungan air adalah 0,6–1,0 kg/m³ (FAO, 2013). Oliver & Singels (2003) menghitung total penggunaan

air tanaman tebu di Afrika Selatan sebesar 1.427 mm dengan efisiensi penggunaan air 12,2 ton/100 mm air. Wright & Whitty (2011) menghitung total kebutuhan air tebu di Florida termasuk pengelolaan air untuk menjaga muka air tanah yaitu 89 kg air untuk menghasilkan tebu PC 1 kg dan 118 kg air untuk RC. Air yang dibutuhkan bisa berasal dari air hujan atau irigasi.



Gambar 6. Ketersediaan air tanah pada tanaman tebu masa tanam 10A (atas), 11A (tengah), dan 12A (bawah) di PG Camming (tanpa irigasi)

Berdasarkan rata-rata evapotranspirasi di wilayah Bone 1.278 mm; sedangkan menurut FAO (2013) rata-rata efisiensi penggunaan air tanaman tebu 7 kg/m³ sehingga akan didapatkan produktivitas tebu 89,46 ton/ha. Dengan demikian dari potensi iklim yang diikuti dengan perbaikan di tingkat *on farm* dan penggunaan varietas yang sesuai tingkat produktivitas tersebut dapat ditingkatkan.

Tingginya tingkat *rain loss* membutuhkan usaha perbaikan drainase di lahan untuk membuang kelebihan air terutama saat puncak musim hujan terjadi. Lahan di wilayah PG Camming dan Bone yang didominasi oleh tekstur berat dengan kemampuan tanah menyimpan air yang tinggi >150 mm/m profil (Kadarwati 2012) akan meningkatkan potensi genangan sehingga pemilihan varietas tebu yang tahan genangan atau kelebihan air menjadi prioritas. Hal ini sangat penting mengingat periode kering untuk masa tebang sangat pendek dibanding wilayah lainnya di Jawa. Pada Tabel 3 dan 4 terlihat bahwa total *rain loss* meningkat pada masa tanam 11A–12A karena selama periode tersebut curah hujan mulai meningkat dan kondisi tanah selalu jenuh air.

Neraca air sangat dipengaruhi oleh iklim atau pola hujan dan sifat fisik tanah yang berhubungan dengan kemampuan tanah menyimpan air. Dengan demikian neraca air dibuat dengan masa tanam yang berbeda yang disimulasikan dengan masa tanam 10A (tanggal 1–15 Oktober), 11A (tanggal 1–15 November), dan 12A (tanggal 1–15 Desember) karena masa giling tebu berlangsung mulai Agustus sampai Oktober sehingga tanaman tebu baru (PC) dapat dipanen pada umur 10–12 bulan. Tanaman tebu membutuhkan cukup air hingga berumur 9 bulan sebelum memasuki periode pemasakan, sehingga waktu tanam sangat berpengaruh pada tanaman baru (PC).

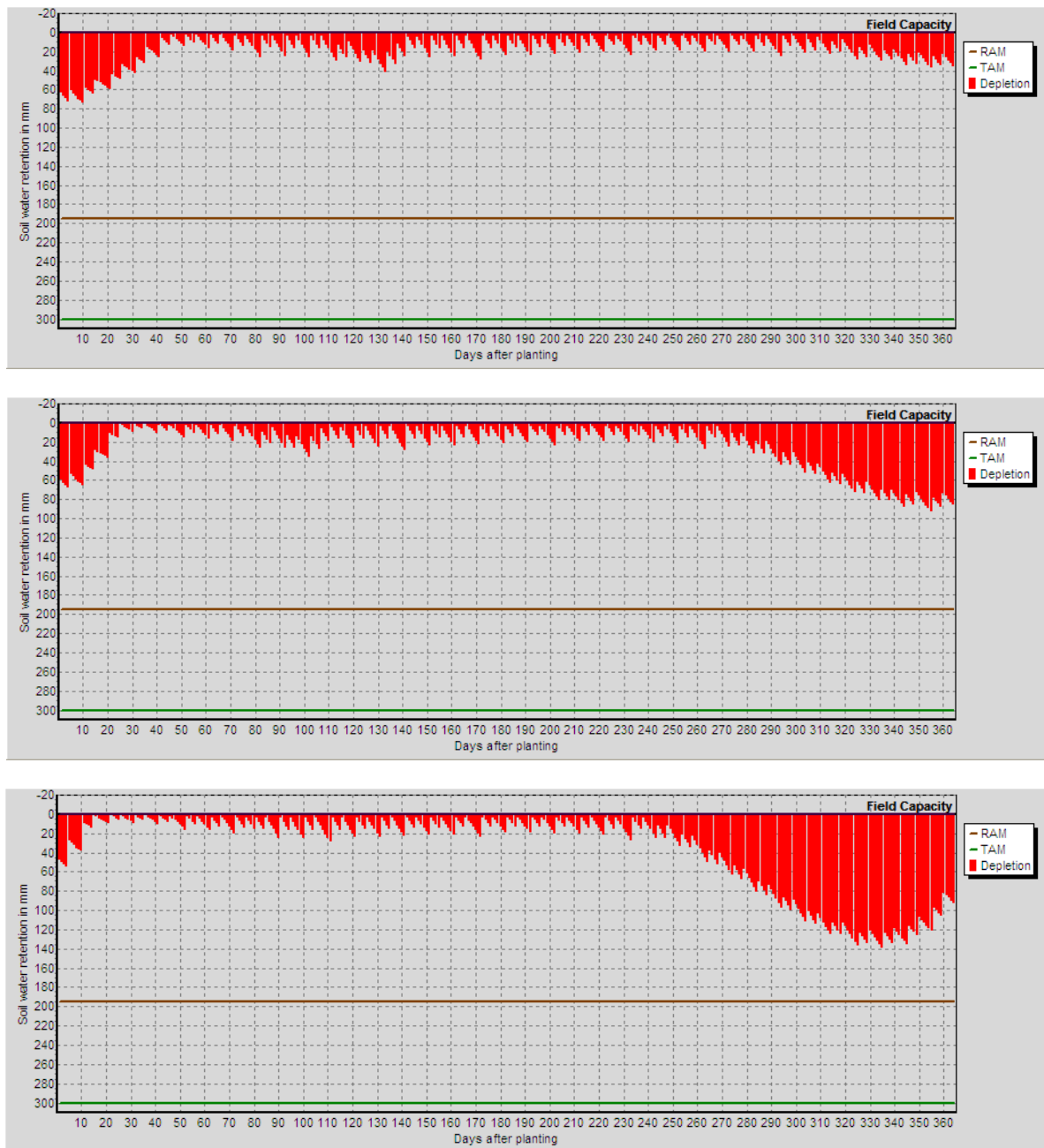
Pada Gambar 6 dengan masa tanam 10A retensi air dalam tanah sangat tinggi sepanjang musim sampai tanaman umur 300 hari yang ditandai dengan defisit air dalam tanah berkisar 40 mm setelah itu kandungan air tanah

berangsur menurun. Pada saat musim giling tiba yaitu awal Agustus tanaman tebu telah berumur 10 bulan, proses pengeringan lahan hanya berlangsung sangat singkat, sampai dengan Oktober defisit air dalam tanah mencapai 100 mm atau 50% dari air tersedia dalam tanah. Idealnya saat tanaman tebu berumur 9 bulan (270 hari) kondisi ketersediaan air dalam tanah sudah mulai menurun, dengan demikian penentuan waktu tanam sangat penting.

Pada masa tanam 11A defisit air terjadi saat tanaman berumur 270 hari (9 bulan) yaitu pada bulan Agustus atau awal periode kering. Setelah 1–2 bulan dari periode kering varietas tebu masak awal akan masak, dengan demikian panen tebu dapat dilakukan saat tebu berumur 10–11 bulan bila ditanam 11A. Selanjutnya bila masa tanam 12A tanaman tebu baru berumur 230 hari (hampir 8 bulan) saat memasuki periode kering sehingga tanaman tebu dipanen umur 8–10 bulan. Dengan demikian masa tanam optimum adalah 10A–11A agar saat memasuki periode kering tanaman tebu sudah berumur 9–10 bulan. Kondisi yang serupa terjadi di wilayah PG Bone (Gambar 7). Pada masa tanam 10A kondisi air dalam tanah selalu tinggi sepanjang musim (Gambar 7A). Pada masa tanam 11A tanaman tebu berumur 270 hari (9 bulan) saat memasuki periode kering, sedangkan pada masa tanam 12A tanaman tebu masih berumur 210 hari (7 bulan) saat memasuki periode kering. Dengan demikian masa tanam optimum di wilayah PG Bone adalah 11A dengan varietas masak awal.

Hubungan antara Curah Hujan dengan Produktivitas Tebu dan Rendemen

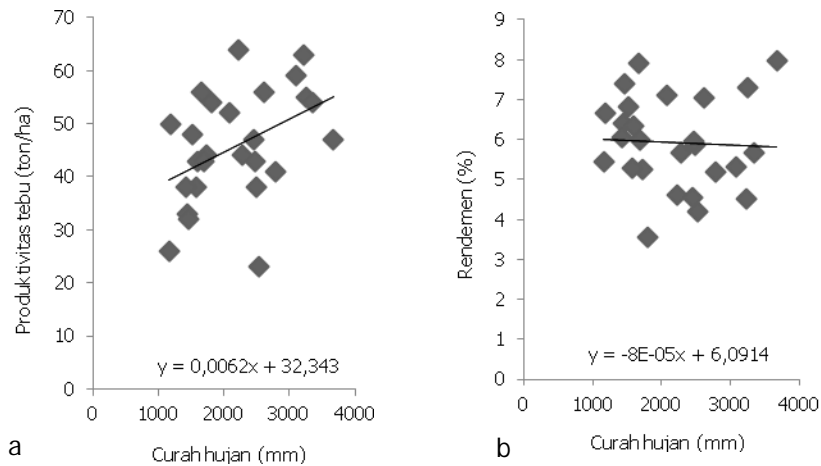
Hubungan antara curah hujan dengan produktivitas tebu dan rendemen di wilayah PG Camming tersaji dalam Gambar 8. Produktivitas tebu yang dimaksud adalah produktivitas tebu TS (tebu sendiri) pada lahan-lahan dengan status HGU PG Camming sehingga total produksi tebu tidak berasal dari wilayah lainnya. Semakin tinggi curah hujan semakin tinggi pula tingkat produktivitas tebu yang di-



Gambar 7. Ketersediaan air tanah pada tanaman tebu masa tanam 10A (atas), 11A (tengah), dan 12A (bawah) di PG Bone (tanpa irigasi)

capai (Gambar 8a, 9a). Curah hujan selama fase pemanjangan batang sangat berpengaruh terhadap produksi tebu dan mempunyai korelasi yang positif (Samui *et al.* 2003). Produktivitas tebu rata-rata yang dicapai di wilayah PG Camming berkisar 40–50 ton/ha. Curah hujan tahunan >2.000 mm menghasilkan produksi tebu dengan kisaran 50 ton/ha, karena curah hujan merata sepanjang tahun

dengan musim kemarau yang pendek, sehingga proses pemasakan tebu kurang optimal. Pada kondisi yang demikian dibutuhkan varietas tebu yang tahan terhadap kelebihan air dan mempunyai tipe kemasakan awal. Pada tahun-tahun tertentu meskipun curah hujan tahunan mencapai 2.000–3.000 mm diperoleh produktivitas tebu di atas rata-rata, yaitu 60 ton/ha, sebaliknya dengan curah hujan tahun-



Gambar 8. Hubungan antara a. curah hujan tahunan dengan produktivitas tebu dan b. rendemen di wilayah PG Camming

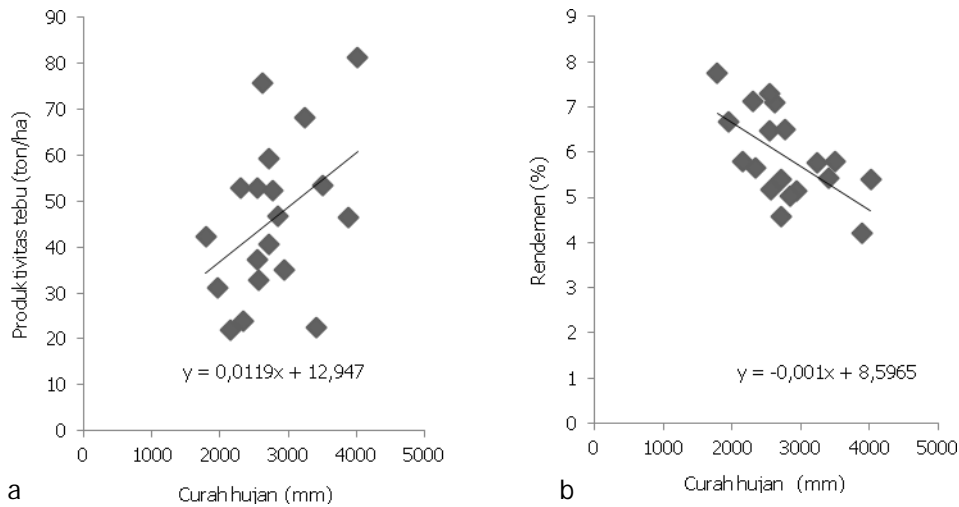
an yang sama diperoleh produktivitas tebu di bawah rata-rata yaitu 20 ton/ha. Kondisi ini dipengaruhi oleh sebaran curah hujan setiap bulannya.

Bila terjadi perubahan iklim yang mengarah kepada kondisi iklim basah dengan curah hujan tinggi maka akan terjadi kehilangan N melalui *deep drainage* atau *run off*, maka pengelolaan tanaman yang baik terutama dalam pengelolaan pemupukan nitrogen sangat diperlukan yaitu dengan memberikan pupuk N sesuai dengan yang diangkat tanaman saat panen sebelumnya (Biggs *et al.* 2012). Pada lahan dengan tekstur berat, saat kondisi banyak hujan mudah terjadi genangan yang mengakibatkan rendahnya serapan hara. Perakaran tanaman tebu (50%) berada di kedalaman 25 cm dari permukaan, 40% dari perakaran berada pada kedalaman 35 cm berikutnya, dan sisanya pada lapisan di bawahnya (Fauconnier 1993). Serapan hara oleh akar yang berada di permukaan tersebut terhambat saat kondisi tergenang.

Terdapat hubungan yang negatif antara curah hujan tahunan dan tingkat rendemen yang dihasilkan. Rendemen yang dihasilkan tergantung pada curah hujan tahunan, semakin tinggi curah hujan tahunan semakin rendah tingkat rendemen yang diperoleh (Gambar 8b). 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 pemasakan tebu berkurang dan menurunkan kandungan sukrosa dalam batang tebu. Pada kondisi tertentu, walaupun curah hujan tahunan di atas 3.000 mm/tahun, diperoleh rendemen tebu di atas rata-rata yaitu 8%, tergantung pada sebaran curah hujan dalam setahun. Pada Gambar 8b terlihat bahwa rendemen menyebar merata di bawah dan di atas 6%, dan mengumpul antara 6–7% dengan curah hujan 1.000–2.000 mm. Curah hujan antara 1.000–2.000 mm umumnya menghasilkan rendemen tebu di atas rata-rata (>6%), sebaliknya curah hujan tahunan 2.000–3.000 mm menghasilkan rendemen di bawah rata-rata (<6%).

Hubungan antara curah hujan tahunan dengan produktivitas dan rendemen tebu di wilayah PG Bone tersaji pada Gambar 9. Terdapat hubungan yang positif antara curah hujan tahunan dengan produktivitas tebu dan sebaliknya terdapat hubungan yang negatif antara curah hujan tahunan dengan rendemen gula. Dari Gambar 9a terlihat bahwa sebaran produktivitas tebu di wilayah PG Bone sebagian besar berada di bawah 50 ton/ha dengan curah hujan >2.000 mm/tahun. Curah hujan tahunan berada pada kisaran 2.000–4.000



Gambar 9. Hubungan antara a. curah hujan dengan produktivitas tebu dan b. rendemen di wilayah PG Bone

mm, hal ini menyebabkan kisaran rendemen <6%. Curah hujan tahunan mendekati 4.000 mm menurunkan rendemen hingga 4%.

Dengan kondisi curah hujan yang tinggi sepanjang tahun dan pendeknya periode kering di Kabupaten Bone varietas tebu yang dianjurkan mempunyai tipe kemasakan tebu masak awal. Pada tebu masak awal sulit mencapai kondisi pemasakan yang optimum dengan kandungan sukrosa tinggi pada batang karena pada saat panen terutama pada awal (bulan pertama) musim tebang kondisi kandungan air tanah masih tinggi dan akumulasi sukrosa masih berlangsung (Cardozo & Sentelhas 2013). Hal ini yang mempengaruhi rendahnya produktivitas tebu dan rendemen di wilayah pengembangan tebu Bone. Dengan demikian diperlukan upaya untuk merakit varietas tebu yang tahan kelebihan air dan mempunyai produktivitas dan rendemen yang tinggi.

KESIMPULAN

Pola sebaran hujan di wilayah Sibulue, Cina bagian utara, Ponre bagian utara, Patimpeng, Libureng bagian selatan, Kabupaten Bone memiliki curah hujan tahunan >2.000 mm, wilayah Mare, Tonra, Ponre bagian selatan, Cina bagian selatan, dan Libureng bagian

utara memiliki curah hujan tahunan 1.500–2.000 mm. Tingginya curah hujan yang berlangsung sepanjang tahun menyebabkan rata-rata periode hari kering relatif pendek yaitu 66–92 hari. Evapotranspirasi potensial di wilayah PG Camming berkisar 1.268–1.288 mm sehingga potensi curah hujan dapat memenuhi kebutuhan air tanaman tebu dengan total radiasi matahari dalam setahun 6.037 MJ/m². Dengan tekstur tanah berat dan drainase lahan jelek maka potensi lahan tergenang cukup tinggi. Dengan potensi sumber daya iklim tersebut mengindikasikan bahwa di sebagian besar wilayah PG Bone dan PG Camming perlu mempertimbangkan optimasi masa tanam, pemilihan varietas tebu masak awal yang tahan kelebihan air, usaha memanen air hujan yang melimpah, dan perbaikan sistem drainase. Komposisi varietas tebu yang ditanam harus mengikuti sebaran hujan dan tipologi lahan agar diperoleh tingkat kemasakan tebu yang optimum saat panen. Masa tanam optimum di wilayah PG Camming adalah tengah bulan pertama Oktober sampai tengah bulan kedua November (10A-11A) dan tengah bulan pertama November (11A) di wilayah PG Bone. Semakin tinggi curah hujan semakin tinggi produktivitas tebu dan semakin rendah rendemen yang dihasilkan. Oleh karena itu perlu dilakukan pengelolaan lahan dan air yang te-

pat untuk memperoleh produktivitas tebu dan rendemen yang optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset dan Teknologi atas dukungan dana untuk membiayai penelitian ini melalui Insentif Peningkatan Kemampuan Peneliti dan Perekayasa (PKPP). Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Risbang PG Camming dan PG Bone, serta Dinas Pengairan Provinsi Sulawesi Selatan atas kerjasamanya dalam membantu kelancaran pelaksanaan survei lapang dan menyediakan data yang dibutuhkan dan kepada semua pihak yang telah membantu dalam *entry* data iklim.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous 2011, *The biology of the Saccharum spp.* (Sugar cane) Version 3, May 2011, Departement of Health and Ageing, Office of the Gene Technology Regulator, Australian Government.
- Biggs, JS, Thourburn, PJ, Crimp, S, Masters, B & Attard, SJ 2012, *Interactions between climate change and sugar cane management systems for improving water quality leaving farms in the Mackay Whitsunday region*, Australia, Agriculture, Ecosystems and Environment, ELSEVIER, AGEE-4024, p. 1–11.
- Binbol, NI, Adebayo, AA & Kwon-Ndung, EH 2006, Influence of climatic factors on the growth and yield of sugarcane at Numan, Nigeria, *Climate Research*, 32:247–252.
- Carr, MKV & Knox, JW 2011, The water relations and irrigation requirements of sugar cane (*Saccharum officinarum*): A review, *Expl. Agric.* 47(1):1–25.
- Cardozo, NP & Sentelhas, PC 2013, Climatic effects on sugar cane ripening under the influence of cultivars and crop age, *Scientia Agricola*, 70 (6):449–456.
- da Silva, VPR, da Silva, BB, Albuquerque, WG, Borges, CJR, de Sousa, IF & Neto, JD 2013, Crop coefficient, water requirement, yield and water use efficiency of sugar cane in Brazil, *Agricultural Water Management* 128:102–109.
- da Silva, VPR, Borges, CJR, Farias, CHA, Singh, VP, Albuquerque, WG & da Silva, BB 2012, Water requirements and single and dual crop coefficients of sugar cane grown in a tropical region, Brazil, *Agricultural Sciences* 3(2):274–286, diakses tanggal 25 Agustus 2014 (<http://dx.doi.org/10.4236/as.2012.32032>).
- Fauconnier, R 1993, *Sugar cane*, Macmillan Press Ltd London, UK, p. 1–140.
- FAO 2010, *Crop yield response to water*, sugar cane, FAO, Rome, p. 174–180.
- FAO 2013, *Crop water information: Sugar cane*, water development, and management unit, diakses 10 Desember 2012 (www.fao.org/nr/water/cropinfosugarcane.html).
- Felix, F 1981, The effect of rainfall on sugar cane yields at Frome, social and economic studies, *University of West Indies*, 30(3):104–118.
- Gawander, J 2007, Impact of climate change on sugar cane production in Fiji, *WMO Bulletin*, 56(1):6.
- Inman-Bamber, NG 1995, Climate and water as constraints to production in the South African sugar industry, *Proceeding of Conference South African Sugar Technology Association*, SASTA, Mount Edgecombe, 69:55–59.
- Kadarwati, FT 2012, Agroekologi wilayah pengembangan varietas tebu di lahan kering Sulawesi Selatan mendukung percepatan pencapaian swasembada gula, Laporan Akhir Kegiatan, Insentif Peningkatan Kemampuan Peneliti dan Perekayasa (PKPP), Kementerian Ristek, Jakarta, 68 hlm.
- Kingston, G 1994, Benchmarking yield of sugar cane from estimates of crop water use, *Proc. of Australian Society of Sugar Cane Technologies*, ASSCT, Brisbane, p. 201–209.
- McDonald, LM & Lisson, SN 2001, The effect of planting and harvest time on sugar cane productivity, *Australian Agronomy Conference*, diakses tanggal 17 September 2014 (www.regional.org.au/au/asa/2001/1/d/mcdonald.htm).
- Prijono, S 2010, *Agrohidrologi praktis*, Cakrawala Indonesia, Malang, 173 hlm.
- Riajaya, PD 2008, Rekomendasi waktu tanam kapas di lahan tadah hujan, *Perspektif*, 7(2): 92–101.
- Samui, RP, Jhon, G & Kulkarni, MB 2003, Impact of weather on yield of sugar cane at different

- stages, *Journal Agric. Physics*, 3(1&2):119–125.
- Shrivastava, AK & Solomon, S 2011, Sustaining sugar cane productivity under depleting water resources, *Current Science*, 101(6):748–754.
- Oliver, F & Singels, A 2003, Water use efficiency of irrigated sugar cane as affected by row spacing and variety, *Proceeding of Conference South African Sugar Technology Association*, SASTA, Mount Edgecombe, p. 347–351.
- Win, SK, Zamora, OB & Thein, S 2014, Determination of the water requirement and Kc values of sugar cane at different crop stages by lysimetric method, *Sugar Tech.* 16(3):286–294, DOI. 10.1007/s12355-013-0282-1.
- Wright, DL & Whitty, EB 2011, *Water use and irrigation management of agronomic crops*, IFAS Extension, SS-AGR-155, 5 p.