

**SIMULASI DAMPAK PERUBAHAN IKLIM TERHADAP  
KETERSEDIAAN AIR TANAMAN TEBU  
DI WILAYAH MALANG**

Oleh

**FIRMANDA RIZKY HADITIYA**



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS PERTANIAN  
MALANG**

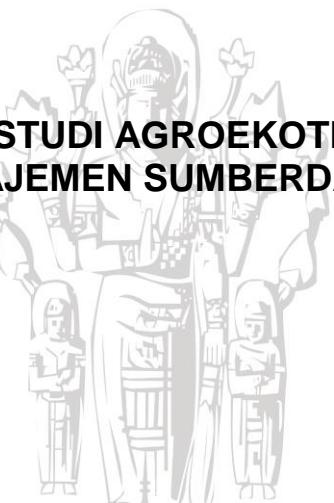
**2017**

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

**SIMULASI DAMPAK PERUBAHAN IKLIM TERHADAP  
KETERSEDIAAN AIR TANAMAN TEBU  
DI WILAYAH MALANG**

Oleh  
**FIRMANDA RIZKY HADITIYA**  
**135040200111097**

**PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI  
MINAT MANAJEMEN SUMBERDAYA LAHAN**



**SKRIPSI**

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh  
Gelar Sarjana Pertanian Strata Satu (S-1)

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS PERTANIAN  
JURUSAN TANAH  
MALANG**

**2017**

## **PERNYATAAN SKRIPSI**

Saya menyatakan bahwa Skripsi berjudul "*Simulasi Dampak Perubahan Iklim terhadap Ketersediaan Air Tanaman Tebu di Wilayah Malang*" ini merupakan hasil penelitian saya sendiri, dengan bimbingan dosen pembimbing utama. Skripsi ini tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar Sarjana di perguruan tinggi manapun sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang dengan jelas ditunjukkan rujukannya dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Malang, Oktober 2017

Firmando Rizky Haditiya

135040200111097

## **LEMBAR PERSETUJUAN**

Judul Penelitian

**Simulasi Dampak Perubahan Iklim terhadap Ketersediaan Air Tanaman Tebu di Wilayah Malang**

Nama Mahasiswa

**Firmando Rizky Haditiya**

NIM

**135040200111097**

Jurusan

**Tanah**

Program Studi

**Agroekoteknologi**

Disetujui:

Pembimbing Utama

**Prof. Dr. Ir. Sugeng Prijono, SU.**

NIP. 19580214 198503 1 003

Diketahui:

Ketua Jurusan Tanah

**Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU**

NIP. 19540501 198103 1 006

Tanggal Persetujuan:

# **LEMBAR PENGESAHAN**

Mengesahkan

# MAJELIS PENGUJI

## Pengujian

## Pengujian II

Prof. Dr. Ir. Sugeng Prijono, SU.

NIP. 19580214 198503 1 003

Dr. Ir. Retno Suntari, MS.

NIP. 19580503 198303 2 002

Pengaji III

## Penguji IV

Novalia Kusumarini, SP. MP.

NIP: 19891108 201504 2 001

Istika Nita, SP. MP.

NIK. 20166098 911182 001ya

*Skripsi ini kupersembahkan untuk  
Kedua orang tuaku  
Alm. Bapak Muhamadi & Ibu Siti Manti'ah*

*Serta kakakku  
Meilina Rizky Hadigantti*

Firmando Rizky Haditiya. 135040200111097. Simulasi Dampak Perubahan Iklim terhadap Ketersediaan Air Tanaman Tebu di Wilayah Malang. Di bawah bimbingan Sugeng Prijono.

## RINGKASAN

Peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer berdampak pada suhu udara yang semakin panas dan diperkirakan meningkat hingga  $5,8^{\circ}\text{C}$  pada akhir abad ke-21, diikuti perubahan pola curah hujan di setiap wilayah. Kondisi tersebut dapat menjadi kendala terhadap sektor pertanian terutama karena berhubungan dengan pemenuhan kebutuhan air. Perbedaan karakter tanah juga menjadi faktor penting berkaitan dengan kemampuan tanah menyediakan air bagi tanaman. Beberapa karakter fisik tanah yang berpengaruh pada kemampuan tersebut yaitu tekstur dan retensi air. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak perubahan iklim dan perbedaan tekstur tanah terhadap neraca air, pemenuhan kebutuhan air serta potensi reduksi hasil tanaman tebu di Kabupaten Malang yang merupakan sentra produksi tebu di Indonesia.

Penelitian dilakukan mulai bulan Mei hingga bulan Agustus 2017. Lokasi penelitian berada di Kecamatan Wajak, Sumbermanjing, dan Gedangan yang dipilih berdasarkan perbedaan tekstur tanah dan luas area tanam tebu. Penelitian menggunakan metode deskriptif dengan teknik survei dan simulasi mengenai dampak perubahan iklim yang didasarkan pada data perubahan iklim global. Penelitian ini terbagi dalam beberapa tahapan meliputi persiapan awal, survei lapangan dan analisis sifat fisik tanah, analisis neraca air, ketersediaan air tanaman serta potensi reduksi hasil tanaman tebu. Simulasi dampak perubahan iklim terhadap komponen pemenuhan kebutuhan air tanaman tebu ini menggunakan perhitungan neraca air metode Thornthwaite-Mather dan model CROPWAT 8.0 dengan skenario C0 (aktual) dan skenario perubahan iklim yang mengkombinasikan peningkatan suhu sebesar  $2^{\circ}\text{C}$ ,  $4^{\circ}\text{C}$ , dan  $6^{\circ}\text{C}$  dengan perubahan curah hujan -10%, -5%, +5%, serta +10% dari kondisi aktual (C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10, C11, C12).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa skenario dengan peningkatan suhu dan penurunan curah hujan 10% mampu mengurangi periode bulan surplus di semua lokasi studi. Namun, pergeseran menjadi bulan defisit hanya terjadi di lokasi Sumbermanjing dan Gedangan. Peningkatan suhu sebesar  $2^{\circ}$ – $6^{\circ}\text{C}$  menyebabkan peningkatan kebutuhan air tanaman sebesar 5–15%, sehingga berdampak pada ketersediaan air selama periode bulan kering tidak mencukupi kebutuhan air tanaman. Potensi reduksi di lokasi Gedangan paling tinggi mencapai 5,1% pada skenario C9 (suhu  $+6^{\circ}\text{C}$  dan curah hujan -10%). Kemampuan tanah menahan air yang tinggi tidak menjamin potensi reduksi rendah karena tergantung pada kondisi iklim.

Firmando Rizky Haditiya. 135040200111097. Simulation of Climate Change Impact on Sugarcane's Water Availability in Malang Area. Supervised by Sugeng Prijono.

## SUMMARY

Increasing concentration of greenhouse gases in the atmosphere had an impact on increasing the surface temperature of the Earth which could reach  $5.8^{\circ}\text{C}$  at the end of the 21st century and followed by rainfall patterns change in some areas. The present condition could become a problem to the sustainability of agriculture, especially related on the crop water needs. The differences in soil characteristics are also an important factor related to soil ability to provide water for crop. Some of soil physical characteristics that affect these ability is like soil texture and water retention. This research aims to determine impact of climate change in 3 location with difference soil texture on the water balance, the fulfillment of crop water needs and potential reduction of sugarcane yields in Malang region which set off as the center of sugar cane production in Indonesia.

Research was conducted from May to August 2017. The soil sampling is located in Wajak, Sumbermanjing and Gedangan district which chosen base on texture disparity and wide plantation area of sugarcane. It used descriptive methods with survey and simulated climate change impacts based on global climate change data. This research divided into several stages including initial preparation, field survey and soil physical analysis, water balance analysis, water availability and potential reduction of sugarcane. Simulation of climate change effects on the fulfillment of sugarcane's water needs is using Thorntwaite-Mather method and CROPWAT 8.0 model with C0 scenario (actual) and climate change scenario which combines the increasing temperature such as 2° C, 4° C, and 6° C and changes rainfall around -10%, -5%, + 5%, and + 10% from actual conditions (C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10, C11, C12).

The results showed that a scenario which use the increase of temperature and the decrease of rainfall by 10% are able to reduce the surplus months period in all research sites. However, the shift into a deficit month only occurs in Sumbermanjing and Gedangan district. Increased temperature by 2°–6° C causes an increase in the water crop needs by 5–15% from actual condition, thus could impacting the water availability during the dry months period which could not fulfill the crop water needs. The highest potential reduction is in Gedangan site which reached 5,1% in the C9 scenario (temperature +60 C and rainfall -10%). The high quality in holding water could not assure the low potential reduction because it also depends on climatic conditions.



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan ridho-Nya, Skripsi berjudul "*Simulasi Dampak Perubahan Iklim terhadap Ketersediaan Air Tanaman Tebu di Wilayah Malang*" ini dapat terselesaikan. Terselesaikannya Skripsi ini juga tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Muhamadi (Alm), Ibu Siti Munti'ah, Meilina Rizky Hadiyanti, Elisma Herdinawati serta Alif Rizky Nurmawan atas segala dukungan, do'a, serta motivasi untuk bisa segera menyelesaikan Skripsi.
2. Prof. Dr. Ir. Sugeng Prijono SU., selaku dosen pembimbing utama atas segala komentar dan masukan yang sangat membangun, juga kesabaran dan ketelitian dalam memberikan bimbingan.
3. Majelis Pengaji atas komentar, koreksi, serta masukan sehingga penulisan Skripsi menjadi lebih baik.
4. Staff Laboratorium Fisika Tanah FP UB atas izin serta bantuan selama menggunakan fasilitas laboratorium.
5. M. Slamet Nugroho, Alfin Nur Akbar, dan Hammam Abdullah Rizqi atas bantuan survey, pengambilan sampel, serta banyak kebaikan lainnya.
6. Aulia Azizah atas kritik, komentar serta bantuan pemikiran terhadap penulisan, serta Rana Farassati atas bantuan penyusunan *summary*.
7. Rekan satu bimbingan SPJ (Suryani, Balqies, Salma, Monica, Mira) atas komentar, kritik, sindiran, saran dan motivasi yang telah diberikan.
8. Keluarga Soi13r Brawijaya atas kebersamaan, pengalaman, pelajaran serta persaingan positif yang telah diberikan.

Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam skripsi ini, penulis memohon maaf apabila terdapat kesalahan redaksional maupun konten didalamnya. Penulis berharap, hasil penelitian ini nantinya dapat diterima dan bermanfaat terutama untuk kemajuan pertanian Indonesia.

Malang, Oktober 2017



Repository Universitas Brawijaya	Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya	Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya	Repository Universitas Brawijaya <sup>v</sup>
Repository Universitas Brawijaya	Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya	Repository Universitas Brawijaya
<b>DAFTAR ISI</b>	
RINGKASAN	
SUMMARY	i
KATA PENGANTAR	ii
RIWAYAT HIDUP	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
<b>I. PENDAHULUAN</b>	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	3
1.4. Hipotesis	3
1.5. Manfaat	3
1.6. Alur Pikir	3
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	5
2.1. Perubahan Iklim	5
2.2. Ketersediaan Air dalam Tanah	9
2.3. Tanaman Tebu	10
2.4. Kebutuhan Air dan Reduksi Hasil Tanaman Tebu	11
2.5. Neraca Air	12
2.5. Manajemen Sumberdaya Air sebagai Upaya Adaptasi Perubahan Iklim	14
2.6. CROPWAT 8.0	14
<b>III. METODE PENELITIAN</b>	17
3.1. Waktu dan Tempat	17
3.2. Alat dan Bahan	17
3.3. Metode Penelitian	17
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	24
4.1. Kecenderungan Suhu dan Curah Hujan	24
4.2. Neraca Air Aktual	26
4.3. Dampak Perubahan Iklim terhadap Neraca Air	30
4.4. Ketersediaan Air untuk Tanaman Tebu	35
4.5. Potensi Reduksi Hasil	40
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN</b>	45
5.1. Kesimpulan	45
5.2. Saran	45
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	46
<b>LAMPIRAN</b>	51

**DAFTAR TABEL**

1	Alat dan Bahan .....	17
2	Lokasi Pengambilan Sampel .....	18
3	Parameter dan Metode Analisis .....	18
4	Perhitungan Neraca Air Metode Thornthwaite-Mather .....	19
5	Skenario Perubahan Iklim berdasarkan Skenario IPCC .....	19
6	Data Masukan dan Luaran CROPWAT 8.0 .....	20
7	Data Tanaman Tebu .....	21
8	Data Tanah untuk Input CROPWAT 8.0 .....	22
11	Surplus dan Defisit Tahunan Berdasarkan Skenario Perubahan Iklim .....	32
12	Potensi Reduksi Hasil Tanaman Tebu .....	41

## **DAFTAR GAMBAR**

**DAFTAR GAMBAR**

<b>Nomor</b>	<b>Teks</b>	<b>Halaman</b>
1	Alur Pikir Penelitian .....	4
2	Perubahan suhu tahunan di tahun 2020 (didasarkan pada studi Susandi 2007) (Sumber: Executive Summary: Indonesian and Climate Change) ....	6
3	Pola Curah Hujan di Indonesia (Sumber: Aldrian dan Susanto, 2003) .....	7
4	Kontribusi Produksi Tebu Nasional .....	11
5	Neraca Air Wilayah (Sumber: Prijono, 2009) .....	13
6	Diagram Alur Operasional CROPWAT 8.0 .....	15
7	Kecenderungan Suhu 3 Tahun Terakhir .....	24
8	Kecenderungan Curah Hujan 3 Tahun Terakhir .....	25
9	Curah Hujan Tahunan .....	26
10	Neraca Air Lokasi Penelitian .....	27
11	Simpanan Air dalam Tanah di 3 Lokasi Studi Setiap Bulan .....	29
12	Evapotranspirasi Berdasarkan Skenario Perubahan Iklim .....	30
13	Simpanan Air Tanah Lokasi Studi Berdasarkan Skenario Perubahan Iklim .....	34
14	Kebutuhan Air Tanaman Setiap Fase Pertumbuhan (Kiri) dan Bulanan (kanan) berdasarkan Skenario Perubahan Iklim .....	36
15	Ketersediaan dan Kebutuhan Air Tanaman di Lokasi Wajak .....	37
16	Ketersediaan dan Kebutuhan Air Tanaman di Lokasi Sumbermanjing .....	38
17	Ketersediaan dan Kebutuhan Air Tanaman di Lokasi Gedangan .....	39
18	Deplesi Air dalam Tanah di Lokasi Wajak (C9) .....	42
19	Deplesi Air dalam Tanah di Lokasi Sumbermanjing (C9) .....	42
20	Deplesi Air dalam Tanah di Lokasi Gedangan (Skenario C9) .....	43

## **DAFTAR LAMPIRAN**

	<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	
Nomor	Teks	Halaman
1	Data Iklim Rata-Rata Stasiun Klimatologi Lanud AR. Saleh (1998-2016)	51
2	Data Iklim Rata-Rata Bulanan Stasiun Klimatologi Karangkates (1998-2016)	51
3	Data Curah Hujan Tahunan .....	52
4	Data Rata-Rata Curah Hujan Bulanan (1998-2016).....	52
5	Simulasi Perubahan Iklim Lokasi Wajak (Stasiun BMKG Lanud AR. Saleh)	
6	Simulasi Perubahan Iklim Lokasi Sumbermanjing dan Gedangan (Stasiun BMKG Karangkates dan Pengamat Hujan KP. Sumberasin).....	54
7	Hasil Analisis Tanah dan Konversi Kadar Air Massa .....	55
8	Kesesuaian Iklim Tanaman Tebu ( <i>Saccharum officinarum</i> ).....	56
9	Perhitungan Evapotranspirasi Potensial Menggunakan Software CROPWAT 8.0 .....	56
10	Neraca Air Wajak Setiap Skenario.....	57
11	Neraca Air Sumbermanjing Setiap Skenario .....	60
12	Neraca Air Gedangan Setiap Skenario .....	63
13	Data Ketersediaan Air dan Kebutuhan Air Tanaman Lokasi Wajak .....	67
14	Data Ketersediaan Air Lokasi Sumbermanjing .....	68
15	Data Ketersediaan Air Lokasi Gedangan .....	69
16	Dokumentasi Penelitian .....	70

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Selama periode 1986-2005, rata-rata suhu udara global tercatat mengalami peningkatan sebesar  $0,61^{\circ}\text{C}$  akibat konsentrasi emisi gas rumah kaca (GRK) di atmosfer yang semakin tinggi. *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) bahkan memprediksi peningkatan tersebut dapat mencapai  $5,8^{\circ}\text{C}$  pada akhir abad ke-21, diikuti perubahan curah hujan di setiap wilayah (IPCC, 2007). Perubahan iklim menjadi isu lingkungan yang mengancam keberlangsungan pertanian. Sektor yang berperan besar dalam penyediaan pangan tersebut secara langsung maupun tidak langsung beresiko tinggi terkena dampak perubahan iklim terutama pada ketersediaan sumberdaya air serta produktivitas pertanian (Hairiah dan Azhari, 2013; Mo *et al.*, 2013).

Komponen iklim seperti suhu dan curah hujan memiliki peran penting karena berkaitan dengan pemenuhan kebutuhan air yang diperlukan sebagai bahan pembentuk tubuh tanaman, kekurangan air pada tanaman menyebabkan pertumbuhan terhambat sehingga produksi tidak optimal (Hoogenboom, 2000; Chowdhury, Al-Zahrani dan Abbas, 2013; Nita, 2014). Isu perubahan pada kedua komponen iklim tersebut dapat menjadi penyebab kurangnya air tersedia dalam tanah karena korelasi yang kuat dengan jumlah air hilang melalui evapotranspirasi (Prijono, 2017). Perubahan pola curah hujan juga menyebabkan fluktiasi suplai air dalam tanah sehingga tanaman mengalami cekaman bahkan saat memasuki fase kritis yang umumnya memerlukan banyak air.

Salah satu komoditas pertanian penting karena perannya sebagai bahan baku utama penghasil gula adalah tebu (Souza *et al.*, 2008). Kawasan pertanaman tebu di Indonesia berpusat di Provinsi Jawa Timur sehingga sampai saat ini masih menjadi kontributor terbesar dengan menyumbang 50% dari total produksi nasional (Badan Pusat Statistik, 2017). Di Indonesia, satu kali masa tanam tebu akan menemui periode bulan basah dan bulan kering sehingga pada fase tertentu kebutuhan air tidak dapat terimbangi oleh ketersediaan air dalam tanah yang semakin menurun. Kondisi tersebut disinyalir menjadi salah satu sebab turunnya persentase rendemen tebu, meskipun tebu juga memerlukan periode bulan kering

untuk mencapai fase kemasakan (Rochimah, Soemarno, dan Muhamimin, 2015; Alexander, 1973 dalam Cardozo, 2012). Kabupaten Malang sebagai salah satu sentra produksi tebu di Indonesia (Kabupaten Malang Dalam Angka, 2012; Direktorat Jenderal Perkebunan, 2015) harus bersiap menghadapi isu perubahan iklim yang dapat memperburuk kondisi tersebut, agar pertanian tebu ke depan tidak makin jauh dari target “Swasembada Gula Nasional”.

Kajian mengenai seberapa besar dampak perubahan iklim terhadap komponen pemenuhan kebutuhan air tanaman tebu perlu diketahui sebagai dasar pertimbangan upaya adaptasi dan mitigasi yang dilakukan. Pemenuhan kebutuhan air ternyata juga sangat berkaitan dengan kemampuan tanah menahan dan menyediakan air bagi tanaman (Chang dan Okimoto, 2010). Salah satu sifat fisik tanah yang berpengaruh terhadap kemampuan tersebut adalah tekstur tanah (Intara *et al.*, 2011). Berdasarkan tingkat kekasarannya, Kabupaten Malang dapat dibedakan menjadi 3 kelas yaitu kelas halus (berliat), sedang (berlempung), dan kasar (berpasir) (Kabupaten Malang Dalam Angka, 2012). Umumnya, tanah bertekstur halus memiliki kemampuan menahan air lebih baik dibanding tanah bertekstur kasar karena presentase pori penahanan air (meso dan mikro) yang lebih tinggi (Intara *et al.*, 2011).

Pada penelitian ini, digunakan metode Thornthwaite-Mather serta model CROPWAT 8.0 untuk mengetahui pengaruh perubahan suhu, curah hujan dan perbedaan teksur tanah di Wilayah Malang terhadap neraca air, pemenuhan kebutuhan air tanaman serta potensi penurunan hasil tanaman tebu di Kabupaten Malang. Perubahan iklim disimulasikan menggunakan skenario peningkatan suhu udara dikombinasikan dengan penurunan dan peningkatan curah hujan.

## 1.2. Rumusan Masalah

1. Apakah perubahan suhu dan curah hujan berpengaruh terhadap sebaran bulan surplus dan defisit di Wilayah Malang?
2. Apakah kebutuhan air tanaman tebu tercukupi seiring perubahan suhu dan curah hujan pada beberapa kondisi tekstur tanah di Wilayah Malang?
3. Seberapa besar pengaruh perubahan suhu dan curah hujan terhadap potensi reduksi hasil tanaman tebu pada beberapa kondisi tekstur tanah di Wilayah Malang?

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

1. Mengetahui pengaruh perubahan suhu dan curah hujan terhadap sebaran bulan surplus dan defisit di Wilayah Malang.

2. Mengetahui pengaruh perubahan suhu dan curah hujan terhadap pemenuhan kebutuhan air tanaman tebu pada beberapa kondisi tekstur tanah di Wilayah Malang.

3. Mengetahui pengaruh perubahan suhu dan curah hujan terhadap potensi reduksi hasil tanaman tebu pada beberapa kondisi tekstur tanah di Wilayah Malang.

### 1.3. Tujuan

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

1. Peningkatan suhu yang diikuti penurunan curah hujan mampu menggeser bulan surplus menjadi bulan defisit di Wilayah Malang.

2. Kebutuhan air tanaman tebu tidak terpenuhi seiring peningkatan suhu dan penurunan curah hujan terutama pada tanah berpasir.

3. Peningkatan suhu sebesar  $6^{\circ} \text{C}$  yang diikuti penurunan curah hujan 10% menyebabkan potensi reduksi hasil tebu paling besar pada tanah berpasir.

### 1.4. Hipotesis

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai dampak perubahan iklim terhadap pemenuhan kebutuhan air tanaman tebu di Wilayah Malang sebagai pertimbangan untuk menjaga produktivitas tebu tetap optimal.

### 1.5. Manfaat

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Perubahan iklim merupakan dampak meningkatnya konsentrasi GRK di atmosfer yang menyebabkan peningkatan suhu udara global dan perubahan curah hujan sehingga menjadi perbincangan serius karena mengancam keberlangsungan pertanian. Salah satu komoditas penting yang dikembangkan di Indonesia adalah tebu. Sejauh ini, Kabupaten Malang menjadi sentra produksi tebu di Indonesia dengan area tanam paling luas dan tersebar hampir merata di seluruh kecamatan.

Peningkatan suhu memiliki korelasi dengan status ketersediaan air dalam tanah. Sebelumnya, diketahui pula adanya keterkaitan pergeseran pola hujan dengan fluktuasi produksi tanaman tebu di Kabupaten Malang. Penelitian ini ditekankan

### 1.6. Alur Pikir

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

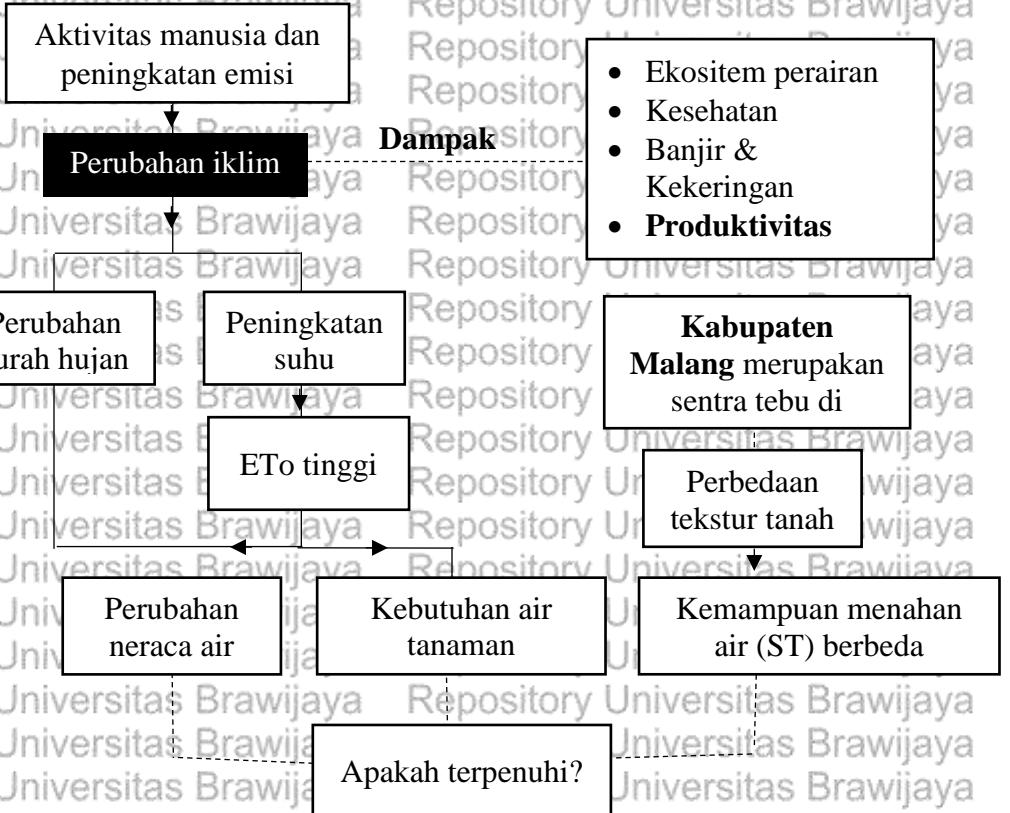
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository

pada dampak peningkatan suhu dan fluktuasi hujan terhadap neraca air, pemenuhan kebutuhan air serta potensi dampaknya terhadap reduksi hasil tanaman tebu di Kabupaten Malang. Dipilih 3 lokasi yang memiliki perbedaan tekstur tanah karena peran yang cukup besar dalam menentukan ketersediaan air dalam tanah. Alur pikir penelitian seperti dalam Gambar 1.



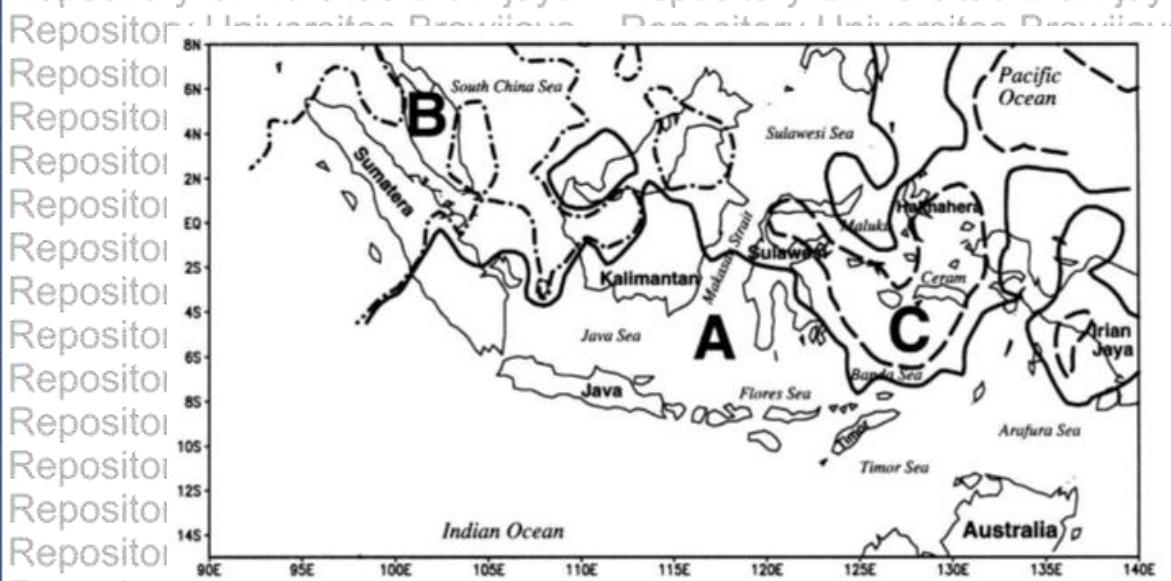
Gambar 1. Alur Pikir Penelitian





rendah, menyebabkan munculnya pusat-pusat konvergensi yang menyebabkan timbulnya awan-awan konvektif, dimana jenis awan ini sangat potensial menjadi hujan. Pusat-pusat konvergensi inilah yang disebut dengan Intertropical Convergence Zone (ITCZ) (*Holton et al.*, 1971 dalam Radini, 2015).

Wilayah Indonesia yang dominan terkena dampak ITCZ ini memiliki pola hujan Ekuatorial. Wilayah Indonesia juga berada di antara dua benua dan dua samudra, sehingga pergerakan semu matahari ini menyebabkan terjadinya angin monsun yang melewati Indonesia dan wilayah yang dominan terkena dampak angin monsun memiliki pola hujan monsun. Tipe monsunal mencakup wilayah yang paling besar, yang mana monsunal dicirikan oleh adanya perbedaan yang jelas antara periode musim hujan dan kemarau dalam setahun, dan hanya terjadi satu kali maksimum curah hujan bulanan dalam setahun (Aldrian dan Susanto, 2003). Faktor topografi juga mempengaruhi curah hujan Indonesia, dan wilayah yang dominan terkena dampaknya memiliki pola hujan lokal. Pembagian wilayah berdasarkan pola hujan di Indonesia tersajikan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Pola Curah Hujan di Indonesia (Sumber: Aldrian dan Susanto, 2003)

*Naylor et al.* (2007) memprediksi arah perubahan pola hujan di wilayah bagian barat Indonesia dan selatan Khatulistiwa. Di bagian utara Sumatera dan Kalimantan, intensitas curah hujan cenderung lebih tinggi dengan periode yang lebih pendek, sedangkan di wilayah selatan Jawa dan Bali akan menurun tetapi dengan periode yang lebih panjang.

Perubahan pola curah hujan mengakibatkan penurunan ketersediaan air dalam tanah bahkan dapat mencapai kondisi kering (FAO, 2009). Penurunan curah hujan dapat mengurangi suplai irigasi sehingga berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman, namun curah hujan yang terlalu tinggi terutama pada fase perkembangan awal dapat menurunkan produksi pertanian hingga 7,5% (Blanc, 2012).

Kondisi tersebut diperparah dengan peningkatan suhu udara yang berkorelasi positif dengan jumlah hilangnya air melalui evapotranspirasi sehingga berdampak pula pada penurunan ketersediaan air untuk tanaman yang berperan penting dalam proses fotosintesis (Zhao dan Yang, 2015).

### 2.1.3. Skenario Perubahan Iklim

Meningkatnya emisi GRK di atmosfer memiliki korelasi dengan perubahan iklim global. Jumlah emisi yang terlepas akan sangat sulit diprediksi karena berhubungan erat dengan laju pertumbuhan penduduk, pembangunan ekonomi, kerjasama antar negara, dan perkembangan teknologi (IPCC, 2014). Oleh karena itu, proyeksi perubahan iklim lebih ditekankan pada skenario yang mungkin terjadi di masa depan dibanding hanya berupa prediksi.

Selama 1 dekade terakhir, *Intergovernmental Panel on Climate Change* telah menerbitkan 2 skenario perubahan iklim yaitu *Special Report on Emissions Scenarios* (SRES) pada tahun 2007 dan *Representative Concentrate Pathways* (RCP) pada tahun 2014. SRES terdiri atas 4 skenario yaitu SRES A1, A2, B1 dan B2 yang didasarkan kemungkinan perubahan demografis, perkembangan ekonomi dan perkembangan teknologi. Sedangkan RCP terdiri atas skenario RCP 2.6, 4.5, 6.0 dan 8.0, RCP yang didasarkan pada *Radiative Forcing* (RF) atau perbedaan energi radiasi yang diterima oleh bumi dengan yang dipantulkan kembali ke luar bumi (IPCC, 2014). Semakin besar RF maka semakin besar energi yang masuk ke bumi sehingga memanaskan sistem, begitu juga sebaliknya. Berdasarkan skenario SRES, suhu rata-rata global pada akhir abad ke-21 diprediksi dapat meningkat hingga  $5,8^{\circ}\text{C}$  sedangkan berdasarkan skenario RCP sebesar  $4,8^{\circ}\text{C}$  disertai dengan perubahan pola curah hujan setiap wilayah (IPCC, 2014).

Skenario perubahan iklim telah banyak dimanfaatkan oleh para peneliti untuk mengetahui dampak perubahan iklim masa depan terhadap berbagai sektor termasuk pertanian. Misal penelitian yang dilakukan Santos dan Sentelhas (2012)

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

8  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

mengacu pada skenario yang dikeluarkan IPCC (2007) mengkaji dampak peningkatan suhu sebesar  $2^{\circ}$ ,  $4^{\circ}$  dan  $6^{\circ}\text{C}$  yang dikombinasikan dengan perubahan curah hujan (-10, -5, +5 dan +10 % dari kondisi aktual) terhadap komponen neraca air sehingga dapat dijadikan sebagai landasan pengelolaan air di suatu wilayah.

Menurut Guo *et al.* (2010) keberlangsungan pertanian di masa depan akan menghadapi tantangan perubahan iklim. Banyak hasil penelitian pada kondisi wilayah serta jenis komoditas pertanian berbeda menunjukkan bahwa dampak negatif yang ditimbulkan oleh adanya perubahan iklim lebih besar dibanding dampak positif (Ma *et al.*, 2016). Dampak tersebut bisa secara langsung melalui perubahan kondisi biofisik dan sumber daya lahan atau secara tidak langsung melalui pencuitan lahan yang terjadi karena meningkatnya kadar salinitas akibat luapan pasang air laut yang masuk ke daratan dengan jangkauan yang lebih luas (Hairiah dan Azhari, 2013).

## 2.2. Ketersediaan Air dalam Tanah

Kondisi air di dalam tanah mengalami fluktuasi karena adanya masukan berupa air hujan serta pengurangan akibat evapotranspirasi sehingga terjadi deplesi atau penurunan ketersediaan air dalam tanah. Terdapat batasan air yang dapat dimanfaatkan tanaman karena kemampuan tanah menahan air (Chang dan Okimoto, 2010). Batas air yang dapat ditahan oleh tanah adalah pada saat proses pelepasan air dari dalam pori-pori tanah berhenti atau mencapai kecepatan yang dapat diabaikan, kondisi ini disebut kapasitas lapangan. Sedangkan batas bawah nilai kandungan air di dalam tanah adalah pada saat tanah tidak mampu lagi melepaskan air bagi tanaman, atau akar tanaman tidak mampu lagi mengisap air dari dalam pori-pori tanah untuk mempertahankan turgornya, kondisi ini disebut kadar air titik layu permanen.

Perbedaan sifat-sifat tanah di suatu wilayah menyebabkan perbedaan kemampuan menahan air sehingga pada kondisi tertentu kadar air dalam tanah tidak mampu mencukupi kebutuhan air tanaman meskipun pada wilayah dengan curah hujan yang tinggi. Kemampuan tanah dalam menahan air salah satunya dipengaruhi oleh tekstur tanah (Intara *et al.*, 2011). Tekstur tanah merupakan susunan relatif dari tiga fraksi tanah, yaitu: pasir ( $2\text{mm}-50\mu\text{m}$ ), debu ( $50-2\mu\text{m}$ ); dan liat ( $<2\mu\text{m}$ ). Terdapat 12 kelas tekstur tanah, yaitu: pasir, debu, liat, pasir

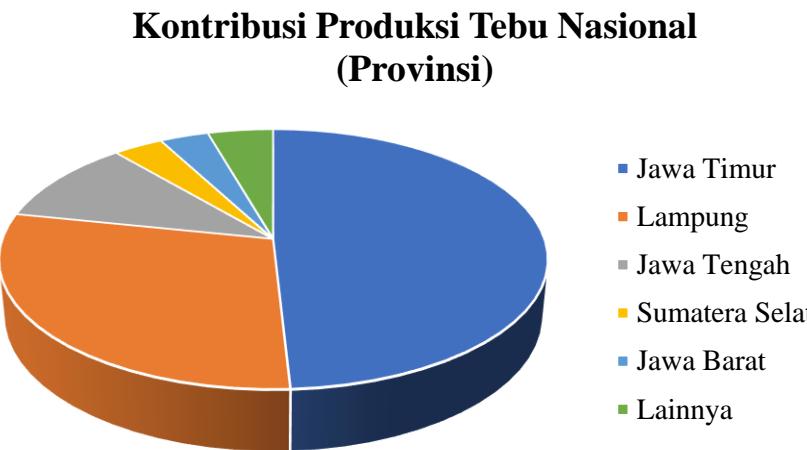
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

berlembung, lempung berpasir, lempung, lempung berdebu, lempung berlat, lempung liat berpasir, lempung liat berdebu, liat berpasir, dan liat berdebu (Hanafiah, 2012). Tekstur tanah berkaitan dengan distribusi pori sehingga berpengaruh terhadap jumlah air yang dapat masuk ke dalam tanah.

Umumnya, tanah bertekstur halus memiliki kemampuan menahan air yang lebih baik dibanding tanah bertekstur lainnya. Hal ini disebabkan karena tanah bertekstur halus memiliki presentase pori meso dan pori mikro lebih tinggi yang berperan dalam mengikat air. Berbeda kondisi dengan tanah bertekstur kasar yang karakteristiknya lebih mudah meloloskan air dibanding menahannya. Hasil penelitian Sudaryono (2006) menunjukkan adanya pengaruh langsung penambahan lempung ke dalam tanah berpasir terhadap peningkatan kemampuan tanah menahan air. Tanah dengan tekstur berpasir didominasi oleh pori-pori makro sehingga air yang meresap akan segera mengalami perkolasasi, dengan penambahan lempung ke dalam tanah ternyata bisa memperbaiki fisik tanah terutama terkait dengan daya menahan air. Peran lempung di dalam tanah dapat meningkatkan jumlah pori meso maupun mikro, sehingga air yang meresap dapat diikat.

### 2.3. Tanaman Tebu

Tebu (*Saccharum officinarum*) menjadi salah satu komoditas pertanian penting karena perannya sebagai bahan baku utama penghasil gula serta memiliki potensi sebagai sumber energi terbarukan (Souza *et al.*, 2008). Pada tahun 2013, Indonesia dikenal sebagai produsen dengan luas panen tebu terbesar kedua diantara negara-negara ASEAN, dan termasuk terbesar ketujuh ditingkat dunia. Produksi Tebu Indonesia di tahun 2014 tercatat sebesar 2.579.173 ton (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2015). Produksi ini berasal dari 477.123 ha luas panen perkebunan tebu yang berada di Provinsi Sumatera Utara, Gorontalo, Lampung, Sumatera Selatan, Jawa Barat, DI Yogyakarta, Jawa Tengah, Jawa Timur, dan Sulawesi Selatan.



Gambar 4. Kontribusi Produksi Tebu Nasional

Kawasan pertanian tebu di Indonesia berpusat di Provinsi Jawa Timur dengan area tanam paling luas sehingga sampai saat ini masih menjadi kontributor terbesar dengan menyumbang hampir 50% dari total produksi nasional (Badan Pusat Statistik, 2017). Kontribusi tersebut berasal dari Perkebunan Rakyat (PR), Perkebunan Besar Negara (PBN) dan Perkebunan Besar Swasta (PBS). Saat ini, Kabupaten Malang menjadi sentra produksi di Jawa Timur dengan (Badan Pusat Statistik, 2017). Sebaran area tanamnya hampir merata di setiap daerah. Dari 32 kecamatan yang ada, hanya 2 kecamatan yang tidak memiliki area tanam tebu yaitu Kecamatan Pujon dan Ngantang. Areal tanam paling luas berada di Kecamatan Pagak yaitu 4.556 ha, sedangkan yang paling sempit berada di Kecamatan Ampelgading dengan luasan 230 ha (Kabupaten Malang Dalam Angka, 2012).

2.4. Kebutuhan Air dan Reduksi Hasil Tanaman Tebu

Air merupakan komponen vital dalam proses fotosintesis, tanpa adanya air yang diserap maka tanaman tidak dapat tumbuh dan berproduksi optimal (Nita, 2014). Kekurangan air dapat mengakibatkan perubahan komponen kimia dan fisiologi tanaman yang berdampak pada penurunan laju pertumbuhan, luas daun, penutupan stomata, senesen, dan muncul gejala stres tanaman (Souza dan Marcos, 2004). Besarnya nilai kebutuhan air tanaman ditentukan oleh laju evapotranspirasi tanaman, sehingga umumnya berbeda di setiap daerah karena variabilitas iklimnya. Sebab itu, kebutuhan air tanaman diartikan sebagai jumlah air yang digunakan untuk memenuhi proses evapotranspirasi tanaman (Asriasuri dan Nora 1998).

Sebab itu, kebutuhan air tanaman diartikan sebagai jumlah air yang digunakan untuk memenuhi proses evapotranspirasi tanaman (Asriasuri dan Nora 1998).

Keseimbangan antara kebutuhan air dan pemenuhan air dapat digambarkan dengan perbandingan antara evapotranspirasi aktual ( $ET_a$ ) dan evapotranspirasi maksimum/potensial ( $ET_m$ ). Apabila keperluan air tanaman dapat dipenuhi oleh air tersedia dalam tanah maka  $ET_a = ET_m$ . Apabila air tersedia dalam tanah tidak mencukupi maka  $ET_a < ET_m$ , selanjutnya  $Y_a$  (hasil aktual)  $< Y_m$  (hasil maksimum) (Tusi, Rosadi dan Triana, 2012).  $ET_a$  yang lebih rendah menunjukkan bahwa air di dalam tanah tidak mencukupi keperluan transpirasi tanaman sehingga tanaman cenderung memberikan respon.

Umumnya, tebu tumbuh optimal pada daerah yang memiliki suhu udara rata-rata  $24^{\circ}\text{--}30^{\circ}\text{C}$  serta curah hujan  $1500\text{--}2500$  mm tahun $^{-1}$  dengan sedikitnya 3-4 bulan kering. Faktor tersebut berperan dalam penyediaan air di setiap fase tumbuh tanaman tebu. Setiap fase tumbuh tanaman tebu memiliki kebutuhan air tanaman yang berbeda. Kebutuhan air paling tinggi terjadi pada saat tanaman tebu memasuki fase vegetatif atau berumur 4 sampai 9 bulan. Kekurangan air pada fase tersebut dapat mengakibatkan penurunan performa fisiologi seperti ukuran diameter batang yang kecil, serta jarak antar buku relatif pendek yang mengakibatkan tinggi tanaman menjadi kurang. Kebutuhan air tanaman tebu berangsurn turun pada saat tanaman memasuki fase generatif hingga fase pemasakan dan siap panen (Asriasmoro dan Panjaitan, 1998).

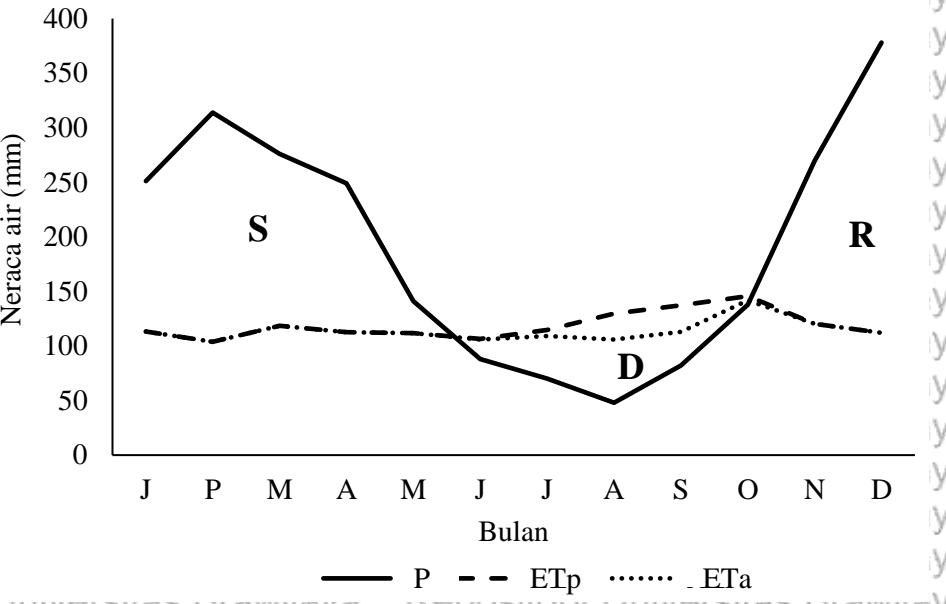
Tebu tumbuh normal apabila pada masa pertumbuhan vegetatif cukup mendapat air. Pada fase pemasakan setidaknya memerlukan 2 hingga 4 bulan kering, Cardozo (2013) menjelaskan bahwa ketika tebu kekurangan air terutama pada fase pemasakan, konsentrasi sukrosa akan meningkat hingga 15%. Curah hujan yang berlebihan pada fase ini justru dapat menurunkan rendemen (Rochimah *et al.*, 2015).

## 2.5. Neraca Air

Neraca air merupakan perbandingan air yang masuk dan keluar dari suatu lahan yang dapat dihitung dalam dimensi waktu dan spasial (Prijono, 2009). Salah satu metode yang masih sering digunakan dalam analisis neraca air adalah metode Thornthwaite-Mather. Metode tersebut dapat menggambarkan hubungan antara curah hujan ( $P$ ), evapotranspirasi potensial ( $ET_p$ ), simpanan air tanah ( $ST$ ), serta



Repository Universitas Brawijaya  
perubahan simpanannya dalam suatu wilayah (Surplus atau Defisit), Gambar 4 menyajikan Grafik hubungan komponen neraca air suatu wilayah.



Keterangan: S : Surplus; D : Defisit; R : Recharge; P : Curah Hujan; ETp : Evapotranspirasi Potensial; ETa : Evapotranspirasi Aktual

Gambar 5. Neraca Air Wilayah (Sumber: Prijono, 2009)

Grafik hubungan antara P dan ETp menunjukkan kapan terjadinya periode bulan kering dan bulan basah. Periode bulan kering terjadi apabila  $P < ET_p$ , yang berarti pada periode tersebut terjadi kekurangan air karena minimnya suplai air dari hujan. Jika kondisi ini berlanjut maka ST akan semakin menurun bahkan mencapai defisit (D). Menurut Thornthwaite dan Mather (1957), defisit air menunjukkan besarnya jumlah air yang diperlukan untuk mencapai  $ET_p$ . Adanya penggunaan ST oleh tanaman juga menjadi penyebab terjadinya perubahan nilai simpanan air di dalam tanah ( $\Delta ST$ ). Saat periode basah ( $P > ET_p$ ) dimulai, air di dalam tanah akan mencapai kapasitas lapang (STo) jika jumlah air hujan mencukupi bahkan dapat terjadi surplus (S). Setelah kapasitas lapang terpenuhi, surplus sebagian masuk kedalam tanah melalui infiltrasi dan perkolasasi dan sebagian mengalir sebagai limpasan (*run off*) yang dapat terjadi pada saat hujan atau dilepaskan berangsangsur dalam bentuk mata air (Djuwansah dan Narulita, 2006). Jika jumlah kelebihan air hujan lebih kecil dari kapasitas lapang, maka STo tidak akan tercapai. Kondisi ini umumnya terjadi pada masa recharge atau masa transisi bulan kering ke bulan basah (Prijono, 2009).

Hasil perhitungan neraca air memberikan informasi penting berupa simpanan air dalam tanah, surplus dan defisit air serta limpasan permukaan pada periode tertentu yang dapat dimanfaatkan untuk perencanaan sistem usaha tani, seperti: (1) pertimbangan kesesuaian pertanian lahan kering; (2) mengatur waktu tanam dan pola tanam; (3) merencanakan pemberian air berdasarkan kebutuhan air dan pertumbuhan serta perkembangan tanaman (Ayu *et al.*, 2013).

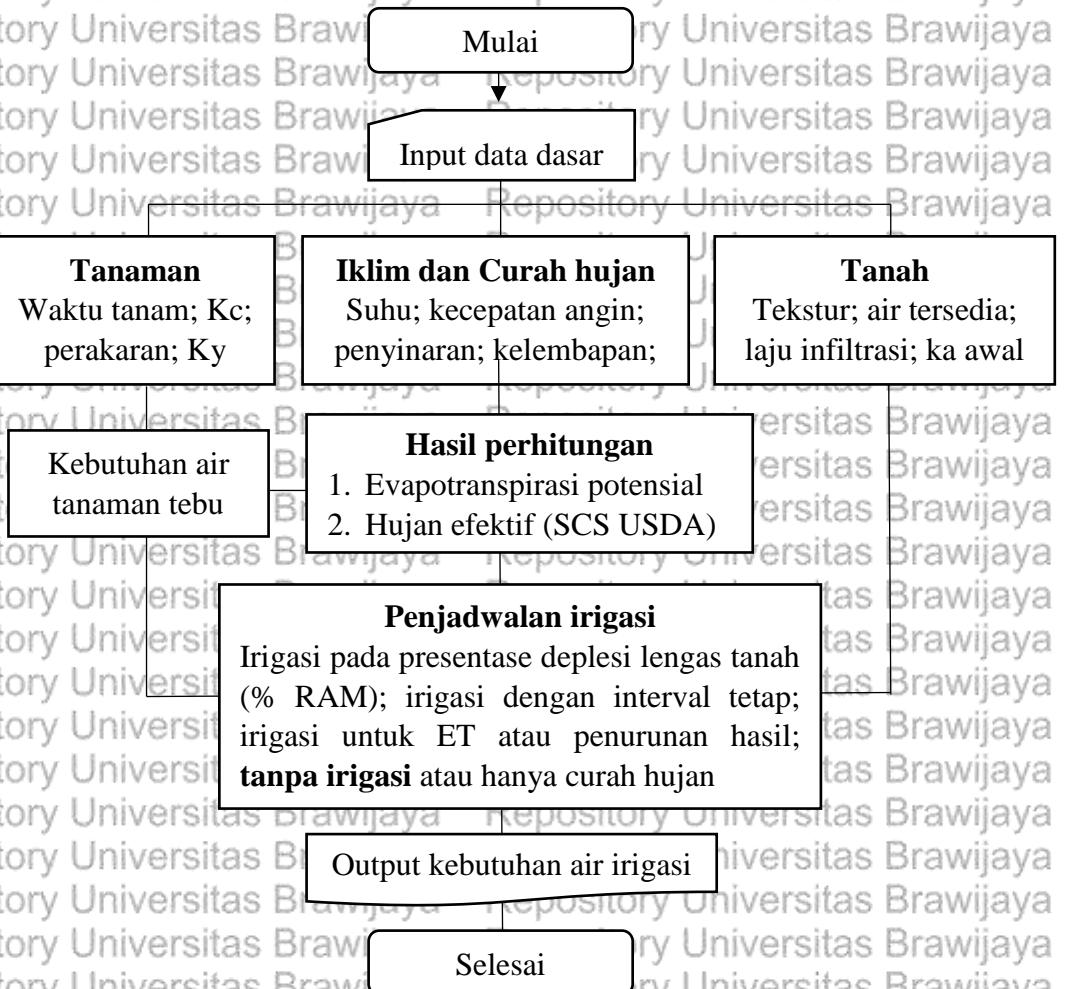
### **2.5. Manajamen Sumberdaya Air sebagai Upaya Adaptasi Perubahan Iklim**

Hasil penelitian Santos dan Sentelhas (2012) menunjukkan bahwa peningkatan suhu yang disertai penurunan curah hujan menyebabkan periode bulan defisit lebih sering terjadi sehingga berpengaruh terhadap pemenuhan kebutuhan air tanaman. Tanaman yang kekurangan air memberikan respon negatif sehingga dapat menurunkan produktivitas (Nita, 2014). Sebagai upaya adaptasi terhadap perubahan iklim yang diperkirakan terjadi maka perlu dilakukan manajemen sumberdaya air. Manajemen sumberdaya air mencakup efisiensi pemanfaatan air hingga strategi pemanenan air hujan terutama pada kawasan beriklim basah yang airnya banyak melimpas karena keterbatasan kemampuan tanah menahan air.

Rekomendasi praktik manajemen sumberdaya air yang baik dalam daerah perakaran dan meningkatkan efisiensi penggunaan air adalah : (1) pengolahan tanah dalam pada tanah padat untuk perbaikan struktur tanah, (2) pengolahan tanah minimum atau tanpa olah tanah pada tekstur ringan, (3) penggunaan mulsa sisir tanaman atau bahan plastik, (4) pemanenan air hujan dan air limpasan. Perencanaan kalender tanam juga dapat menjadi salah satu alternatif dalam upaya penggunaan sumberdaya air yang lebih optimal sehingga dapat mengurangi reduksi hasil tanaman akibat kebutuhan air yang tidak terpenuhi (Prijono, 2008)

### **2.6. CROPWAT 8.0**

CROPWAT 8.0 merupakan program hasil pengembangan *Land and Water Development Division of UN Food and Agriculture Organization* (FAO) yang direkomendasikan sebagai alat untuk menghitung nilai laju evapotranspirasi standar (ET<sub>0</sub>), kebutuhan air tanaman (CWR) dan pengaturan irigasi tanaman. Prosedur perhitungannya didasarkan pada 2 publikasi FAO, yaitu *Irrigation and Drainage Series no. 56 "Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements"* (Allen *et al.*, 1998) dan no. 33 "Yield Response to Water"



Gambar 6. Diagram Alur Operasional CROPWAT 8.0

CROPWAT 8.0 dapat bermanfaat dalam pengelolaan air lahan dengan mengestimasi jumlah kebutuhan air irigasi yang perlu diberikan apabila terjadi cekaman air (Banik, Tiwari and Subodh, 2014). Luaran utama dari CROPWAT 8.0 adalah jumlah kebutuhan air tanaman serta kebutuhan air irigasi yang didasarkan pada jumlah air yang hilang melalui evapotranspirasi, jenis komoditas tanaman (*crop coefficient*), jenis tanah serta suplai air hujan dalam lahan budidaya sesuai dengan penjadwalan tanam yang diterapkan (FAO, 2009; George *et al.*, 2000). Hasil penelitian George *et al.* (2000) mengenai penjadwalan irigasi pada berbagai lokasi menunjukkan hasil konsisten antara data prediksi luaran CROPWAT dengan data hasil pengukuran lapangan.

Dalam budidaya tanaman di lahan tada hujan, program tersebut mampu mengestimasi presentasi reduksi produksi berdasarkan penurunan kadar air tanah akibat penggunaan air oleh tanaman serta tidak adanya input irigasi. Informasi ini cukup penting terutama dalam pengelolaan lahan tada hujan, agar dapat mengoptimalkan produktivitas lahan dengan mengacu pada kesesuaian lahan tanaman serta pengaturan jadwal tanam untuk meminimalisir reduksi produksi (Banik *et al.*, 2014). Dalam upaya mitigasi terhadap perubahan iklim, CROPWAT 8.0 dapat dimanfaatkan sebagai alat bantu untuk memprediksi dampak perubahan iklim terhadap sektor pertanian terutama dari aspek pengelolaan airnya karena program tersebut mampu memberikan gambaran yang sangat baik mengenai kebutuhan air tanaman pada berbagai skenario perubahan iklim (FAO, 2009).

16

Repository Universitas Brawijaya  
**III. ME**  
Repository Universitas Brawijaya

### III. METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan mulai bulan Mei hingga Agustus 2017. Lokasi pengambilan sampel tanah dilakukan di Kecamatan Wajak, Sumbermanjing, dan Gedangan Kabupaten Malang. Analisis sifat fisik tanah dilakukan di Laboratorium

Fisika Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya.

### **3.2. Alat dan Bahan**

Penelitian ini memerlukan beberapa alat dan bahan yang secara lengkap disajikan dalam Tabel 1.

**Tabel 1.** Alat dan Bahan

Penggunaan	Alat dan Bahan
Pengambilan sampel tanah	Cangkul, sekop, ring sampel, ring master, palu dan penekan, plastik, kain, karet, meteran
Analisis tekstur tanah	Sampel tanah terganggu; <i>beaker glass</i> ; ayakan 50µm, 200µm, 500µm; bak perendam; pipet 50 ml dan 10 ml; termometer; cawan porselin; oven; <i>stopwatch</i> ; timbangan analitis; aquades, 30% H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ; 6 N dan 0,2N HCl; Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> .
Pengukuran pH 2,5 dan berat isi	Sampel tanah utuh, kain, karet, <i>kaolin box</i> , oven, timbangan, alat tulis
Pengukuran pH 4,2	Sampel tanah terganggu, ring kecil, air, <i>Pressure plate apparatus</i> , oven, timbangan, alat tulis
Analisis data	Laptop, <i>Microsoft office</i> , program CROPWAT 8.0, tabel neraca air Thornthwaite-Mather, data iklim dan curah hujan Kabupaten Malang 10 tahun terakhir, data analisis tanah, data tanaman tebu (Sumber FAO)

### **3.3. Metode Penelitian**

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif yang dilakukan dengan survei dan simulasi mengenai dampak perubahan iklim terhadap komponen pemenuhan kebutuhan air tanaman tebu. Tahapan penelitian meliputi:

### **3.3.1. Persiapan Awal**

Tahap ini meliputi kajian literatur, pengumpulan data sekunder, dan penentuan lokasi penelitian. Data tekstur tanah yang menjadi dasar pemilihan lokasi pengambilan sampel mengacu pada laporan KMDA Tahun 2012. Data iklim berasal dari 3 stasiun klimatologi yaitu Stasiun BMKG Lanud AR Saleh

Karangkates, dan KP. Sumberasin yang dipilih berdasarkan kelengkapan data dan cakupan wilayah penelitian. Tabel 2 menjelaskan dasar pemilihan lokasi pengambilan sampel.

**Tabel 2. Lokasi Pengambilan Sampel**

Lokasi	Luas Tanam	Tekstur	Stasiun Meteorologi
Wajak 8° 07' LS 112° 45' BT	953 Ha	Kasar (Berpasir)	Lanud. AR. Saleh 7° 55' LS 112° 42' BT
Sumbermanjing 8° 14' LS 112° 41' BT	1.708 Ha	Sedang (Berlempung)	Waduk Karangkates 8° 09' LS 112° 29' BT
Gedangan 8° 20' LS 112° 37' BT	1.500 Ha	Halus (Berliat)	KP. Sumberasin 8° 14' LS 112° 15' BT

(Sumber: Laporan KMDA Tahun 2012)

### 3.3.2. Pengambilan Sampel dan Analisis Sifat Fisik Tanah

Pengambilan sampel tanah dilakukan secara acak dengan mempertimbangkan keseragaman fisiografi lahan di 3 lokasi pengambilan sampel. Pengambilan sampel dilakukan secara utuh dan terganggu pada kedalaman 0-20 cm dan 20-60 cm sesuai rekomendasi kajian evaluasi lahan. Pengambilan sampel tanpa dilakukan pengulangan untuk menghindari keragaman data. Parameter dan metode analisis sampel seperti yang tersajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Parameter dan Metode Analisis

Sampel	Kedalaman (cm)	Parameter	Metode/Alat
Utuh	0-20	Berat isi	Gravimetri
	20-60	pF 2,5	Kaolin box
Terganggu	0-20	pF 4,2	<i>Pressure plate apparatus</i>
	20-60	Tekstur	Pipet

Sampel tanah utuh digunakan untuk analisis berat isi dan kadar air pF 2,5 (Kapasitas lapangan) sedangkan sampel tanah terganggu untuk analisis tekstur tanah dan kadar air pF 4,2 (Titik layu permanen). Selisih antara nilai kadar air pF 2,5 dengan kadar air pF 4,2 merupakan kisaran air tersedia yang di konversi dalam bentuk kadar air volume dan mm/m (Lampiran 8).

### 3.3.3. Analisis Neraca Air Thorthwaite-Mather

Analisis neraca air bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan unsur suhu dan curah hujan terhadap simpanan air (ST), defisit maupun surplus air. Tabel 4 menyajikan prosedur perhitungan neraca air Thornthwaite and Mather (1957).

**Tabel 4. Perhitungan Neraca Air Metode Thornthwaite-Mather**

<b>Tahap</b>	<b>Komponen Neraca Air</b>	<b>Keterangan (mm)</b>	<b>Uraian</b>
1	P	Curah hujan	Total curah hujan
2	ETp	Evapotranspirasi potensial	Metode Penman-Monteith
3	P-ETp		Kuantitatif
4	APWL	Akumulasi potensi kehilangan air	Akumulasi (P-ETp negatif)
5	ST	Simpanan air tanah	$ST = ST_0 * 2.718^{(-APWL/ST_0)}$
6	$\Delta ST$	Perubahan simpanan air	$\Delta ST = ST_{n-1} - ST_n$
7	ETA	Evapotranspirasi aktual	Jika $P > ET_p$ maka $ETA = P + ST$
8	S	Surplus	Jika $P < ET_p$ maka $ETA = ET_p$
9	D	Defisit	$S = P - ET_p - \Delta ST$ $D = ET_p - ETA$

Simulasi perubahan iklim menggunakan skenario beberapa skenario perubahan suhu dan curah hujan yang didasarkan dari hasil analisis data iklim global. Dalam laporan IPCC Tahun 2007, disebutkan bahwa peningkatan suhu diperkirakan akan terus meningkat hingga mencapai  $1,4^{\circ}\text{C}$ - $5,8^{\circ}\text{C}$  pada akhir abad ke-21. Peningkatan suhu akan diiringi dengan perubahan pola hujan di semua wilayah. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa curah hujan di sebagian wilayah Indonesia mengalami penurunan sedangkan beberapa daerah lain meningkat (Susandi, 2006; Syahbuddin *et al.*, 2004) sehingga skenario yang digunakan seperti tersaji dalam Tabel 5.

**Tabel 5. Skenario Perubahan Iklim berdasarkan Skenario IPCC**

<b>Kode</b>	<b>Tahun</b>	$\Delta T (\text{ }^{\circ}\text{C})$	$\Delta CH (\%)$
C0	Aktual (1998-2016)	0	0
C1	2046	+2	-10
C2	2046	+2	-5
C3	2046	+2	+5
C4	2046	+2	+10
C5	2076	+4	-10
C6	2076	+4	-5
C7	2076	+4	+5
C8	2076	+4	+10
C9	2106	+6	-10
C10	2106	+6	-5
C11	2106	+6	+5
C12	2106	+6	+10

Nilai dalam setiap skenario menjadi input tambahan data suhu dan curah hujan aktual bulanan (Lampiran 5 dan 6) kedalam CROPWAT 8.0 (Malebajoja, 2010; Chowdhury *et al.*, 2013) juga neraca air Thornthwaite-Mather (1957).

### 3.3.4. Analisis Kebutuhan Air dan Potensi Reduksi Hasil

Simulasi dengan model CROPWAT 8.0 dilakukan untuk mengetahui dampak perubahan iklim terhadap kebutuhan dan potensi reduksi hasil produksi tanaman. Data yang diperlukan dalam model tersebut disajikan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Data Masukan dan Luaran CROPWAT 8.0

Parameter	Masukan	Sumber	Luaran
Iklim (Climate)	- Data iklim bulanan - Hujan bulanan	- BMKG - Repository Universitas Brawijaya	- Evapotranspirasi potensial (ETp) - Kebutuhan air tanaman - Kebutuhan irigasi
Tanaman (Crop)	- Tanggal penanaman - Koefisien tanaman - Deskripsi tanaman	- Wawancara - Database - FAO	- Evapotranspirasi tanaman (ETc)
Tanah (Soil)	- Lengas tersedia (mm/m)	- pF 2,5 – pF 4,2	- Defisit air harian
	- Laju infiltrasi maksimum (mm/hari)	- Database - FAO	
	- Deplesi awal (mm)	- Neraca air bulanan	
Irigasi (Irrigation)	Kriteria pemberian irigasi	- Penjadwalan irigasi - Pengaturan	- Prediksi penurunan hasil akibat kekurangan air

#### 1. Perhitungan Evapotranspirasi Potensial

Input data iklim ke dalam model CROPWAT 8.0 digunakan untuk menghitung ETp dengan metode FAO Penman-Monteith yang telah disepakati sebagai metode paling akurat untuk menghitung ETp. Dalam metode tersebut diperlukan data iklim seperti: suhu maksimum dan minimum, lama penyinaran, kelembapan, dan kecepatan angin. Rumus perhitungan ETp seperti berikut.

$$ETp = \frac{0,408 \Delta (Rn - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (es - ea)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (1)$$

Keterangan:

ETp : Evapotranspirasi potensial ( $\text{mm hari}^{-1}$ )

Rn : Radiasi neto pada permukaan tanaman ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ hari}^{-1}$ )

G : Kepadatan fluks suhu tanah ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ hari}^{-1}$ )

T : Rata-rata suhu udara harian setinggi 2 m ( $^{\circ}\text{C}$ )

$u_2$  : Kecepatan angin pada ketinggian 2 m ( $\text{m detik}^{-1}$ )

Repository Universitas Brawijaya  
 $e_s$  : Tekanan uap jenuh (kPa)  
 $e_a$  : Tekanan uap aktual (kPa)  
 $\Delta$  : Kemiringan kurva tekanan uap ( $kPa \text{ } ^\circ C^{-1}$ )  
 $\gamma$  : Konstanta psikometrik ( $kPa \text{ } ^\circ C^{-1}$ )

## 2. Perhitungan Curah Hujan Efektif

Seiring terjadinya hujan, maka tanah akan terisi oleh air dan menyediakan untuk tanaman. Namun, tidak semua hujan dapat dimanfaatkan oleh tanaman sehingga terdapat istilah hujan efektif (PE atau hujan yang dapat dimanfaatkan tanaman). PE dihitung menggunakan metode “USDA soil conservation service”.

$$\text{Untuk } P \geq 125 \text{ mm} ; PE = P \frac{125 - 0,2P}{125} \quad (2)$$

$$\text{Untuk } P < 125 \text{ mm} ; PE = 125 + 0,1 \times P \quad (3)$$

## 3. Data Tanaman

Seiring pertumbuhan tanaman, maka fisiologi seperti luas kanopi, tinggi dan luas daun tanaman mengalami perubahan yang menyebabkan besarnya laju evapotranspirasi juga akan berubah, nilai  $Kc$  pada setiap jenis dan fase tumbuh tanaman berbeda-beda. Secara umum, fase pertumbuhan dapat dibagi menjadi 4 fase (Allen *et al.*, 1998).

Tabel 7. Data Tanaman Tebu

Fase Tumbuh	Lama Fase (hari)	$Kc$	Kedalaman Akar (m)	$Ky$	Tanam	Panen
Initial	30	0,4				
Development	50	>>				
Middle	180	1,25				
Late	60	0,75				
			1,5	1,2	1 Oktober	16 Agustus

Berdasarkan wawancara, musim giling tebu dimulai bulan Juni-September yang artinya pada awal Oktober petani sudah dapat memulai penanaman sehingga pada simulasi ini ditetapkan tanggal tanam tebu yaitu pada tanggal 1 Oktober.

## 4. Data Tanah

Data tanah diperoleh dari hasil analisis laboratorium. Untuk data infiltrasi menggunakan *database CROPWAT* 8.0 berdasarkan tekstur tanah. Air tersedia pada awal penanaman menyesuaikan hasil analisis neraca air.

Repository Universitas Brawijaya  
 Repository Universitas Brawijaya  
 Repository Universitas Brawijaya  
 Repository Universitas Brawijaya

21

Repository Universitas Brawijaya  
 Repository Universitas Brawijaya

22

Repository Universitas Brawijaya  
 Repository Universitas Brawijaya

23

Repository Universitas Brawijaya  
 Repository Universitas Brawijaya

24

Repository Universitas Brawijaya  
 Repository Universitas Brawijaya

25

Repository Universitas Brawijaya  
 Repository Universitas Brawijaya

26

Repository Universitas Brawijaya  
 Repository Universitas Brawijaya

27

Repository Universitas Brawijaya  
 Repository Universitas Brawijaya

28

Repository Universitas Brawijaya  
 Repository Universitas Brawijaya

29

Repository Universitas Brawijaya  
 Repository Universitas Brawijaya

30

Repository Universitas Brawijaya  
 Repository Universitas Brawijaya

31



Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

**Tabel 8. Data Tanah untuk Input CROPWAT 8.0**

Lokasi Wajak	Kedalaman (cm)	Tekstur (%)*)			Air tersedia (mm m <sup>-1</sup> )**	Infiltrasi (mm hari <sup>-1</sup> )**
		Pasir	Debu	Liat		
Sumbermanjing	0-20	55	33	12	155	40
	20-60	57	28	15		
Gedangan	0-20	18	43	39	188	40
	20-60	15	39	46	171	40
	0-20	9	33	58		
	20-60	9	27	64		

**Sumber:**

\* : Hasil analisis laboratorium

\*\* : CROPWAT 8.0

## 5. Pengaturan Irrigasi

Kriteria pemberian irrigasi diatur dalam mode “rainfed” atau hanya mengandalkan air hujan sebagai masukan irrigasi untuk mensimulasikan dampak perubahan iklim terhadap ketersediaan air dan potensi reduksi hasil tanaman (Malebajoa, 2010).

### 3.3.5. Analisis Ketersediaan Air Tanaman

Simpanan air tanah (ST) setiap bulan merupakan salah satu hasil perhitungan neraca air. Namun, tidak semua air tersebut dapat diserap karena tanah memiliki batas titik layu permanen ( $pF\ 4,2$ ) untuk menyediakan air bagi tanaman (Chang dan Okimoto, 2010). Air dikatakan tersedia (AT) apabila  $ST > \text{lengas}$  pada kondisi titik layu permanen. Kebutuhan air tanaman setiap bulan terpenuhi apabila nilai  $AT > ET_c$ , namun jika  $AT < ET_c$  maka tanaman akan kekurangan air pada fase pertumbuhannya.

### 3.3.6. Estimasi Kebutuhan Air dan Reduksi Hasil Tanaman Tebu

Menurut Doorenbos dan Kasam (1979) besarnya nilai kebutuhan air tanaman ( $ET_c$ ) sama dengan nilai evapotranspirasi potensial ( $ET_p$ ) dikalikan dengan koefisien tanaman ( $K_c$ ). Nilai  $K_c$  (Tabel 7) bersumber dari *database* FAO.

$$ET_c = K_c \times ET_p \dots \dots \dots \dots \dots \quad (4)$$

$ET_c$  dihitung berdasarkan kondisi iklim standar untuk tanaman, sedangkan  $ET_a$  bergantung pada nilai lengas tersedia, oleh sebab itu dilakukan akumulasi dengan koefisien stress air ( $k_s$ ) yang tertera dalam persamaan 6.  $K_s$  bernilai 0-1, yang apabila  $k_s$  bernilai 1 menunjukkan tidak adanya stress air, sehingga menjadikan  $ET_a$  senilai dengan  $ET_c$ .

Repository Universitas Brawijaya  
22

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Dimana  $K_s$  merupakan fungsi dari total air tersedia (TAW), air tersedia tanpa menyebabkan *stress* tanaman (RAW) dan depleksi pada zona perakaran (Dr).

Meskipun input data iklim adalah tahunan, output dari ETc dinyatakan dalam satuan mm hari<sup>-1</sup>. Data dikonversi menggunakan *polynomial curve fitting model*. Rata-rata nilai koefisien tanaman untuk setiap waktu di estimasi menggunakan interpolasi antara nilai Kc untuk setiap fase tumbuh tanaman (Malebajoa, 2010).

Produksi tanaman memiliki hubungan dengan penggunaan air, sehingga tanaman akan merespon jika terjadi kekurangan air berupa peningkatan potensi reduksi hasil (Steduto *et al.*, 2012). Reduksi hasil terjadi apabila kebutuhan air tidak tercukupi, yang ditandai dengan nilai  $ET_a < ET_c$ . Reduksi dilambangkan dalam persamaan 4. Faktor reduksi produksi ( $k_y$ ) menghubungkan nilai pengurangan produksi relatif dengan defisit evapotranspirasi relatif. Estimasi reduksi hasil dalam CROPWAT 8.0 dihitung dengan persamaan:

## Keterangan

Ya : produksi tanaman aktual

Y<sub>m</sub> : produksi tanaman maksimum (*database CROPWAT 8.0*)

Ky : koefisien respon produksi tanaman

ET<sub>a</sub> : evapotranspirasi aktual

ET<sub>m</sub> : evapotranspirasi potensial

Rumus tersebut memperhitungkan tingkat sensitivitas terhadap air dalam memperkirakan penurunan hasil untuk berbagai tanaman dan tahap pertumbuhan berdasarkan status kelembaban tanah (Malebajoa, 2010).

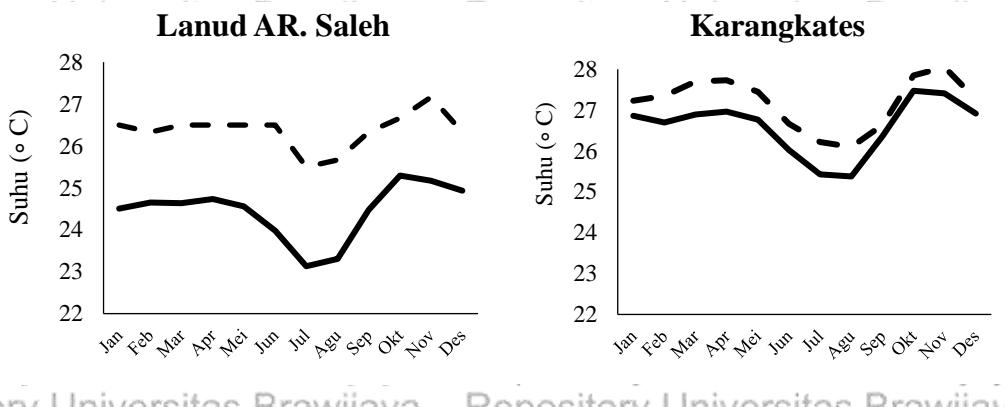
berdasarkan status kelembaban tanah (Malebajoa, 2010).

Repository Universitas Brawijaya  
**IV. HASIL**  
Repository Universitas Brawijaya

## **IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Kecenderungan Suhu dan Curah Hujan**

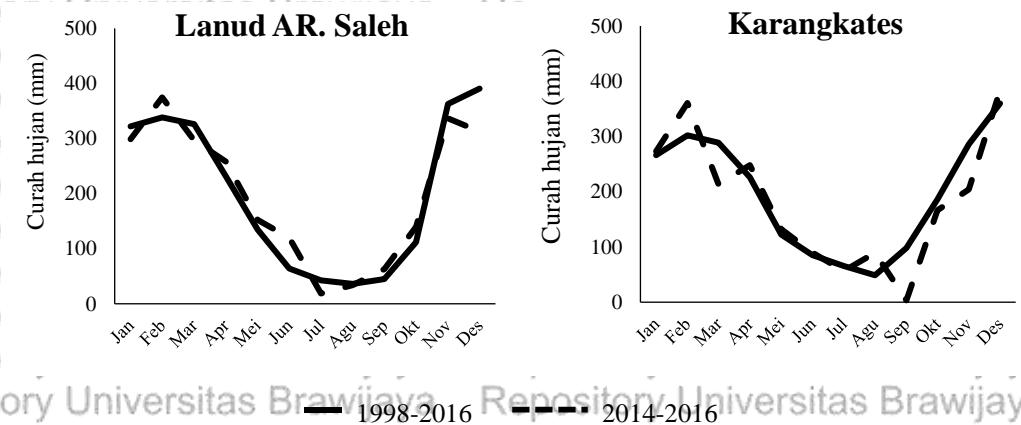
Kecenderungan suhu yang ditunjukkan pada kedua stasiun klimatologi (Gambar 5) menjelaskan bahwa suhu udara di Kabupaten Malang telah meningkat dari kondisi rata-rata. Berdasarkan data pengamatan beberapa stasiun klimatologi di Kabupaten Malang, dalam 3 tahun terakhir rata-rata suhu udara meningkat sebesar  $0,3^{\circ}\text{--}2,3^{\circ}\text{C}$  dibanding kondisi normal.



Gambar 7. Kecenderungan Suhu 3 Tahun Terakhir

Menurut IPCC (2014) peningkatan suhu udara merupakan imbas dari semakin tingginya konsentrasi GRK di atmosfer terutama dalam periode 30 tahun terakhir. Loo *et al.* (2015) juga membenarkan dalam artikelnya bahwa peningkatan suhu udara pada abad ini sangat berkaitan dengan aktivitas manusia dalam menghasilkan emisi. Faktanya, Indonesia juga menjadi salah satu negara penghasil emisi GRK terbesar di dunia, oleh sebab itu dampak perubahan iklim juga akan sangat terasa (Maesey, 2010). Peningkatan evapotranspirasi menjadi salah satu dampak yang cukup serius terutama dalam bidang pertanian karena berkaitan dengan pemenuhan kebutuhan air tanaman, disamping itu setiap tanaman juga memiliki batas toleransi terhadap suhu udara di suatu wilayah untuk dapat berproduksi optimal.

IPCC (2014) menyebutkan bahwa peningkatan suhu dapat menyebabkan perubahan unsur iklim lainnya termasuk curah hujan. Energi panas akan menyebabkan terjadinya evaporasi dari permukaan laut dan daratan uap air akan



Gambar 8. Kecenderungan Curah Hujan 3 Tahun Terakhir

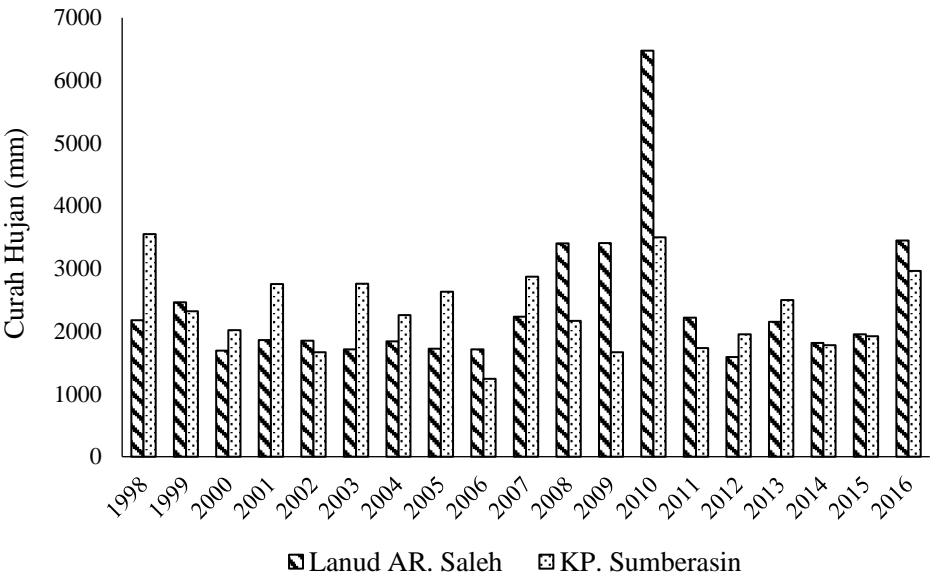
Fluktuasi hujan yang ditunjukkan pada Gambar 6 hampir sesuai dengan hasil penelitian Radini dan Faqih (2015) yang memproyeksikan bahwa secara umum curah hujan di Indonesia akan mengalami kenaikan saat musim kemarau dan

terbawa oleh angin di atmosfer, berkondensasi membentuk awan, dan kembali lagi ke bumi dalam bentuk hujan atau salju (Trenberth, 2011). Berdasarkan pola hujannya, Kabupaten Malang termasuk kedalam wilayah dengan pola hujan Munsonal yang dicirikan dengan perbedaan sangat jelas antara musim hujan dan musim kemarau. Bulan basah berlangsung pada bulan Nopember hingga Maret, dan bulan kering berlangsung pada bulan Mei hingga September, sedangkan bulan Oktober menjadi periode transisi (Cruzz *et al.*, 2012 dalam Loo *et al.*, 2015).

Berdasarkan klasifikasi iklim Schmidt-Ferguson, lokasi penelitian termasuk kedalam tipe iklim C atau agak basah. Bulan basah ( $P > 100$  mm) terjadi rata-rata

7 kali sedangkan bulan kering ( $P < 60$  mm) 3–4 kali dalam setahun. Jika mengacu pada klasifikasi iklim Oldeman, wilayah tersebut masuk kedalam zona C dengan tipe iklim C3 dimana periode bulan basah ( $P > 200$  mm) terjadi 5–6 kali sedangkan periode bulan kering ( $P < 100$  mm) terjadi 4–6 kali dalam setahun. Gambar 6 merupakan grafik kecenderungan curah hujan di lokasi studi yang menunjukkan adanya fluktuasi. Rata-rata curah hujan antara 2329–2406 mm tahun<sup>-1</sup> dan terkonsentrasi mulai bulan Oktober sampai bulan Mei dengan kisaran, berangsut turun dan mencapai titik terendah pada bulan Agustus. Puncak hujan terjadi pada bulan Desember dengan curah hujan.

25



Gambar 9. Curah Hujan Tahunan

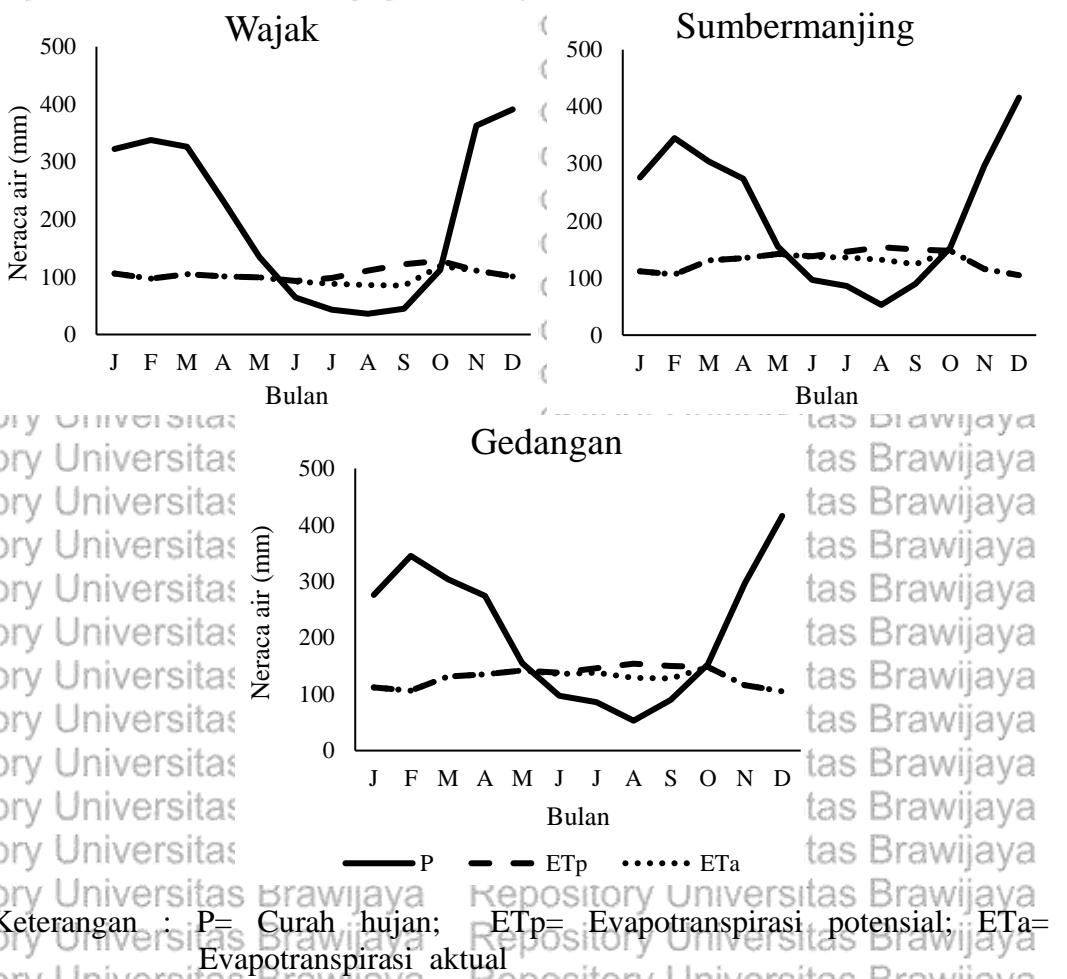
Berbeda dengan suhu yang relatif stabil dalam jangka panjang, curah hujan

setiap tahun cenderung fluktuatif bahkan dapat mencapai kondisi ekstrem. Menurut Suciantini (2015) kejadian iklim ekstrim yang mempengaruhi curah hujan banyak dikaitkan dengan kondisi El Nino-Southern Oscillation atau ENSO yang juga berkaitan dengan perubahan suhu udara. Karakteristik ENSO diwakili oleh kondisi curah hujan pada tahun-tahun El-Nino dan La-Nina, yaitu pada saat kondisi curah hujan menyimpang dari kondisi normalnya. Pada saat terjadi El-Nino, curah hujan di wilayah Indonesia umumnya akan berada di bawah normal. Sebaliknya pada saat terjadi La-Nina, curah hujan akan berada di atas normalnya.

#### 4.2. Neraca Air Aktual

Thornthwaite dan Mather (1957) berpendapat bahwa neraca air sangat dipengaruhi oleh evapotranspirasi potensial, curah hujan, dan perbedaan kemampuan tanah menahan air sehingga variasi kondisi suatu wilayah menghasilkan neraca air yang berbeda. Evapotranspirasi merupakan sumber kehilangan air dalam neraca air sehingga berkaitan dengan pemenuhan kebutuhan air tanaman yang diartikan sebagai jumlah air yang harus dipenuhi pada setiap fase tumbuh tanaman akibat kehilangan sejumlah air karena proses tersebut (Doorenbos

dan Kasam, 1979). Secara umum, total evapotranspirasi di ketiga lokasi studi hampir mencapai 50% dari total curah hujan dalam setahun. Evapotranspirasi yang terjadi di lokasi Wajak lebih rendah dibandingkan 2 lokasi lainnya karena suhu rata-rata dan curah hujan yang relatif lebih rendah.



Gambar 10. Neraca Air Lokasi Penelitian

ET<sub>p</sub> merupakan potensi kehilangan air melalui evapotranspirasi yang hanya disebabkan oleh faktor iklim dimana faktor lingkungan dianggap dalam kondisi standar, Sedangkan ET<sub>a</sub> selain dipengaruhi oleh faktor iklim juga dipengaruhi oleh kondisi tanah dan sifat tanaman (Handoko, 1995 dalam Ayu *et al.*, 2013). ET<sub>p</sub> di Kecamatan Wajak memiliki nilai sebesar 1271 mm tahun<sup>-1</sup> sedangkan di Kecamatan Sumbermanjing dan Gedangan mencapai 1583 mm tahun<sup>-1</sup>. Di lokasi Wajak, ET<sub>p</sub> melebihi P saat memasuki bulan Mei sampai Oktober, sedangkan di 2 lokasi lain ET<sub>p</sub> melebihi P terjadi mulai bulan Mei sampai September. Masuknya

Repository Universitas Brawijaya  
periode bulan kering ditandai dengan nilai ET<sub>p</sub> melebihi P (Ayu *et al.*, 2013) sehingga bulan kering di lokasi Wajak berlangsung sedikit lebih lama.

Hasil perhitungan ET<sub>a</sub> menunjukkan nilai yang bervariasi pada masing-masing lokasi saat memasuki bulan kering. Saat curah hujan tinggi, ET<sub>a</sub> dapat mencapai ET<sub>p</sub> sedangkan saat memasuki bulan kering ET<sub>a</sub> cenderung berada di bawah nilai ET<sub>p</sub> karena ketersediaan air yang rendah. Nilai ET<sub>a</sub> di Kecamatan Wajak adalah 1190 mm tahun<sup>-1</sup>, paling kecil dibanding Kecamatan Sumbermanjing dan Gedangan yang masing-masing dapat mencapai 1524 mm tahun<sup>-1</sup> dan 1527 mm tahun<sup>-1</sup>. Ayu *et al.* (2013) menjelaskan ET<sub>a</sub> cenderung mengikuti sebaran hujan, karena transpirasi berkaitan dengan ketersediaan air dalam tanah. Jika kadar air tanah menurun maka proses evapotranspirasi tertahan. Selain itu, pada musim kering kerapatan tanaman mulai berkurang sehingga menurunkan transpirasi.

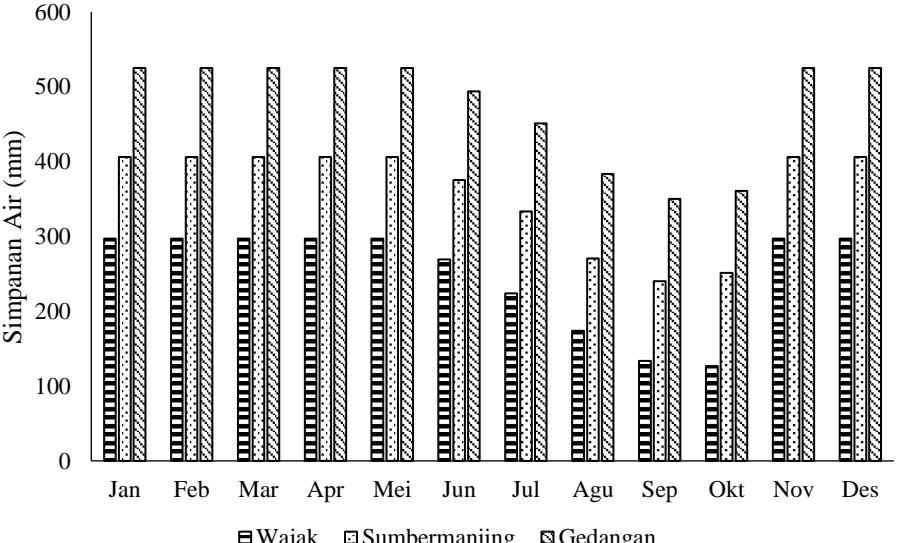
Terdapat hubungan antara nilai P dengan ET<sub>p</sub> dapat menggambarkan periode bulan surplus dan defisit air. Jika P>ET<sub>p</sub> maka terjadi peningkatan kadar air tanah sehingga air cukup tersedia bahkan melebihi batasan kemampuan tanah menahan air (surplus). Sedangkan jika P<ET<sub>p</sub> maka kandungan air dalam tanah berkurang mencapai keadaan defisit (Ayu *et al.*, 2013). Surplus di Kecamatan Wajak memiliki nilai paling tinggi dibanding 2 lokasi lain. Surplus di lokasi Wajak mencapai 1218 mm tahun<sup>-1</sup> dengan periode berlangsung mulai bulan Oktober sampai Mei. Sedangkan di Kecamatan Sumbermanjing dan Gedangan masing-masing sebesar 988 mm tahun<sup>-1</sup> dan 979 mm tahun<sup>-1</sup> yang terjadi mulai bulan November sampai Mei. Dalam neraca air, dikenal masa *recharge* atau pengisian kembali yang berlangsung pada awal bulan basah setelah berakhirnya periode bulan kering. Pada masa tersebut tanah belum mencapai kapasitas lapangan sehingga tidak terdapat surplus air karena kadar air tanah yang rendah (Priyono, 2009), sedangkan curah hujan belum cukup mensuplai jumlah air yang hilang. Masa tersebut terjadi di lokasi Sumbermanjing dan Gedangan saat bulan Oktober.

Hasil analisis laboratorium (Lampiran 7) menunjukkan tanah di lokasi Wajak dominan (>50%) fraksi pasir dengan kapasitas menahan air sebesar 297 mm<sup>-1</sup>. Berbeda dengan tanah di lokasi Sumbermanjing yang komposisi tekturnya berimbang antara debu dan liat serta tanah di lokasi Gedangan yang lebih dominan (>50%) fraksi liat dengan kapasitas menahan air sebesar 525 mm<sup>-1</sup>. Menurut

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository

Intara *et al.* (2011) tanah bertekstur halus memiliki komposisi pori meso serta mikro lebih besar dan keduanya memiliki peran menahan air dalam tanah. Surplus di ketiga lokasi studi hampir mencapai 50% dari total curah hujan dalam setahun dan paling tinggi terjadi pada bulan Desember. Menurut Ayu *et al.*, (2013) kelebihan hujan atau surplus setelah kapasitas tanah menahan air terpenuhi akan mengalir sebagai limpasan (*run off*), nilai tersebut menjadi informasi penting mengenai besarnya sumberdaya air yang terbuang sehingga dapat dijadikan dasar pertimbangan manajemen untuk meningkatkan cadangan air. Hasil perhitungan defisit air juga menunjukkan nilai tertinggi terjadi di lokasi Wajak. Namun, jika dibandingkan dengan surplus maka defisit yang terjadi jauh lebih rendah dibanding surplus. Hal tersebut disebabkan kondisi iklim di Kabupaten Malang yang tergolong agak basah dengan curah hujan cukup tinggi bahkan mencapai  $2500 \text{ mm tahun}^{-1}$ . Nilai defisit air di lokasi Wajak yaitu sebesar  $83 \text{ mm tahun}^{-1}$  dengan periode berlangsung selama 5 bulan mulai bulan Juni sampai Oktober. Sedangkan di lokasi Sumbermanjing dan Gedangan masing-masing sebesar  $64 \text{ mm tahun}^{-1}$  dan  $38 \text{ mm tahun}^{-1}$  yang berlangsung selama 4 bulan mulai bulan Juni sampai September. Defisit diperoleh dari selisih nilai ET<sub>p</sub> dan ET<sub>a</sub> yang dapat mengindikasikan jumlah air yang dibutuhkan agar ET<sub>a</sub> dapat mencapai ET<sub>p</sub>. Kondisi tersebut dapat terjadi karena minimnya hujan (Sentelhas *et al.*, 2012).



Gambar 11. Simpanan Air dalam Tanah di 3 Lokasi Studi Setiap Bulan

29

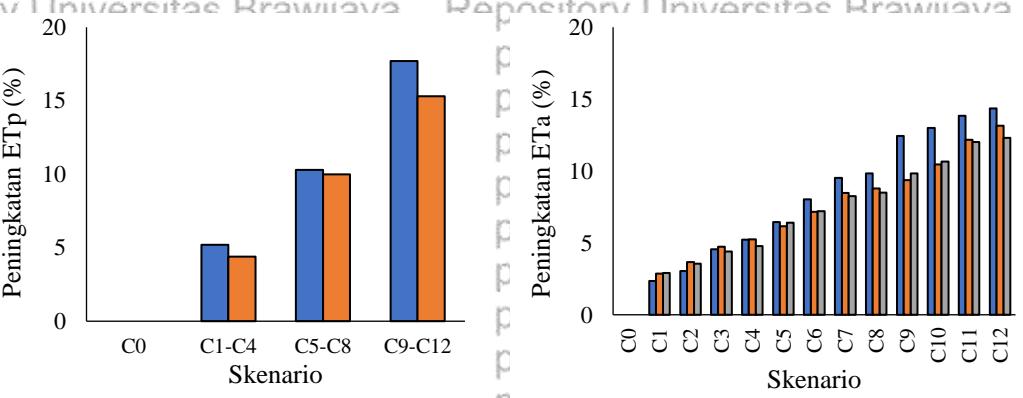
Simpanan air berbanding terbalik dengan surplus yang terjadi. Hasil perhitungan membuktikan bahwa di lokasi Wajak dengan tekstur tanah dominan pasir memiliki nilai ST sebesar  $3007 \text{ mm tahun}^{-1}$ , paling rendah dibanding lokasi Sumbermanjing dan Gedangan yang memiliki kapasitas menahan air lebih baik dimana masing-masing lokasi memiliki ST sebesar  $4313 \text{ mm tahun}^{-1}$  dan  $5714 \text{ mm tahun}^{-1}$ . Selama bulan November sampai Mei, simpanan air tanah di lokasi Wajak, Sumbermanjing, dan Gedangan mampu mencapai kapasitas lapangan yang masing-masing sebesar  $297 \text{ mm m}^{-1}$ ,  $402 \text{ mm m}^{-1}$ , dan  $525 \text{ mm m}^{-1}$ . Saat memasuki bulan Juni, ST berangsur menurun yang puncaknya terjadi pada bulan September seiring dengan peningkatan potensi kehilangan air (Ayu *et al.*, 2013).

#### 4.3. Dampak Perubahan Iklim terhadap Neraca Air

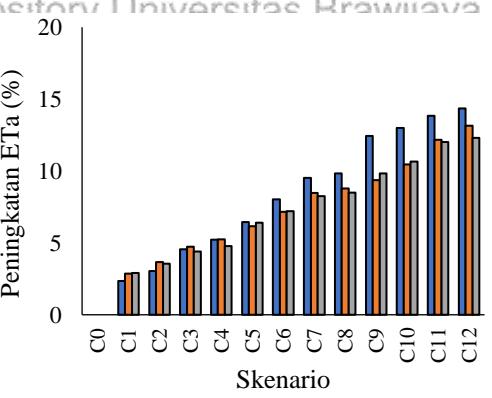
Neraca air dipengaruhi oleh evapotranspirasi, curah hujan, serta perbedaan kemampuan tanah menahan air (Thornthwaite-Mather, 1957). Adanya peningkatan suhu dan perubahan hujan sebagai dampak perubahan iklim serta perbedaan kondisi tanah di 3 lokasi penelitian jelas berpengaruh terhadap perubahan neraca air.

##### 4.3.1. Evapotranspirasi Potensial dan Aktual

Hasil perhitungan menunjukkan peningkatan suhu dan perubahan hujan berpengaruh terhadap nilai ET<sub>p</sub> dan ET<sub>a</sub> pada setiap skenario perubahan iklim di 3 lokasi penelitian. Terlihat bahwa ET<sub>p</sub> akan semakin tinggi seiring peningkatan suhu (Gambar 11).



Gambar 12. Evapotranspirasi Berdasarkan Skenario Perubahan Iklim



Pada kondisi aktual, nilai ET<sub>p</sub> berkisar  $1271\text{--}1373 \text{ mm tahun}^{-1}$ , seiring peningkatan suhu sebesar  $2^{\circ}\text{--}6^{\circ}\text{C}$  maka terjadi peningkatan nilai ET<sub>p</sub> di ketiga

lokasi sebesar 4,4-17,7% dari kondisi aktual. Peningkatan ET<sub>p</sub> tertinggi terjadi pada skenario C9-C12 yang merupakan skenario dengan peningkatan suhu paling tinggi ( $\Delta T = +6^\circ \text{C}$ ). Hasil penelitian Santos dan Sentelhas (2012) juga menunjukkan kecenderungan yang sama.

ETa pada setiap skenario perubahan iklim memiliki nilai lebih bervariasi dibandingkan ETp dikarenakan perbedaan faktor yang mempengaruhi. Selain ETp, perubahan jumlah hujan serta  $\Delta ST$  pada setiap skenario secara langsung berpengaruh pada perubahan nilai ETa (Santos dan Sentelhas, 2012). Hasil perhitungan menunjukkan nilai ETa berbanding lurus dengan nilai ETp, curah hujan dan  $\Delta ST$ . Semakin tinggi nilai masing-masing faktor tersebut maka ETa juga semakin tinggi. Menurut Ayu *et al.* (2013) besarnya nilai ETa cenderung mengikuti sebaran hujan, karena kejadian transpirasi berkaitan dengan ketersediaan air tanah pada daerah perakaran. Jika kadar air tanah menurun maka terjadi tahanan untuk proses evapotranspirasi. Secara keseluruhan, peningkatan ETa terendah di semua lokasi terjadi pada skenario C1 ( $\Delta T = +2^\circ C$ ;  $\Delta CH = -10\%$ ) yaitu sebesar 0,7-3,7% sedangkan peningkatan ETa paling tinggi di semua lokasi adalah pada skenario C12 ( $\Delta T = +6^\circ C$ ;  $\Delta CH = +10\%$ ) yaitu sebesar 12,7-13,6 %. Hasil serupa sebelumnya juga dilaporkan oleh Santos dan Sentelhas (2012).

Berdasarkan klasifikasi iklim, Kabupaten Malang termasuk kedalam daerah beriklim agak basah dengan curah hujan rata-rata yang cukup tinggi berkisar antara 2329-2406 mm tahun<sup>-1</sup>. Tingginya curah hujan tersebut berpengaruh pada masukan air sehingga terdapat periode dimana air yang hilang melalui evapotranspirasi akan tertutup oleh jumlah air hujan yang lebih besar serta terdapat periode dimana jumlah air hujan yang lebih kecil sehingga belum cukup menutup jumlah air yang hilang karena evapotranspirasi.

#### 4.3.2 Surplus dan Defisit

Surplus merupakan jumlah air yang tidak mampu ditampung dalam tanah akibat nilai ET<sub>p</sub> yang lebih rendah dibanding curah hujan serta batasan kemampuan tanah menampung air sehingga mengindikasikan jumlah sumberdaya air yang hilang juga tanah telah dalam kondisi kapasitas lapangan. Sedangkan defisit merupakan selisih nilai ET<sub>p</sub> dan ET<sub>a</sub> yang mengindikasikan jumlah air yang

merupakan selisih nilai  $ET_p$  dan  $ET_a$  yang mengindikasikan jumlah air yang

Repository Universitas Brawijaya  
dibutuhkan agar ET<sub>a</sub> dapat mencapai ET<sub>p</sub>. Kondisi tersebut dapat terjadi karena minimnya hujan (Sentelhas, Santos dan Machado, 2012).

Pada Tabel 11 terlihat bahwa surplus terjadi sebanyak 5-7 kali dalam setahun, sedangkan defisit terjadi sebanyak 4-6 kali dalam setahun. Periode surplus rata-rata berlangsung mulai bulan November sampai Mei yang merupakan periode bulan basah (P>ET<sub>p</sub>). Pada skenario C1, C5, dan C9 yang merepresentasikan penurunan curah hujan terendah PS terjadi lebih sedikit dibanding skenario lainnya. Hal tersebut dikarenakan terdapat masa *recharge* atau peralihan dari akhir bulan kering ke bulan basah yang mengakibatkan air dalam tanah tidak mencapai kapasitas lapangan sehingga tidak terdapat surplus air (Priyono, 2009). Peningkatan suhu disertai penurunan curah hujan 10% menyebabkan kondisi P<ET<sub>p</sub> sehingga periode surplus akan berkurang bahkan bergeser menjadi defisit. Periode defisit rata-rata berlangsung mulai bulan Juni sampai Oktober yang merupakan periode bulan kering. Periode tersebut lebih sering terjadi pada setiap skenario dengan penurunan curah hujan terendah.

Tabel 9. Surplus dan Defisit Tahunan Berdasarkan Skenario Perubahan Iklim

Skenario	Wajak		Sumbermanjing		Gedangan				
	Surplus	Defisit	Surplus	Defisit	Surplus	Defisit			
	mm bln	mm bln	mm bln	mm bln	mm bln	mm bln			
C0	1218	7 83	5	988	7 64	4	979	7 38	4
C1	947	6 119	5	718	5 79	5	703	5 64	5
C2	1058	7 110	5	822	6 67	5	809	6 54	5
C3	1280	7 91	5	1039	7 52	4	1029	7 42	4
C4	1392	7 82	5	1149	7 44	4	1140	7 36	4
C5	902	6 131	5	670	5 98	5	652	5 80	5
C6	1012	7 110	5	771	5 83	5	755	5 67	5
C7	1233	7 89	5	983	6 63	4	971	6 51	4
C8	1344	7 83	5	1092	7 57	4	1081	7 46	4
C9	834	6 142	5	620	5 121	5	599	5 99	5
C10	944	6 130	5	720	5 104	5	701	5 85	5
C11	1164	7 117	5	924	6 77	5	910	6 63	5
C12	1274	7 108	5	1032	6 59	4	1019	6 56	4

Keterangan : bln = bulan

Secara umum peningkatan nilai surplus selalu diikuti dengan penurunan nilai defisit. Pada kondisi aktual, surplus air berkisar  $979-1.218 \text{ mm tahun}^{-1}$  dan

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository

jauh lebih tinggi dibanding defisit yang hanya berkisar 38-83 mm tahun<sup>-1</sup>. Surplus dan defisit di setiap lokasi mengalami fluktuasi tergantung skenario perubahan iklim. Pada skenario C9 ( $\Delta T = +6^\circ \text{C}$ ;  $\Delta CH = -10\%$ ), surplus di ketiga lokasi mengalami penurunan sebesar 32,9-41,1% diikuti dengan peningkatan defisit air 82-165,5% dari kondisi aktual akibat meningkatnya ET<sub>p</sub>. Sedangkan pada skenario C4 ( $\Delta T = +2^\circ \text{C}$ ;  $\Delta CH = +10\%$ ), surplus di ketiga lokasi mengalami peningkatan sebesar 13,2-16,6% diikuti dengan penurunan defisit sebesar 3,4-34% dari kondisi aktual seiring bertambahnya curah hujan.

Curah hujan di Kabupaten Malang yang tergolong cukup tinggi menjadikan nilai surplus jauh lebih besar dibandingkan defisit air. Meskipun memberikan pengaruh terhadap neraca air, namun apabila dibandingkan penelitian pada daerah beriklim kering dengan curah hujan yang sangat rendah maka pengaruhnya jauh lebih kecil. Hal tersebut dibuktikan oleh hasil penelitian Santos dan Sentelhas (2010) dimana perubahan iklim mengakibatkan periode defisit lebih sering terjadi bahkan hampir di setiap bulan selalu mengalami defisit air.

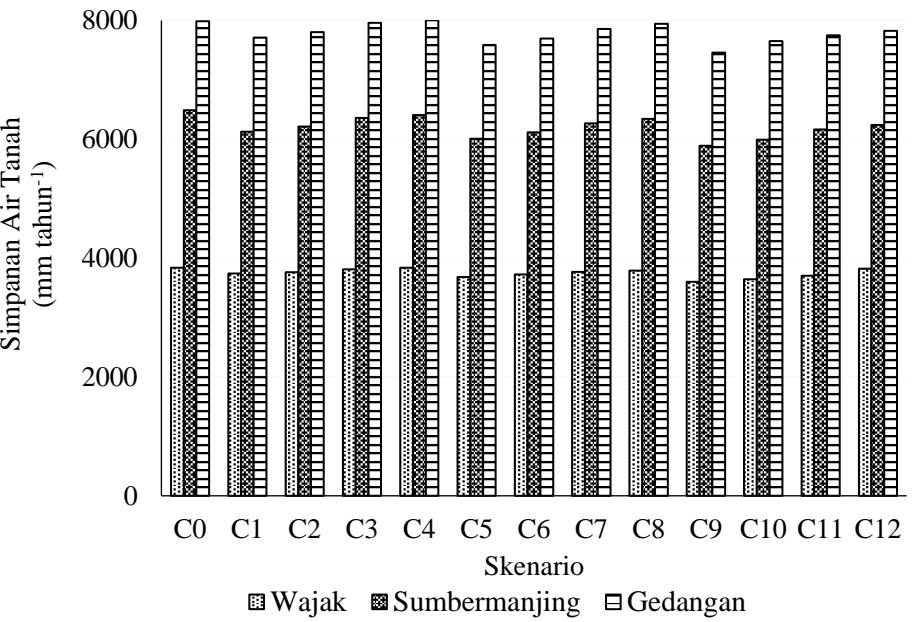
Perbedaan tekstur tanah ketiga lokasi juga berperan dalam menentukan periode dan nilai surplus. Tanah Wajak yang dominan pasir memiliki kapasitas lapangan lebih rendah dibanding tanah 2 lokasi lainnya, dengan curah hujan tinggi banyak air yang tidak tertampung dalam tanah, hal tersebut menyebabkan PS lebih sering terjadi dengan nilai yang lebih tinggi dibanding 2 lokasi lainnya. Menurut Intara *et al.* (2011), tekstur tanah berperan dalam menentukan kemampuan tanah menahan air. Setiap fraksi tekstur tanah memiliki gaya ikat antar partikel (adhesi dan kohesi) yang berbeda sehingga berpengaruh pada kemampuan tanah dalam menahan air.

#### **4.3.3. Simpanan Air Tanah**

Hasil perhitungan neraca air Thornthwaite-Mather (1957) menghasilkan jumlah air yang tersimpan dalam tanah (ST) setiap bulan. Peningkatan suhu dan fluktuasi hujan berpengaruh terhadap simpanan air dalam tanah. Nilai ST keseluruhan mengalami penurunan dibanding kondisi aktual pada semua skenario perubahan iklim kecuali pada skenario C4 ( $\Delta T = +2^\circ \text{C}$ ;  $\Delta CH = +10\%$ ) di Gedangan yang sedikit mengalami peningkatan dari kondisi aktual yaitu sebesar 0,4%. Hal tersebut berkaitan dengan peningkatan curah hujan yang semakin jauh melampaui

33

Repository Universitas Brawijaya



Gambar 13. Simpanan Air Tanah Lokasi Studi Berdasarkan Skenario Perubahan Iklim

Perbedaan kondisi tanah terlihat jelas berpengaruh terhadap nilai ST. Tanah wajak yang dominan pasir memiliki ST berkisar  $3601\text{-}3838 \text{ mm tahun}^{-1}$ , jauh lebih rendah dibanding tanah Sumbermanjing yang berkisar  $5891\text{-}6489 \text{ mm tahun}^{-1}$  dan tanah Gedangan yang berkisar  $7457\text{-}8011 \text{ mm tahun}^{-1}$ . Menurut Ayu *et al.* (2013) nilai ST berada diantara nol dan kapasitas maksimum tanah menyimpan air yang ditentukan oleh porositas tanah dan kedalaman akar. Tanah berpasir memiliki

evapotranspirasi potensial, sehingga periode surplus berlangsung lebih sering dibanding skenario lainnya. Selain itu, tanah Gedangan di dominasi fraksi liat yang memiliki proporsi pori mikro tinggi sehingga kemampuan menahan airnya lebih tinggi dibanding 2 lokasi lainnya.

Sedangkan penurunan ST di semua lokasi berkisar antara 0,4-9,2 % dibanding kondisi aktual. Penurunan ST tertinggi di semua wilayah terjadi pada skenario C9 ( $\Delta T = +6^\circ\text{C}$ ;  $\Delta CH = -10\%$ ) sebesar 6,2-9,2%. ST pada setiap periode sangat dipengaruhi oleh curah hujan dan besarnya evapotranspirasi. Pada periode bulan kering, nilai ST perlamban menurun dari ST pada periode peralihan seiring dengan meningkatnya potensi kehilangan air (APWL) akibat evapotranspirasi. ST kemudian akan meningkat dan mencapai kapasitas maksimum seiring bertambahnya masukan berupa hujan karena telah memasuki periode bulan basah.

proporsi pori meso dan mikro yang relatif rendah sehingga kemampuan tanah menahan air juga rendah.

#### **4.4. Ketersediaan Air untuk Tanaman Tebu**

Perhitungan neraca air Thornthwaite-Mather menghasilkan nilai jumlah air yang tersimpan dalam tanah (ST) pada kondisi kapasitas lapangan setiap bulan.

Namun, tanah memiliki batasan titik layu permanen ( $pF 4,2$ ) dalam menyediakan air bagi tanaman (Chang dan Okimoto, 2010), sehingga simpanan air tanah yang berada dibawah titik tersebut tidak dapat dimanfaatkan oleh tanaman.

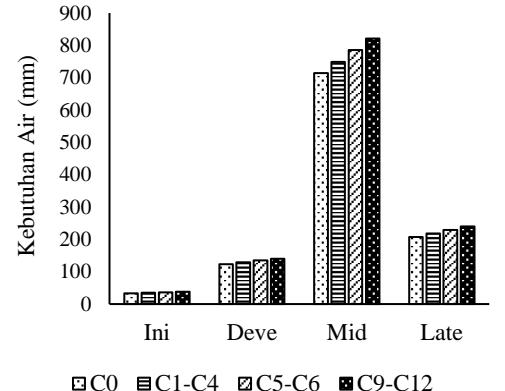
##### **4.4.1. Kebutuhan Air Tanaman Tebu**

Kebutuhan air tanaman merupakan jumlah air yang diperlukan tanaman dalam setiap fase tumbuh untuk menutupi kehilangan air akibat evapotranspirasi (Doorenbos dan Kasam, 1979). Besarnya nilai kebutuhan air ditentukan oleh jenis, fase tumbuh, lama fase tumbuh tanaman dan kondisi iklim wilayah (Allen *et al.*, 1998). Fase tumbuh tanaman secara umum dapat dibagi menjadi 4 fase yaitu fase *initial*, *development*, *middle* yang merupakan fase vegetatif dan fase *late* yang merupakan fase generatif tanaman. Untuk tanaman tebu, kebutuhan air tertinggi berada pada fase *middle* yang merupakan fase kritis tanaman dan berlangsung sangat lama tepatnya 180 hari atau pada saat tanaman tebu berumur 4 sampai 9 bulan sedangkan yang paling rendah yaitu pada fase *initial* yang berlangsung selama 20 hari (Allen *et al.*, 1998; Asriaseri dan Panjaitan, 1998).

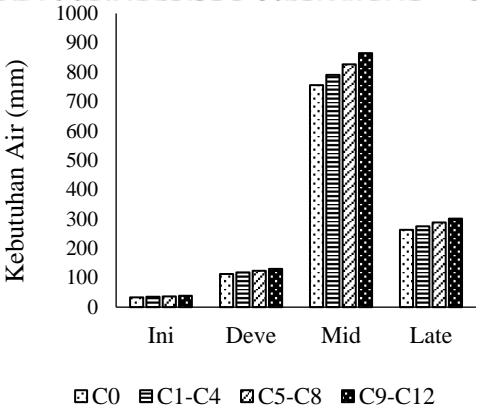
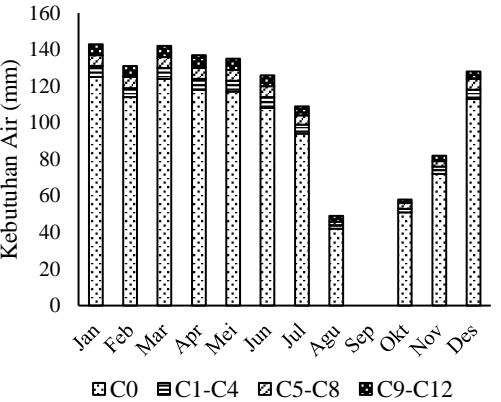
Kebutuhan air tanaman dipengaruhi oleh kondisi iklim di suatu wilayah. Kebutuhan air setiap waktu berfluktuasi mengikuti besarnya nilai ETP dan fase tumbuh tanaman sehingga pemilihan waktu tanam juga berperan penting dalam menentukan besarnya kebutuhan air tanaman (Chowdhury *et al.*, 2013). Pada kondisi aktual, kebutuhan air tanaman tebu di lokasi Wajak sebesar  $1077 \text{ mm musim}^{-1}$ , lebih kecil dibanding 2 lokasi lain yang mencapai  $1165 \text{ mm musim}^{-1}$ . Hal tersebut disebabkan karena laju evapotranspirasi di daerah Sumbermajing dan Gedangan lebih tinggi dibanding Wajak.

35

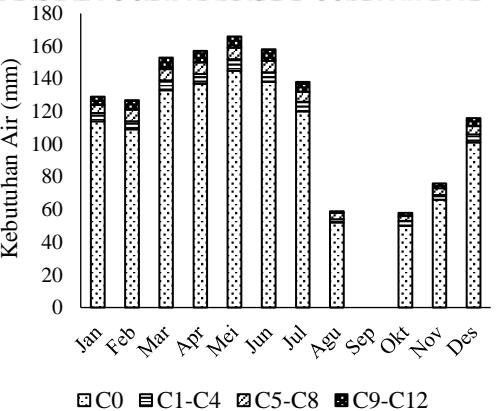
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya



Repository Universitas Brawijaya  
Wajak 36



**Sumbermanjing dan Gedangan**



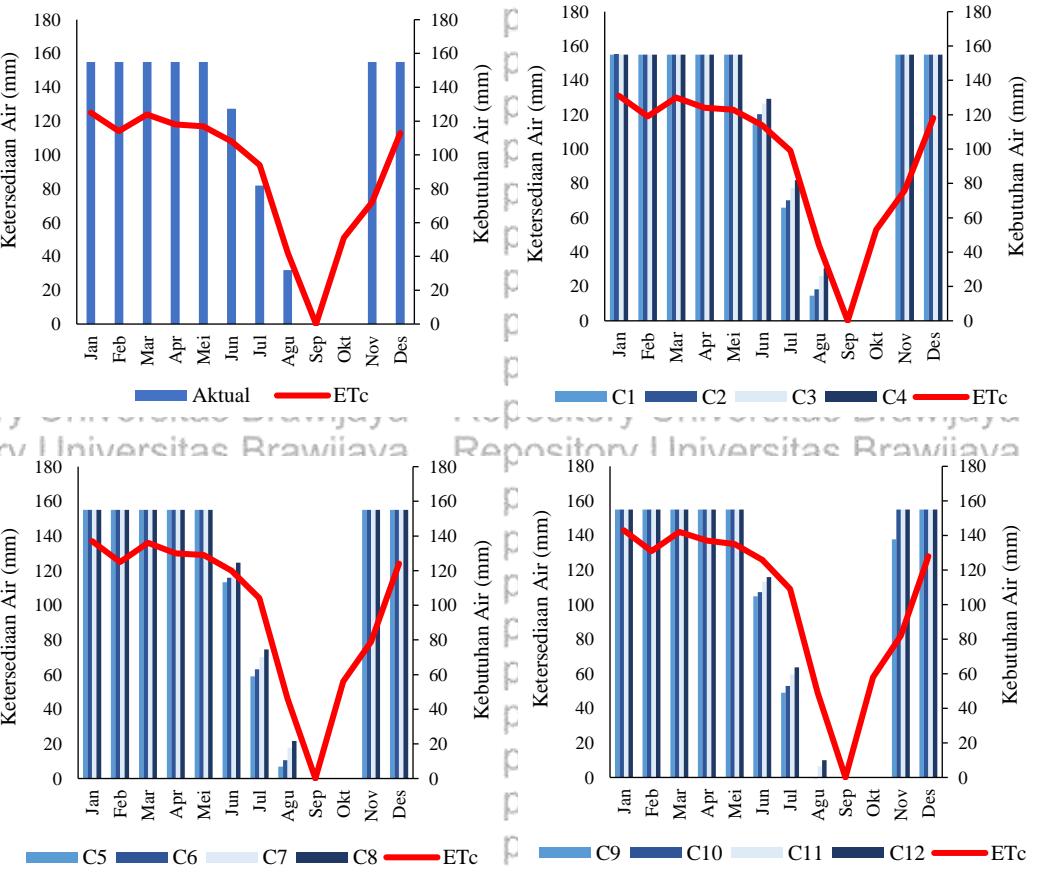
Gambar 14. Kebutuhan Air Tanaman Setiap Fase Pertumbuhan (Kiri) dan Bulanan (kanan) berdasarkan Skenario Perubahan Iklim

Gambar 13 merupakan grafik kebutuhan air tanaman yang menunjukkan peningkatan seiring kenaikan suhu udara. Hal ini sesuai dengan Chowdhury *et al.* (2013) yang menjelaskan bahwa kebutuhan air tanaman lebih sensitif terhadap perubahan dan cenderung meningkat saat suhu mengalami kenaikan. Peningkatan suhu sebesar  $2^{\circ}$ - $6^{\circ}$  C mampu meningkatkan kebutuhan air tanaman sebesar 5-15% dari kondisi aktual. Terlihat pada gambar, kebutuhan air bulanan meningkat mengikuti tingkat pertumbuhan tanaman tebu (Oktober-Januari), kemudian berangssur turun pada fase perkembangan (Maret-Agustus) dan mencapai 0 pada bulan September yang artinya telah dilakukan pemanenan.

#### 4.4.2. Pemenuhan Kebutuhan Air Tanaman

Thorntwaite-Mather (1957) berpendapat bahwa selisih curah hujan dan evapotranspirasi sebagian akan mengisi lapisan tanah dan dapat mencapai kapasitas

lapangan. Dalam pertanian, air tersedia bagi tanaman berada pada kisaran kapasitas lapangan dan titik layu permanen sehingga kebutuhan air dapat terpenuhi apabila air tersedia melebihi kebutuhan air tanaman. Hasil perhitungan menunjukkan ketersediaan air tanah pada masing-masing lokasi memiliki perbedaan sehingga berpengaruh terhadap pemenuhan kebutuhan air tanaman. Gambar 14, 15, dan 16 merupakan grafik yang menunjukkan pemenuhan ETc tebu setiap bulan pada ketiga lokasi studi berdasarkan air tersedia dan kebutuhan air tanaman. Data lengkap tersedia dalam Lampiran 13, 14, 15.

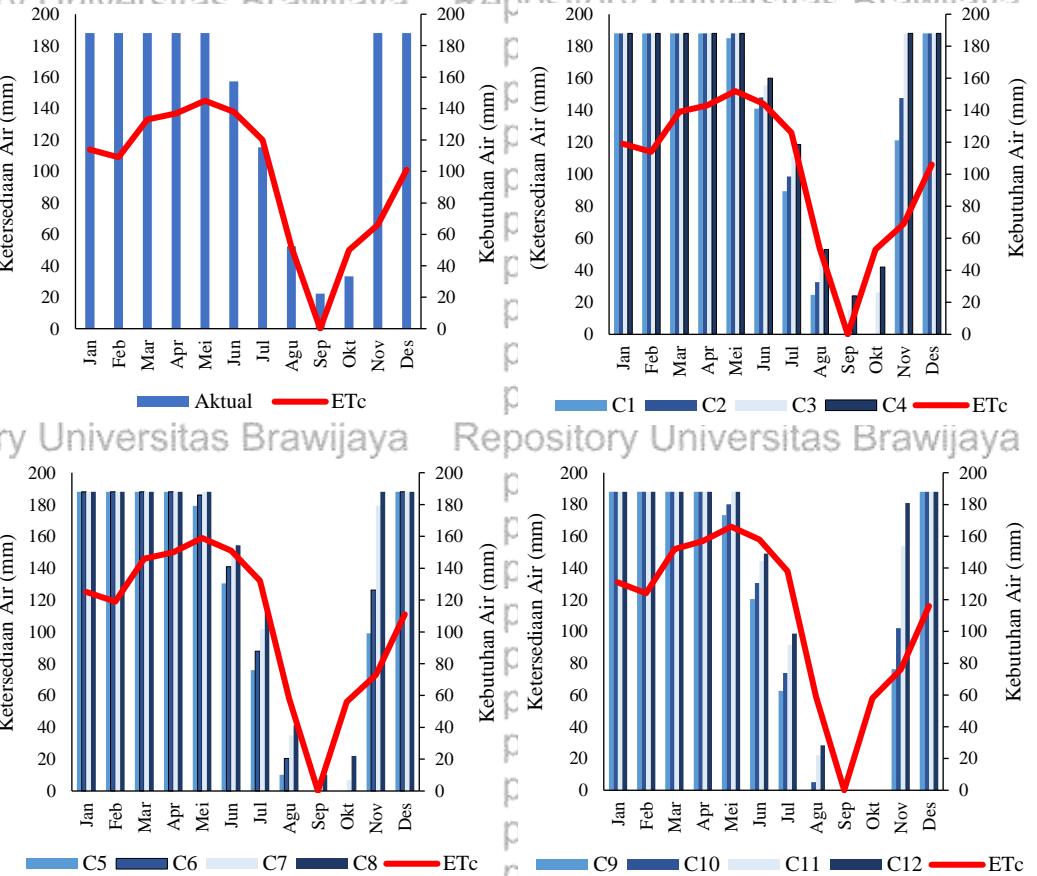


Gambar 15. Ketersediaan dan Kebutuhan Air Tanaman di Lokasi Wajak

Perubahan iklim memberikan pengaruh terhadap pemenuhan kebutuhan air terutama saat memasuki bulan kering. Peningkatan suhu disertai penurunan curah hujan menyebabkan ketersediaan air semakin berkurang (Hoogenboom, 2000) sehingga tanaman kekurangan air pada beberapa fase pertumbuhan. Hal tersebut mulai ditunjukkan pada skenario C5 dan C6. Peningkatan suhu sebesar  $4^{\circ}\text{C}$  disertai penurunan curah hujan 5-10% mampu menyebabkan ketersediaan air selama 3 bulan kering (Juni-Agustus) tidak cukup memenuhi kebutuhan air tanaman.

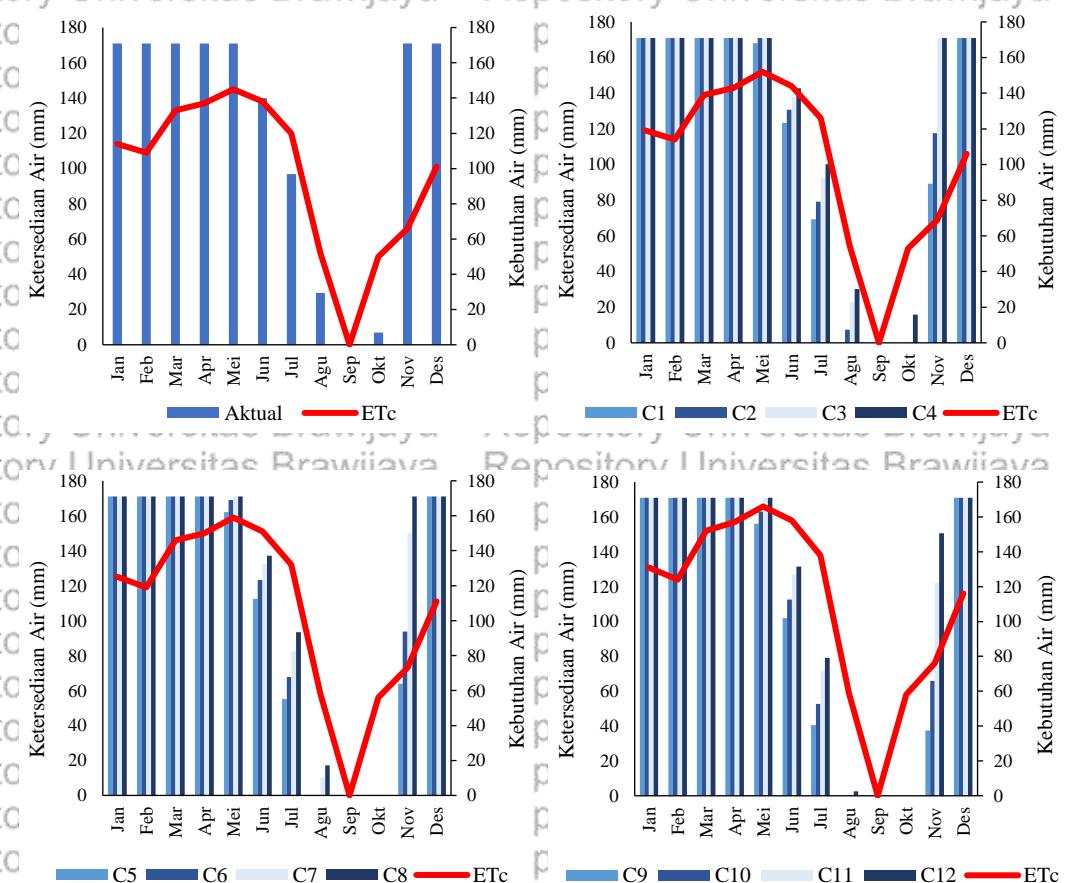


Dampak paling parah ditunjukkan pada skenario C9-C12 yang merupakan skenario dengan peningkatan suhu tertinggi ( $6^{\circ}\text{C}$ ). Bahkan dengan peningkatan curah hujan sebesar 10% tidak mampu memenuhi kebutuhan air tanaman.



Gambar 16. Ketersediaan dan Kebutuhan Air Tanaman di Lokasi Sumbermanjing  
Laju evapotranspirasi di lokasi Sumbermanjing dan Gedangan lebih tinggi

dibanding lokasi Wajak (Tabel 9). Hal tersebut berpengaruh pada kebutuhan air tanaman dan jumlah air yang hilang karena proses evapotranspirasi semakin tinggi sehingga ketersediaan air belum mampu memenuhi kebutuhan air tanaman meskipun curah hujan yang lebih tinggi serta kondisi tanah di 2 lokasi tersebut memiliki kemampuan menahan air yang lebih baik dibanding lokasi Wajak. Serupa dengan kondisi aktual di lokasi Wajak, pada lokasi 2 lokasi tersebut ketersediaan air selama beberapa fase pertumbuhan tidak mampu memenuhi jumlah kebutuhan air tanaman. Namun, dampak perubahan iklim sudah mulai terlihat pada skenario C1 dan C2 dimana ketersediaan air selama 3 bulan fase akhir pertumbuhan (Juni-Agustus) tidak mampu mencukupi kebutuhan air tanaman. Seiring peningkatan



Gambar 17. Ketersediaan dan Kebutuhan Air Tanaman di Lokasi Gedangan

Secara umum, perubahan iklim mulai berdampak terutama pada setiap skenario yang disertai penurunan curah hujan. Peningkatan suhu disertai penurunan curah hujan menyebabkan penurunan ketersediaan air dalam tanah (Priyono, 2017) sehingga tidak mampu mensuplai jumlah kebutuhan air tanaman selama beberapa fase pertumbuhan tanaman tebu. Kebutuhan air pada fase awal (0-30 hari) di semua lokasi studi belum terpenuhi karena tidak adanya air tersedia dalam tanah. Namun, seiring tingkat pertumbuhan tanaman (31-260 hari) ketersediaan air dalam tanah sudah mampu mensuplai kebutuhan air karena masuknya periode bulan basah. Ketersediaan air makin menurun seiring masuknya periode bulan kering (Juni-Agustus) atau tepatnya saat tanaman berada pada fase akhir pertumbuhan.

Untuk tanaman tebu, kebutuhan air tertinggi berada pada fase *middle* atau pemanjangan batang yang merupakan fase kritis tanaman tebu dan berlangsung sangat lama tepatnya 180 hari atau pada saat tanaman tebu berumur 4 sampai 9 bulan (Allen *et al.*, 1998; Asiasruri dan Panjaitan, 1998). Menurut Rochimah *et al.* (2015) tanaman tebu akan tumbuh normal apabila pada fase vegetatif cukup mendapat air. Kekurangan air dapat mengakibatkan perubahan komponen kimia dan fisiologi tanaman yang berdampak pada penurunan laju pertumbuhan, luas daun, penutupan stomata, senesens, dan muncul gejala stres tanaman (Souza dan Marcos, 2004). Menurut Cardozo (2013), tebu memerlukan 2-4 bulan kering untuk menghentikan proses pertumbuhan dan memulai fase pemasakan. Saat tebu kekurangan air pada fase tersebut, konsentrasi sukrosa meningkat hingga 15%. Curah hujan yang berlebihan pada fase ini dapat menurunkan rendemen.

#### 4.5. Potensi Reduksi Hasil

Berbagai penelitian menunjukkan dampak negatif perubahan iklim terhadap penurunan produksi tanaman (Malebajoa, 2010; Cardozo dan Sentelhas, 2013). Potensi reduksi hasil tanaman pada penelitian ini merupakan luaran program CROPWAT 8.0 sebagai respon tanaman terhadap ketersediaan air. Berdasarkan laporan KMDA (2012) produktivitas tebu di daerah Wajak, Sumbermanjing, dan Gedangan masing-masing sebesar 79,4 ton. ha<sup>-1</sup>, 77,2 ton. ha<sup>-1</sup>, dan 82,5 ton. ha<sup>-1</sup> dengan luas area tanam tebu masing-masing 953 ha, 1708 ha, dan 1500 ha. Luas area tanam dan produktivitas diasumsikan masih sama dengan keadaan tersebut, serta mengabaikan faktor fisiologis dan kesuburan sehingga seberapa besar penurunan produksi dapat diperkirakan.

Tabel 13 menunjukkan potensi dampak perubahan iklim terhadap penurunan hasil tanaman tebu di ketiga lokasi studi. Secara umum, potensi penurunan hasil semakin tinggi seiring peningkatan suhu disertai penurunan curah hujan karena menyebabkan kandungan air dalam tanah berkurang sehingga terjadi defisit air dalam tanah. Pada kondisi defisit tanaman dapat mengalami stres (Malebajoa, 2010). Produksi tebu di semua lokasi pada skenario C9 ( $\Delta T = +6^\circ\text{C}$ ;  $\Delta CH = +10\%$ ) berpotensi mengalami penurunan paling besar berkisar 4,1-5,1% dari kondisi aktual.

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

40  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Tabel 10. Potensi Reduksi Hasil Tanaman Tebu

Skenario	Wajak			Sumbermanjing			Gedangan		
	ETC (mm)	ETA (mm)	RP (%)	ETC (mm)	ETA (mm)	RP (%)	ETC (mm)	ETA (mm)	RP (%)
C1	1127,9	1097,2	3,3	1216,6	1190,3	2,6	1216,6	1186,8	2,9
C2	1127,9	1099,3	3	1216,6	1192,3	2,2	1216,6	1192,4	2,4
C3	1127,9	1101,3	2,7	1216,6	1194,4	2,2	1216,6	1196,4	2
C4	1127,9	1102,2	2,5	1216,6	1195,4	2,1	1216,6	1197,2	1,9
C5	1182,4	1144,7	3,8	1272,7	1239,7	3,1	1272,7	1231,3	3,9
C6	1182,4	1149,5	3,3	1272,7	1245,2	2,6	1272,7	1239,7	3,1
C7	1182,4	1154,3	2,9	1272,7	1249,3	2,2	1272,7	1250,8	2,1
C8	1182,4	1155,2	2,8	1272,7	1250,4	2,1	1272,7	1252,3	1,9
C9	1235,9	1187,9	4,7	1330,7	1285,5	4,1	1330,7	1272,9	5,1
C10	1235,9	1194,3	4	1330,7	1294,4	3,3	1330,7	1284,4	4,1
C11	1235,9	1204,2	3,1	1330,7	1305,2	2,3	1330,7	1301,4	2,6
C12	1235,9	1206,8	2,8	1330,7	1307,1	2,1	1330,7	1307,0	2,1

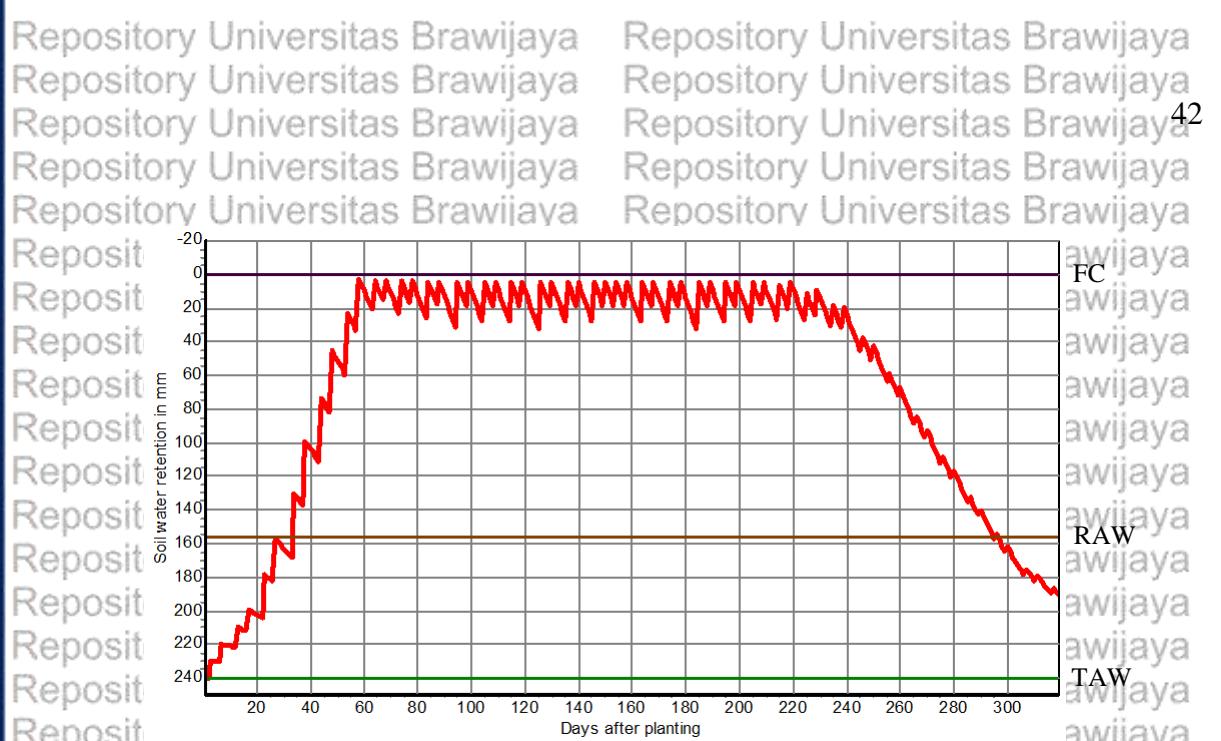
Keterangan : ETc= Evapotranspirasi tanaman; ETa= Evapotranspirasi aktual; RP= Reduksi hasil

Pada masing-masing lokasi, potensi penurunan hasil bervariasi karena perbedaan iklim dan kondisi tanah yang berpengaruh terhadap simpanan air dalam tanah. Produksi tebu di lokasi Wajak berpotensi mengalami penurunan berkisar 2,5-

4,7%. Pada lokasi Sumbermanjing, 2,1-4,1%. Hasil analisis tanah menunjukkan bahwa tanah lokasi Sumbermanjing memiliki kemampuan menyediakan air paling tinggi dibanding tanah di 2 lokasi lain sehingga tanaman mendapatkan air meskipun dalam kondisi kurang. Potensi penurunan hasil paling tinggi berada di lokasi Gedangan yang berkisar 1,9-5,1%. Hal tersebut selain disebabkan karena kemampuan menyediakan air yang lebih rendah juga disebabkan karena suhu di area Karangkates yang lebih panas sehingga nilai evapotranspirasi semakin tinggi.

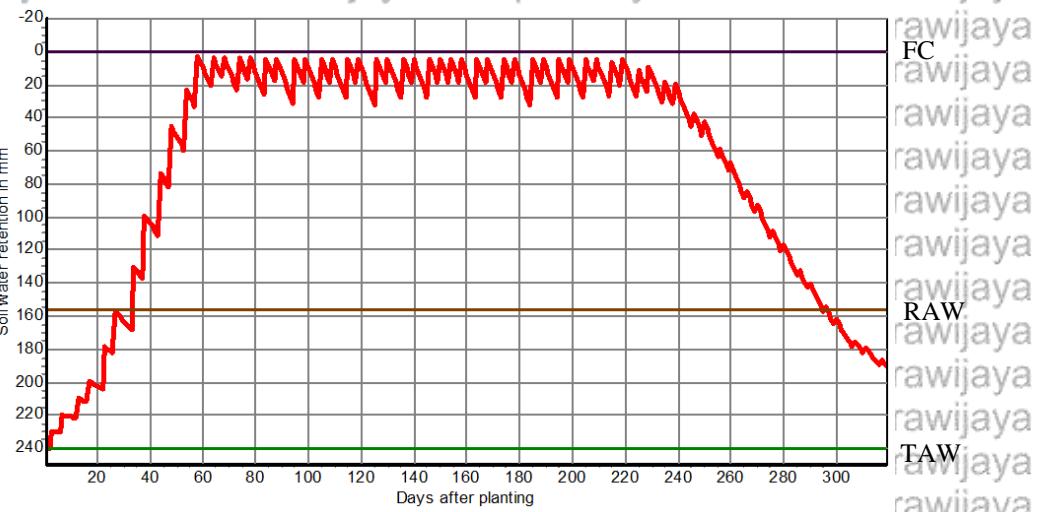
Secara keseluruhan, potensi penurunan di semua lokasi tidak melebihi 10%. Pemilihan waktu tanam tebu berperan dalam menentukan besarnya potensi penurunan hasil, jika pemilihan waktu tanam tepat sesuai kondisi ketersediaan air maka kemungkinan penurunan hasil yang tinggi dapat dihindari (Priyono, 2008;

Malebajoa, 2010; Cardozo, 2012).



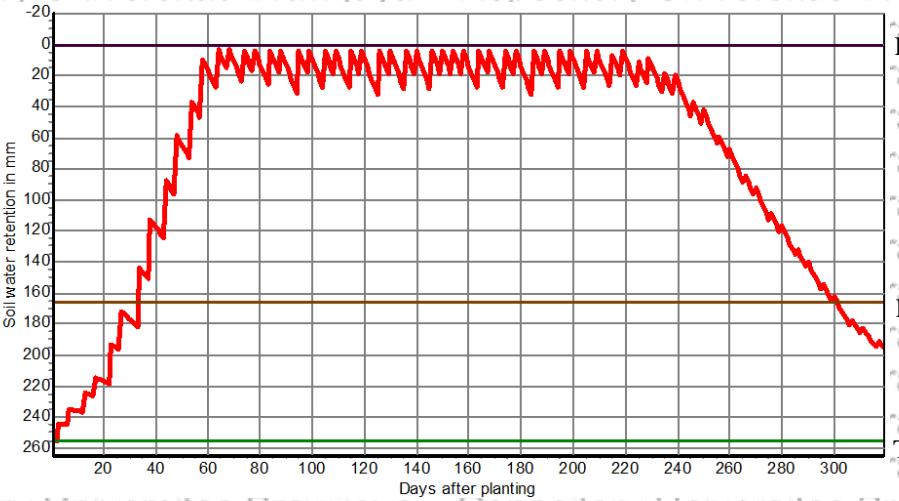
Keterangan : FC= Kapasitas Lapang; RAW = Readily Available Moisture; TAW= Total Available Moisture

Gambar 18. Deplesi Air dalam Tanah di Lokasi Wajak (C9)



Keterangan : FC= Kapasitas Lapang; RAW = Readily Available Moisture; TAW= Total Available Moisture

Gambar 19. Deplesi Air dalam Tanah di Lokasi Sumbermanjing (C9)



Keterangan : FC= Kapasitas Lapang; RAW = *Readily Available Moisture*; TAW= *Total Available Moisture*

Gambar 20. Deplesi Air dalam Tanah di Lokasi Gedangan (Skenario C9)

Gambar 18, 19, dan 20 menunjukkan deplesi atau penurunan kandungan air dalam tanah selama masa tanam tebu di ketiga lokasi pada skenario C9. Garis merah yang semakin turun menunjukkan ketersediaan air dalam tanah semakin berkurang. Terlihat kurva deplesi berangsur turun seiring masuknya periode bulan kering. Air dalam tanah mencapai kondisi tidak tersedia saat tebu memasuki fase akhir. Namun, kebutuhan air tanaman tebu berangsur turun pada saat tanaman memasuki fase generatif hingga fase pemasakan dan siap panen. Hasil penelitian Asriarsruri dan Panjaitan (1998) menunjukkan bahwa kebutuhan air tertinggi terjadi saat tanaman tebu memasuki fase vegetatif atau berumur 4 sampai 9 bulan sehingga diupayakan selama fase tersebut kebutuhan air terpenuhi. Kekurangan air pada fase tersebut dapat mengakibatkan penurunan performa fisiologi seperti ukuran diameter batang yang kecil, serta jarak antar buku relatif pendek yang mengakibatkan tinggi tanaman menjadi kurang sehingga produksi juga menurun. Rochimah *et al.* (2015) menambahkan bahwa fase pematangan batang memerlukan setidaknya 2 hingga 4 bulan kering. Kelebihan air pada fase tersebut sangat merugikan karena berdampak pada penurunan rendemen. Rendemen tebu akan maksimal bila iklim dalam keadaan kering (Cardozo, 2012).

Penurunan hasil bisa juga terjadi akibat faktor kesesuaian lahan terhadap tanaman. Setiap tanaman memiliki batas toleransi terhadap parameter yang menentukan pertumbuhan tanaman termasuk suhu dan curah hujan. Umumnya,



## V. KESIMPULAN DAN SARAN

## 5.1. Kesimpulan

Perubahan iklim berpengaruh terhadap neraca air, pemenuhan kebutuhan air serta potensi penurunan hasil tanaman tebu di Kabupaten Malang. Beberapa poin yang dapat disimpulkan:

1. Skenario dengan peningkatan suhu dan penurunan curah hujan 10% mampu mengurangi periode bulan surplus di semua lokasi studi. Namun, pergeseran menjadi bulan defisit hanya terjadi di lokasi Sumbermanjing dan Gedangan.
  2. Kebutuhan air tanaman meningkat 5-15% seiring peningkatan suhu udara sebesar  $2^{\circ}$ - $6^{\circ}$  C, sehingga berdampak pada ketersediaan air selama periode bulan kering tidak mencukupi kebutuhan air tanaman.
  3. Potensi reduksi hasil tanaman tebu di lokasi Gedangan paling tinggi hingga mencapai 5,1% pada skenario C9 ( $\Delta T +6^{\circ}$  C dan  $\Delta CH -10\%$ ). Kemampuan tanah menahan air yang tinggi tidak menjamin potensi reduksi rendah karena tergantung pada kondisi iklim.

## 5.2. Saran

Kedalaman pengambilan sampel tanah perlu lebih detail serta dilakukan pengulangan agar diperoleh nilai retensi air yang lebih representatif kondisi aktual di lahan. Stasiun klimatologi lebih baik diseragamkan supaya dapat diketahui lebih jelas bagaimana perbedaan pengaruh dari tekstur tanah terhadap pemenuhan kebutuhan air.

Berdasarkan hasil simulasi, beberapa hal dapat diterapkan untuk menghindari potensi reduksi hasil karena kebutuhan air tanaman tidak tercukupi mulai dari pemilihan waktu tanam, penerapan konservasi tanah dan air di lahan tebu, panen air dengan meningkatkan resapan maupun pembangunan jaringan irigasi, serta pengembangan varietas tebu yang tahan kondisi cekaman air dan suhu tinggi.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Aldriah, E., and R. D. Susantio. 2003. Identification of Three Dominant Rainfall Regions within Indonesia and Their Relationship to Sea Surface Temperature. *Int. J. Climatol.* 23: 1435–1452
- Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop Evapotranspiration Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage p. 56
- Asriasmuri, H., dan N. H. Panjaitan. 1998. Kebutuhan Air Tanaman Tebu dan Hubungannya dengan Cara Pemberian Secara Curah dan Tetes. *Buletin Keteknikan Pertanian* 12(1)
- Ayu, I. W., S. Priyono, dan Soemarno. 2013. Evaluasi Ketersediaan Air Tanah Lahan Kering di Kecamatan Unter Iwes, Sumbawa Besar. *J-PAL*, 4(1);18-25
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2017. Luas Tanaman Perkebunan Menurut Propinsi dan Jenis Tanaman, Indonesia, 2012-2015. Jakarta: Badan Pusat Statistik
- Banik P., N. K. Tiwari, and R. Subodh. 2014. Comparative Crop Water Assessment Using CROPWAT. *International Journal of Sustainable Materials, Processes & ECO-Efficient – IJSMPE*, 1(3):1-9
- Blanc, E. 2012. The Impact of Climate Change on Crop Yield in Sub-Saharan Africa. *American Journal of Climate Change*. 1:1-13
- Bonnett G.T., M. L. Hewitt, and D. Glassop. 2006. Effects of High Temperature on the Growth and Composition of Sugarcane Internodes. *Australian J. Agric. Res.* 57(10): 1087-1095.
- Cardozo, N. P and P. C. Sentelhas. 2013. Climatic Effects on Sugarcane Ripening Under the Influence of Cultivar and Crop Age. *Scl. Agric.* 70(6): 449-456
- Cardozo, N. P. 2012. Modelling Sugarcane Ripening as Function of Meteorological Variables. 59(12):1913-1925
- Chang, J. H., and G. Okimoto. 2010. Global Water Balance According to the Penman Approach. *Water Resource Research Center*
- Chowdhury, S., Al-Zahrani, and M. Abdullah, A. 2013. Implications of Climate Change on Crop Water Requirements in Arid Region: An Example of Al-Jouf, Saudi Arabia. Saudi Arabia: Department of Civil and Environmental Engineering, Water Research Group, King Fahd University of Petroleum and Mineral Dhahran
- Direktorat Jenderal Perkebunan. 2015. Statistik Perkebunan Indonesia 2013-2015, Tebu. Jakarta: Direktorat Jenderal Perkebunan
- De Souza A. P., M. Gaspar, E. A. Da Silva, E. C. Ulian, A. J. Wacławowsky, M. Y. Nishiyama Jr., R. V. Dos Santos, M. M. Teixeira, G. M. Souza, M. S. Buckeridge. 2008. Elevated CO<sub>2</sub> Increases Photosynthesis, Biomass and

- 47

Productivity, and Modifies Gene Expression in Sugarcane, Plant, Cell and Environment (31): 1116–1127

De Souza A.P., and M. S. Buckeridge. 2014. "Photosynthesis in Sugarcane and Its Strategic Importance to Face the Global Climatic Change", Sugarcane bioethanol — R&D for Productivity and Sustainability, pp. 359–364

Doorenbos, J., and A. N. Kassam. 1979. Yield Response to Water. FAO Irrigation and Drainage, Paper 33

[FAO] Food and Agriculture Organization. 2009. CROPWAT Software, Food and Agriculture Organization, Land and Water Division; <http://www.fao.org/nr> (diakses pada 9 Maret 2017)

Guo, R., Z. Lin, X. Mo, and C. Yang. 2010. Responses of Crop Yield and Water Use Efficiency to Climate Change in the North China Plain. Agric. Water Manage. (97): 1185–1194.

Hairiah, K., dan S. Azhari. 2013. Pertanian Masa Depan : Agroforestri, Manfaat, dan Layanan Lingkungan. Malang: Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya

Hanafiah, K. A. 2012. Dasar-Dasar Ilmu Tanah. Jakarta: PT Rajagrafindo Persada.

Hoogenboom, G. 2000. Contribution of Agrometeorology to the Simulation of Crop Production and Its Applications. Agric. and Forest Meteoro. 103:137–157.

Intara, Y. I., Asep, S., Erizal, Namaken, S., dan M. H. Bintoro, D. 2011. Pengaruh Pemberian Bahan Organik pada Tanah Liat dan Lempung Berliat terhadap Kemampuan Mengikat Air. Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia 16(2):130–135

[IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

[KMDA] Kabupaten Malang Dalam Angka. 2012. Kabupaten Malang Dalam Angka Tahun 2012 Edisi 2013. Malang: Pemerintah Kabupaten Malang

Kang, S., W. A. Payne, S. R. Evett, C. A. Robinson, and B. A. Stewart. 2009. Simulation of Winter Wheat Evapotranspiration in Texas and Henan Using Three Models of Differing Complexity. Agric. Water Manag 96:167–178

Kreslavski, V. D., Carpentier, R., Klimov, V. V., Murata, N., and Allakhverdiev, S.I. 2007. Molecular Mechanisms of Stress Resistance of the Photosynthetic Apparatus. Institute of Basic Biological Problems, Russian Academy of Sciences, Pushchino. Moscow oblast.

Loo, Y.Y., L. Billa dan A. Singh. Effect of Climate Change on Seasonal Monsoon in Asia and its impact on the variability of monsoon rainfall in Southeast Asia. Geoscience Frontiers, 6(9):817–823,

- [LREP II]. Second Land Resource Evaluation and Planning Project. 1994. Kesesuaian Lahan untuk Tanaman Pertanian dan Tanaman Kehutanan. Bogor: Puslittanak.

Ma, I., L. R. Ahuja, A. Islam., T. J. Trout, S. A. Saseendran., and R. W. Malone. 2016. Modeling Yield and Biomass Responses of Maize Cultivars to Climate Change Under Full and Deficit Irrigation. Agricultural Water Management 180:88-98

Malebajoa, M. A. 2010. Climate Change Impacts on Crop Yields and Adaptive Measures for Agricultural Sector in the Lowlands of Lesotho. Swedia: Lund University

Maesey, M. 2010. A Vulnerable Country in The Face of Climate Change. Global Majority, 1(1):31-45.

Mo, X., Guo, R., Liu, S., Lin, Z., and Hu, S. 2013. Impacts of Climate Change on Crop Evapotranspiration with Ensemble GCM Projections in the North China Plain. Clim. Change 120, pp. 299-312

Naylor, R.L., D. S. Battisti, D. J. Vimont, W. P. Falcon dan M. B. Burke. Assessing Risk Of Climate Variability and Climate Change or Indonesian Rice Agriculture. Proceedings of the National Academy of Sciences, 104(19): 7752-7757.

Nita, I. 2014. Kajian Lengas Tersedia pada Toposekuen Lereng Utara G. Kawi Kabupaten Malang Jawa Timur. Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan 1(2):53-62.

Prijono, S. 2008. Model Neraca Lengas Lahan Kering : Penetapan Kalender Tanam Lahan Kering. Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya; Malang

\_\_\_\_\_. 2008. Evaluasi Kebutuhan Air Tanaman di 12 Kecamatan Wilayah Kabupaten Malang dengan CROPWAT for Windows. Agritek, 16(4):734-743.

\_\_\_\_\_. 2009. Agrohidrologi Praktis. Cakrawala Indonesia: Malang.

\_\_\_\_\_. 2017. Neraca Air sebagai Landasan Pengembangan dan Manajemen Pertanian Berkelanjutan di Lahan Tadah Hujan. Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar dalam Bidang Ilmu Hidrologi Pertanian pada Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Disampaikan pada Rapat Terbuka Senat UB Malang, 10 Mei 2017

Radini dan A. Fiqih. 2015. Proyeksi Perubahan Pola Curah Hujan di Indonesia menggunakan Skenario Perubahan Iklim Jangka Pendek. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/79723> (Online) Diakses pada 30 Mei 2017.

Rochimah, N. R., Soemarno, dan A. W. Muhammin. 2015. Pengaruh Perubahan Iklim terhadap Produksi dan Rendemen Tebu di Kabupaten Malang. Malang: Tesis Program Pengelolaan Sumberdaya Lingkungan dan Pembangunan, Universitas Brawijaya

- Rasheed R., Wahid A., Farooq M., Hussain I., and Basra S. M. A. 2011. Role of Proline and Glycine Betaine Pretreatments in Improving Heat Tolerance of Sprouting Sugarcane (*Saccharum sp.*) bud. *Plant Growth Regul* 65: 35–45.
- Sage, R.F., and Kubien, D.S. 2007. The Temperature Response of C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> Photosynthesis. Department of Ecology and Evolutionary Biology, University of Toronto, Canada and Department of Biology, University of New Brunswick, 10 Bailey , Canada.
- Santos, D. L., and P. C. Sentelhas. 2012. Climate Change Scenarios and Their Impact on the Water Balance of Sugarcane Production Areas in the State of São Paulo, Brazil. *Ambi-Aqua, Taubaté*, 7(2):7-17
- Sentelhas, P. C., D. L. Santos, and R. E. Machado. 2008. Water Deficit and Water Surplus Maps for Brazil, Based on FAO Penman-Monteith Potential Evapotranspiration. *Ambi-Aqua, Taubaté*, 3(3):28-42
- Steduto, P., T. C. Hsiao, E. Fereres, and D. Raes. 2012. Crop Yield Response to Water. *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 66*. Rome.
- Suciantini. 2015. Interaksi Iklim (Curah Hujan) terhadap Produksi Tanaman Pangan di Kabupaten Pacitan. Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia 1(2): 358-365
- Sudaryono. 2006. Pengaruh Pemberian Lapisan Lempong terhadap Peningkatan Lengas Tanah pada Lahan Marginal Berpasir. *Jurnal Teknologi Lingkungan*.7(2):198-205.
- Susandi, A. 2006. Bencana Perubahan Iklim Global dan Proyeksi Perubahan Iklim Indonesia. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Syahbuddin, H., Manabu D., Yamanaka, and Eleonora Runtuuwu. 2004. Impact of Climate Change to Dry Land Water Budget in Indonesia: Observation During 1980-2002 and simulation for 2010-2039. Graduate School of Science and Technology, Kobe University.
- Thornthwaite, C.W and J. R. Mather. 1957. Instruction And Tables For Computing Potensial Evapotranspiration and Water Balanced. *Publ. In. Clim.* 10(3) Centerton, New Jersey.
- Trenberth, K.E. 2011. Change in Precipitation with Climate Change. *Climate Research*, 47:123-138.
- Tusi, A., B. Rosadi dan M. Triana. 2012. Pendugaan Kebutuhan Air Tanaman Nanas (*Ananas comosus* L. MERR) Menggunakan Model Cropwat. *Jurnal Irigasi*, 7(1):43-51.
- Zhang, S., X. Yang, and L. Lovdahl. Soil Management Practice Effect on Water Balance of a Dryland Soil during Fallow Period on the Loess Plateau of China. *Soil & Water Res.*, 11(1): pp.64-73

Repository Universitas Brawijaya  
Zhao, D., and Yang, R. L. 2015.  
Potential Impact and M  
Agronomy

Zhao, D., and Yang, R. L. 2015. Climate Change and Sugarcane Production: Potential Impact and Mitigation Strategies. *International Journal of Agronomy*

**Lampiran 1.** Data Iklim Rata-Rata Stasiun Klimatologi Lanud AR. Saleh (1998-2016)

	T. Max	T. Min	T. Avg	Penyinaran	RH	Kec. Angin
Jan	28.7	21.5	25.1	3.8	86	8.1
Feb	29.0	21.1	25.0	3.7	85	7.6
Mar	29.1	21.1	25.1	3.9	86	6.9
Apr	29.7	21.2	25.5	4.7	85	6.0
Mei	29.3	21.1	25.2	5.1	84	5.4
Jun	29.2	20.5	24.9	5.5	82	5.2
Jul	28.4	18.8	23.6	5.6	81	5.5
Agu	29.2	19.4	24.3	6.0	78	5.6
Sep	30.5	19.8	25.1	6.1	76	6.4
Okt	30.7	20.7	25.7	5.7	78	6.1
Nov	30.1	21.5	25.8	4.7	84	5.2
Des	29.2	22.2	25.7	3.6	88	6.3
Satuan	°C	°C	°C	Jam	%	km. jam <sup>-1</sup>

**Lampiran 2.** Data Iklim Rata-Rata Bulanan Stasiun Klimatologi Karangkates (1998-2016)

	T. Max	T. Min	T. Avg	Penyinaran	RH	Kec. Angin
Jan	31.5	22.1	26.8	4.3	85.0	3.8
Feb	31.4	21.9	26.6	4.0	83.9	4.3
Mar	31.8	21.8	26.8	4.8	84.8	4.3
Apr	31.9	21.8	26.9	5.4	83.2	4.2
Mei	31.8	21.5	26.7	6.0	81.4	4.0
Jun	31.4	20.5	26.0	6.3	79.5	4.6
Jul	30.9	19.8	25.4	6.5	78.8	5.4
Agu	31.2	19.4	25.3	6.7	77.4	5.9
Sep	32.0	20.6	26.4	6.6	75.7	5.5
Okt	33.0	21.8	27.2	6.3	77.5	4.8
Nov	32.4	22.2	27.2	4.6	81.3	3.8
Des	31.4	22.2	26.7	3.7	84.6	3.7
Satuan	°C	°C	°C	Jam	%	km. jam <sup>-1</sup>

**LAMPIRAN**

Repository Universitas Brawijaya  
Lampiran 3. Data Curah Hujan Tah  
Campuh Huj

### Lampiran 3. Data Curah Hujan Tahunan

<b>Tahun</b>	<b>Lanud AR. Saleh</b>	<b>Curah Hujan</b>
1998	2175	100
1999	2463	100
2000	1690	100
2001	1858	100
2002	1852	100
2003	1712	100
2004	1839	100
2005	1722	100
2006	1714	100
2007	2235	100
2008	3401	100
2009	3407	100
2010	6475	100
2011	2217	100
2012	1590	100
2013	2149	100
2014	1812	100
2015	1954	100
2016	3449	100

#### Lampiran 4. Data Rata-Rata Curah Hujan Bulanan (1998-2016)

<b>Bulan</b>	<b>Lanud AR. Saleh</b>
Jan	322,3
Feb	338,3
Mar	325,9
Apr	231,6
Mei	134,8
Jun	64,3
Jul	42,6
Agu	36,1
Sep	44,8
Okt	111,8
Nov	362,9
Des	390,6

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya 52  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
man Repository Universitas Brawijaya  
(www)

Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository  
Repository

**Lampiran 5. Simulasi Perubahan Iklim Lokasi Wajak (Stasiun BMKG Lanud AR. Saleh)**

**Suhu Maksimum ( $^{\circ}$  C)**

Bulan	Aktual (1998-2016)	+ 2 $^{\circ}$ C (C1, C2, C3, C4)	+ 4 $^{\circ}$ C (C5, C6, C7, C8)	+ 6 $^{\circ}$ C (C9, C10, C11, C12)
Jan	28,6	30,6	32,6	34,6
Feb	28,8	30,8	32,8	34,8
Mar	28,8	30,8	32,8	34,8
Apr	29,2	31,2	33,2	35,2
Mei	29,2	31,2	33,2	35,2
Jun	29,0	31,0	33,0	35,0
Jul	28,4	30,4	32,4	34,4
Agu	28,9	30,9	32,9	34,9
Sep	30,0	32,0	34,0	36,0
Okt	30,4	32,4	34,4	36,4
Nov	29,8	31,8	33,8	35,8
Des	28,8	30,8	32,8	34,8

**Suhu Minimum ( $^{\circ}$  C)**

Bulan	Aktual (1998-2016)	+ 2 $^{\circ}$ C (C1, C2, C3, C4)	+ 4 $^{\circ}$ C (C5, C6, C7, C8)	+ 6 $^{\circ}$ C (C9, C10, C11, C12)
Jan	20,8	22,8	24,8	26,8
Feb	20,8	22,8	24,8	26,8
Mar	20,7	22,7	24,7	26,7
Apr	20,6	22,6	24,6	26,6
Mei	20,3	22,3	24,3	26,3
Jun	19,5	21,5	23,5	25,5
Jul	18,3	20,3	22,3	24,3
Agu	18,2	20,2	22,2	24,2
Sep	19,2	21,2	23,2	25,2
Okt	20,3	22,3	24,3	26,3
Nov	20,9	22,9	24,9	26,9
Des	21,3	23,3	25,3	27,3

**Curah Hujan**

Bulan	Aktual (1998-2016)	-10% (C1, C5, C12)	-5% (C2, C6, C10)	+ 5% (C3, C7, C11)	+10% (C4, C8, C12)
Jan	322	290	306	338	355
Feb	338	304	321	355	372
Mar	326	293	310	342	358
Apr	232	208	220	243	255
Mei	135	121	128	142	148
Jun	64	58	61	68	71
Jul	43	38	40	45	47
Agu	36	32	34	38	40
Sep	45	40	43	47	49
Okt	112	101	106	117	123
Nov	363	327	345	381	399
Des	391	352	371	410	430

**Suhu Maksimum (° C)**

Bulan	Aktual (1998-2016)	+ 2° C (C1, C2, C3, C4)	+ 4° C (C5, C6, C7, C8)	+ 6° C (C9, C10, C11, C12)
Jan	31,5	33,5	35,5	37,5
Feb	31,4	33,4	35,4	37,4
Mar	31,8	33,8	35,8	37,8
Apr	31,9	33,9	35,9	37,9
Mei	31,8	33,8	35,8	37,8
Jun	31,4	33,4	35,4	37,4
Jul	30,9	32,9	34,9	36,9
Agu	31,2	33,2	35,2	37,2
Sep	32,0	34,0	36,0	38,0
Okt	33,0	35,0	37,0	39,0
Nov	32,4	34,4	36,4	38,4
Des	31,4	33,4	35,4	37,4

**Suhu Minimum (° C)**

Bulan	Aktual (1998-2016)	+ 2° C (C1, C2, C3, C4)	+ 4° C (C5, C6, C7, C8)	+ 6° C (C9, C10, C11, C12)
Jan	22,1	24,1	26,1	28,1
Feb	21,9	23,9	25,9	27,9
Mar	21,8	23,8	25,8	27,8
Apr	21,8	23,8	25,8	27,8
Mei	21,5	23,5	25,5	27,5
Jun	20,5	22,5	24,5	26,5
Jul	19,8	21,8	23,8	25,8
Agu	19,4	21,4	23,4	25,4
Sep	20,6	22,6	24,6	26,6
Okt	21,8	23,8	25,8	27,8
Nov	22,2	24,2	26,2	28,2
Des	22,2	24,2	26,2	28,2

**Curah Hujan**

Bulan	Aktual (1998-2016)	-10% (C1, C5, C12)	-5% (C2, C6, C10)	+ 5% (C3, C7, C11)	+10% (C4, C8, C12)
Jan	251	226	239	264	276
Feb	314	283	298	330	345
Mar	276	248	262	289	303
Apr	249	224	237	262	274
Mei	141	127	134	148	156
Jun	88	79	84	92	97
Jul	78	70	74	82	85
Agu	48	43	46	50	53
Sep	82	74	78	86	90
Okt	138	124	131	145	152
Nov	270	243	257	284	297
Des	378	340	359	396	415

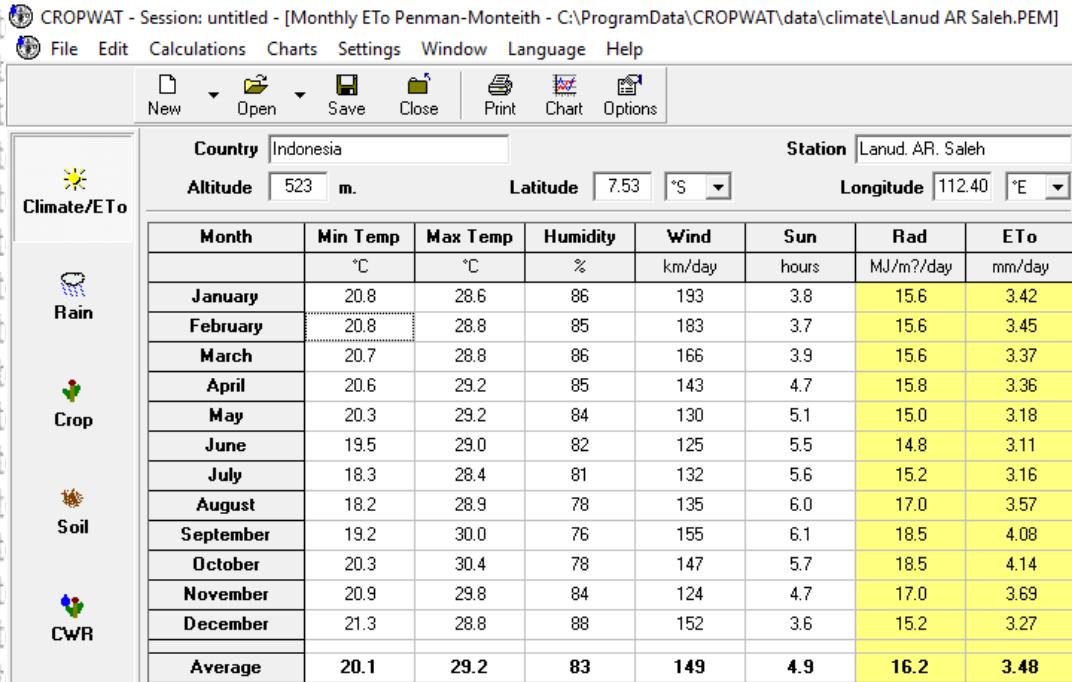
Lampiran 6. Simulasi Perubahan Iklim Lokasi Sumbermanjing dan Gedangan (Stasiun BMKG Karangkates dan Pengamat Hujan KP. Sumberasin) 54



**Lampiran 8.** Kesesuaian Iklim Tanaman Tebu (*Saccharum officinarum*)

Kriteria lahan	S1	Kelas kesesuaian lahan	S2	S3	N
<b>Temperatur (t)</b>					
Rata-rata tahunan (°C)	24-30	30-32	32-34	>34	
	22-24	21-22	<21		
<b>Ketersediaan air (w)</b>					
Bulan kering (<75 mm)	3-4	2-<3	>4,5	>5	
CH/tahun (mm)	1500-2500	1300-<1500	>2500-3000	>3000	
	1000-<1300	<1000			

Sumber : (LREP II, 1994)

**Lampiran 9.** Perhitungan Evapotranspirasi Potensial Menggunakan Software**CROPWAT 8.0**

## Lampiran 10. Neraca Air Wajak Setiap Skenario

C0	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	322	338	326	232	135	64	43	36	45	112	327	391
PE	106	97	105	101	99	93	98	111	122	128	111	101
P-PE	216	242	221	131	36	-29	-55	-75	-78	-17	252	289
APWL						-29	-84	-159	-237	-253		
ST	297	297	297	297	297	269	224	174	134	127	297	297
ΔST	0	0	0	0	0	-28	-46	-50	-40	-7	170	0
AE	106	97	105	101	99	92	88	86	85	119	111	101
S	216	242	221	131	36	0	0	0	0	0	82	289
D	0	0	0	0	0	1	10	25	37	9	0	0

C1	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	290	304	293	208	121	58	38	32	40	101	327	352
PE	111	102	110	106	104	98	104	117	129	134	116	106
P-PE	179	202	183	102	17	-40	-66	-85	-89	-33	211	246
APWL						-40	-106	-190	-279	-312		
ST	297	297	297	297	297	260	208	157	116	104	297	297
ΔST	0	0	0	0	0	-37	-52	-51	-41	-12	193	0
AE	111	102	110	106	104	95	90	84	81	113	116	106
S	179	202	183	102	17	0	0	0	0	0	18	246
D	0	0	0	0	0	3	14	33	48	21	0	0

C2	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	306	321	310	220	128	61	40	34	43	106	345	371
PE	111	102	110	106	104	98	104	117	129	134	116	106
P-PE	227	253	232	137	38	-30	-59	-79	-82	-17	265	304
APWL						-30	-90	-169	-251	-267		
ST	297	297	297	297	297	268	219	168	128	121	297	297
ΔST	0	0	0	0	0	-29	-49	-51	-41	-7	176	0
AE	111	102	110	106	104	96	91	86	83	117	116	106
S	195	219	200	114	24	0	0	0	0	0	41	265
D	0	0	0	0	0	2	13	31	46	17	0	0

C3	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	338	355	342	243	142	68	45	38	47	117	381	410
PE	111	102	110	106	104	98	104	117	129	134	116	106
P-PE	227	253	232	137	38	-30	-59	-79	-82	-17	265	304
APWL						-30	-90	-169	-251	-267		
ST	297	297	297	297	297	268	219	168	128	121	297	297
ΔST	0	0	0	0	0	-29	-49	-51	-41	-7	176	0
AE	111	102	110	106	104	96	94	89	88	124	116	106
S	227	253	232	137	38	0	0	0	0	0	89	304
D	0	0	0	0	0	2	10	28	41	10	0	0

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

<b>C4</b>	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	355	372	258	255	148	71	47	40	49	123	399	430
PE	111	102	110	106	104	98	104	117	129	134	116	106
P-PE	244	270	248	149	44	-27	-57	-77	-80	-11	283	324
APWL						-27	-84	-161	-241	-252		
ST	297	297	297	297	297	271	224	173	132	127	297	297
ΔST	0	0	0	0	0	-26	-47	-51	-41	-5	170	0
AE	111	102	110	106	104	97	94	91	90	128	116	106
S	244	270	248	149	44	0	0	0	0	0	113	324
D	0	0	0	0	0	1	10	26	39	6	0	0

<b>C5</b>	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	290	304	293	208	121	58	38	32	40	101	327	352
PE	117	106	115	111	109	103	109	122	135	141	122	112
P-PE	173	198	178	97	12	-45	-71	-90	-95	-40	205	240
APWL						-45	-116	-205	-300	-340		
ST	297	297	297	297	297	255	201	149	108	95	297	297
ΔST	0	0	0	0	0	-42	-54	-52	-41	-14	202	0
AE	117	106	115	111	109	100	93	91	81	114	122	112
S	173	198	178	97	12	0	0	0	0	0	3	240
D	0	0	0	0	0	3	16	31	54	27	0	0

<b>C6</b>	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	306	321	310	220	128	61	40	34	43	106	345	371
PE	117	106	115	111	109	103	109	122	135	141	122	112
P-PE	189	215	195	109	19	-42	-69	-88	-92	-35	223	259
APWL						-42	-110	-198	-291	-325		
ST	297	297	297	297	297	258	205	152	112	99	297	297
ΔST	0	0	0	0	0	-39	-53	-53	-41	-12	198	0
AE	117	106	115	111	109	100	93	93	93	121	122	112
S	189	215	195	109	19	0	0	0	0	0	25	259
D	0	0	0	0	0	3	16	29	42	20	0	0

<b>C7</b>	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	338	355	342	243	142	68	45	38	47	117	381	410
PE	117	106	115	111	109	103	109	122	135	141	122	112
P-PE	221	249	227	132	33	-35	-64	-84	-88	-24	259	298
APWL						-35	-100	-184	-272	-295		
ST	297	297	297	297	297	264	212	160	119	110	297	297
ΔST	0	0	0	0	0	-33	-52	-52	-41	-9	187	0
AE	117	106	115	111	109	101	100	96	96	128	122	112
S	221	249	227	132	33	0	0	0	0	0	72	298
D	0	0	0	0	0	2	9	26	39	13	0	0

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

58

C8	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	355	372	258	255	148	71	47	40	49	123	399	430
PE	117	106	115	111	109	103	109	122	135	141	122	112
P-PE	238	266	243	144	39	-32	-62	-82	-86	-18	277	318
APWL						-32	-94	-177	-262	-280		
ST	297	297	297	297	297	267	216	164	123	116	297	297
ΔST	0	0	0	0	0	-30	-50	-53	-41	-7	181	0
AE	117	106	115	111	109	101	97	99	98	132	122	112
S	238	266	243	144	39	0	0	0	0	0	96	318
D	0	0	0	0	0	2	12	23	37	9	0	0

C9	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	290	304	293	208	121	58	38	32	40	101	327	352
PE	122	124	121	121	115	113	114	129	146	146	130	115
P-PE	168	180	172	87	6	-55	-76	-97	-106	-45	197	237
APWL						-55	-131	-227	-333	-378		
ST	297	297	297	297	297	247	191	138	97	83	280	297
AST	0	0	0	0	0	-50	-56	-53	-42	-14	197	17
AE	122	124	121	121	115	108	94	93	92	119	130	115
S	168	180	172	87	6	0	0	0	0	0	0	219
D	0	0	0	0	0	5	20	36	54	27	0	0

C10	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	306	321	310	220	128	61	40	34	43	106	345	371
PE	122	124	121	121	115	113	114	129	146	146	130	115
P-PE	184	197	189	99	13	-52	-74	-95	-103	-40	215	256
APWL						-52	-125	-220	-324	-363		
ST	297	297	297	297	297	249	195	142	100	87	297	297
$\Delta$ ST	0	0	0		0	-48	-54	-53	-42	-12	210	0
AE	122	124	121	121	115	109	98	95	95	121	130	115
S	184	197	189	99	13	0	0	0	0	0	5	256
D	0	0	0	0	0	4	16	34	51	25	0	0

C11	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	338	355	342	243	142	68	45	38	47	117	381	410
PE	122	124	121	121	115	113	114	129	146	146	130	115
P-PE	216	231	221	122	27	-45	-69	-91	-99	-29	251	295
APWL						-45	-115	-206	-305	-333		
ST	297	297	297	297	297	255	202	148	106	97	297	297
ΔST	0	0	0	0	0	-42	-54	-53	-42	-10	200	0
AE	122	124	121	121	115	109	98	97	97	129	130	115
S	216	231	221	122	27	0	0	0	0	0	51	295
D	0	0	0	0	0	4	16	32	49	17	0	0

C12	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	355	372	258	255	148	71	47	40	49	123	399	430
PE	122	124	121	121	115	113	114	129	146	146	130	115
P-PE	233	248	237	134	33	-42	-67	-89	-97	-23	269	315
APWL						-42	-109	-199	-295	-318		
ST	297	297	297	297	297	258	206	152	110	102	297	297
ΔST	0	0	0	0	0	-39	-52	-54	-42	-8	195	0
AE	122	124	121	121	115	111	99	99	98	133	130	115
S	233	248	237	134	33	0	0	0	0	0	74	315
D	0	0	0	0	0	2	15	30	48	13	0	0

Lampiran 11. Neraca Air Sumbermanjing Setiap Skenario

C0	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	251	314	276	249	141	88	78	48	82	139	270	378
PE	97	92	114	117	124	120	126	133	130	128	101	91
P-PE	154	222	162	132	17	-32	-48	-85	-48	11	169	287
APWL						-32	-80	-165	-213			
ST	406	406	406	406	406	375	333	270	240	251	406	406
ΔST	0	0	0	0	0	-31	-42	-63	-30	11	155	0
AE	97	92	114	117	124	119	120	111	112	128	101	91
S	154	222	162	132	17	0	0	0	0	0	14	287
D	0	0	0	0	0	1	6	22	18	0	0	0

C1	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	226	283	248	224	127	79	70	43	74	125	243	340
PE	102	97	119	123	130	126	133	140	137	135	106	95
P-PE	124	186	129	101	-3	-47	-63	-97	-63	-10	137	245
APWL						-50	-113	-210	-273	-283		
ST	406	406	406	406	403	359	307	243	207	202	339	406
ΔST	0	0	0	0	-3	-44	-52	-65	-35	-5	137	67
AE	102	97	119	123	130	123	122	108	109	130	106	95
S	124	186	129	101	0	0	0	0	0	0	0	178
D	0	0	0	0	0	3	11	32	28	5	0	0

C2	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	238	298	262	237	134	84	74	46	78	132	257	359
PE	102	97	119	123	130	126	133	140	137	135	106	95
P-PE	136	201	143	114	4	-42	-59	-94	-59	-3	151	264
APWL						-42	-101	-196	-255	-258		
ST	406	406	406	406	406	366	317	251	217	215	366	406
ΔST	0	0	0	0	0	-40	-50	-66	-34	-2	151	40
AE	102	97	119	123	130	123	124	112	112	134	106	95
S	136	201	143	114	4	0	0	0	0	0	0	224
D	0	0	0	0	0	3	9	28	25	1	0	0

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya **60**

Repository Universitas Brawijaya

C3	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	264	330	290	261	148	92	82	50	86	146	284	397
PE	102	97	119	123	130	126	133	140	137	135	106	95
P-PE	162	233	171	138	18	-34	-51	-90	-51	11	178	302
APWL						-34	-85	-174	-255			
ST	406	406	406	406	406	373	329	264	233	244	406	406
ΔST	0	0	0	0	0	-33	-44	-65	-31	11	162	0
AE	102	97	119	123	130	125	126	115	117	135	106	95
S	162	233	171	138	18	0	0	0	0	0	16	302
D	0	0	0	0	0	1	7	25	20	0	0	0

C4	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	276	345	304	274	155	97	86	53	90	153	297	416
PE	102	97	119	123	130	126	133	140	137	135	106	95
P-PE	174	248	185	151	25	-29	-47	-87	-47	18	191	321
APWL						-29	-76	-164	-210			
ST	406	406	406	406	406	378	337	271	242	260	406	406
$\Delta ST$	0	0	0	0	0	-28	-41	-66	-29	18	146	0
AE	102	97	119	123	130	125	130	118	119	135	106	95
S	174	248	185	151	25	0	0	0	0	0	45	321
D	0	0	0	0	0	1	3	22	18	0	0	0

C5	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	226	283	248	224	127	79	70	43	74	125	243	340
PE	107	101	125	129	136	132	139	146	143	141	111	100
P-PE	119	182	123	95	-9	-53	-69	-103	-69	-16	132	240
APWL						-9	-62	-131	-234	-303	-319	
ST	406	406	406	406	397	349	294	228	193	185	317	406
AST	0	0	0	0	-9	-49	-54	-66	-36	-7	132	89
AE	107	101	125	129	136	128	125	109	109	133	111	100
S	119	182	123	95	0	0	0	0	0	0	0	151
D	0	0	0	0	0	4	14	37	34	8	0	0

C6	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	238	298	262	237	134	84	74	46	78	132	257	359
PE	107	101	125	129	136	132	139	146	143	141	111	100
P-PE	131	197	137	108	2	-48	-65	-100	-65	-9	146	259
APWL						-2	-50	-115	-215	-281	-290	
ST	406	406	406	406	404	359	306	239	203	199	344	406
ΔST	0	0	0	0	2	-45	-53	-67	-35	-4	146	62
AE	107	101	125	129	136	129	127	113	113	137	111	100
S	131	197	137	108	0	0	0	0	0	0	0	197
D	0	0	0	0	0	3	12	33	30	4	0	0

C7	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	264	330	290	261	148	92	82	50	86	146	284	397
PE	107	101	125	129	136	132	139	146	143	141	111	100
P-PE	157	229	165	132	12	-40	-57	-96	-57	5	173	297
APWL						-40	-97	-192	-249			
ST	406	406	406	406	406	368	320	253	220	225	397	406
$\Delta ST$	0	0	0	0	0	-38	-48	-67	-33	5	173	9
AE	107	101	125	129	136	130	130	117	119	141	111	100
S	157	229	165	132	12	0	0	0	0	0	0	288
D	0	0	0	0	0	2	9	29	24	0	0	0

C8	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	276	345	304	274	155	97	86	53	90	153	297	416
PE	107	101	125	129	136	132	139	146	143	141	111	100
P-PE	169	244	179	145	19	-35	-53	-93	-53	12	186	316
APWL						-35	-88	-182	-234			
ST	406	406	406	406	406	372	330	259	228	240	406	406
$\Delta ST$	0	0	0	0	0	-34	-42	-71	-31	12	166	0
AE	107	101	125	129	136	130	128	124	121	141	111	100
S	169	244	179	145	19	0	0	0	0	0	20	316
D	0	0	0	0	0	2	11	22	22	0	0	0

C9	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	226	283	248	224	127	79	70	43	74	125	243	340
PE	112	106	131	135	142	138	146	154	150	148	116	105
P-PE	114	177	117	89	-15	-59	-76	-111	-76	-23	127	235
APWL					-15	-74	150	261	337	360		
ST	406	406	406	406	391	338	281	213	177	167	294	406
$\Delta$ ST	0	0	0	0	-15	-53	-58	-67	-36	-10		
AE	112	106	131	135	142	132	128	110	110	135	116	105
S	114	177	117	89	0	0	0	0	0	0	0	123
D	0	0	0	0	0	6	18	44	40	13	0	0

C10	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	238	298	262	237	134	84	74	46	78	132	257	359
PE	112	106	131	135	142	138	146	154	150	148	116	105
P-PE	126	192	131	102	8	-54	-72	-108	-72	-16	141	254
APWL					-8	-62	-134	-242	-315	-331		
ST	406	406	406	406	398	349	292	223	187	180	320	406
$\Delta$ ST	0	0	0	0	-8	-50	-57	-69	-36	-7	141	86
AE	112	106	131	135	142	133	131	114	114	139	116	105
S	126	192	131	102	0	0	0	0	0	0	0	168
D	0	0	0	0	0	5	15	40	36	9	0	0

C11	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	264	330	290	261	148	92	82	50	86	146	284	397
PE	112	106	131	135	142	138	146	154	150	148	116	105
P-PE	152	224	159	126	6	-46	-64	-104	-64	-2	168	292
APWL						-46	-110	-213	-277	-279		
ST	406	406	406	406	406	363	310	240	205	204	372	406
$\Delta ST$	0	0	0	0	0	-43	-53	-69	-35	-1	168	34
AE	112	106	131	135	142	136	135	120	121	147	116	105
S	152	224	159	126	6	0	0	0	0	0	0	258
D	0	0	0	0	0	2	11	34	29	1	0	0

C12	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	276	345	304	274	155	97	86	53	90	153	297	416
PE	112	106	131	135	142	138	146	154	150	148	116	105
P-PE	164	239	173	139	13	-41	-60	-101	-60	5	181	311
APWL						-41	-101	-203	-262			
ST	406	406	406	406	406	367	317	246	213	218	399	406
ΔST	0	0	0	0	0	-39	-50	-70	-33	5	181	7
AE	112	106	131	135	142	137	136	132	124	148	116	105
S	164	239	173	139	13	0	0	0	0	0	0	304
D	0	0	0	0	0	1	10	22	26	0	0	0

## Lampiran 12. Neraca Air Gedangan Setiap Skenario

C0	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	251	314	276	249	141	88	78	48	82	139	270	378
PE	97	92	114	117	124	120	126	133	130	128	101	91
P-PE	154	222	162	132	17	-32	48	-85	-48	11	169	287
APWL						-32	-80	-165	-213			
ST	525	525	525	525	525	494	451	383	350	361	525	525
ΔST	0	0	0	0	0	-31	-43	-67	-33	11	164	0
AE	97	92	114	117	124	119	121	115	115	128	106	91
S	154	222	162	132	17	0	0	0	0	0	5	287
D	0	0	0	0	0	1	5	18	25	0	0	0

CI	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	226	283	248	224	127	79	70	43	74	125	243	340
PE	102	97	119	123	130	126	133	140	137	135	106	95
P-PE	124	186	129	101	-3	-47	-63	-97	-63	-10	137	245
APWL					-3	-50	-113	-210	-273	-283		
ST	525	525	525	525	522	477	423	353	312	306	443	525
ΔST	0	0	0	0	-3	-45	-54	-71	-40	-6	137	82
AE	102	97	119	123	130	124	124	114	114	131	106	95
S	124	186	129	101	0	0	0	0	0	0	0	163
D	0	0	0	0	0	2	9	26	23	4	0	0

C2	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	238	298	262	237	134	84	74	46	78	132	257	359
PE	102	97	119	123	130	126	133	140	137	135	106	95
P-PE	136	201	143	114	4	-42	-59	-94	-59	-3	151	264
APWL						-42	-101	-196	-255	-258		
ST	525	525	525	525	525	485	433	361	323	321	472	525
ΔST	0	0	0	0	0	-40	-52	-72	-38	-2	151	53
AE	102	97	119	123	130	124	126	117	116	134	106	95
S	136	201	143	114	4	0	0	0	0	0	0	211
D	0	0	0	0	0	2	7	23	21	1	0	0

C3	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	1264	330	290	261	148	92	82	50	86	146	284	397
PE	102	97	119	123	130	126	133	140	137	135	106	95
P-PE	162	233	171	138	18	-34	-51	-90	-51	11	178	302
APWL						-34	-85	-174	-255			
ST	525	525	525	525	525	492	447	377	342	353	525	525
$\Delta ST$	0	0	0	0	0	-33	-46	-70	-35	11	172	0
AE	102	97	119	123	130	125	127	120	121	135	106	95
S	162	233	171	138	18	0	0	0	0	0	5	302
D	0	0	0	0	0	1	6	20	16	0	0	0

C4	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	276	345	304	274	155	97	86	53	90	153	297	416
PE	102	97	119	123	130	126	133	140	137	135	106	95
P-PE	174	248	185	151	25	-29	-47	-87	-47	18	191	321
APWL						-29	-76	-164	-210			
ST	525	525	525	525	525	497	454	384	352	370	525	525
ΔST	0	0	0	0	0	-28	-43	-70	-32	18	155	0
AE	102	97	119	123	130	125	130	123	122	135	106	95
S	174	248	185	151	25	0	0	0	0	0	36	321
D	0	0	0	0	0	1	3	17	15	0	0	0

C5	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	226	283	248	224	127	79	70	43	74	125	243	340
PE	107	101	125	129	136	132	139	146	143	141	111	100
P-PE	119	182	123	95	9	-53	-69	-103	-69	-16	132	240
APWL				-9	-9	-62	-131	-234	-303	-319		
ST	525	525	525	525	516	467	409	336	295	286	418	525
ΔST	0	0	0	0	-9	-50	-57	-73	-415	-9	132	107
AE	107	101	125	129	136	129	128	116	115	134	111	100
S	119	182	123	95	0	0	0	0	0	0	0	133
D	0	0	0	0	0	3	11	30	28	7	0	0

C6	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	238	298	262	237	134	84	74	46	78	132	257	359
PE	107	101	125	129	136	132	139	146	143	141	111	100
P-PE	131	197	137	108	-2	-48	-65	-100	-65	-9	146	259
APWL					-2	-50	-115	-215	-281	-290		
ST	525	525	525	525	523	477	422	348	307	302	448	525
ΔST	0	0	0	0	-2	-46	-56	-74	-41	-5	146	77
AE	107	101	125	129	136	129	130	119	118	137	111	100
S	131	197	137	108	0	0	0	0	0	0	0	182
D	0	0	0	0	0	3	9	27	25	4	0	0

C7	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	264	330	290	261	148	92	82	50	86	146	284	397
PE	107	101	125	129	136	132	139	146	143	141	111	100
P-PE	157	229	165	132	12	-40	-57	-96	-57	5	173	297
APWL						-40	-97	-192	-249			
ST	525	525	525	525	525	486	436	364	327	332	504	525
$\Delta ST$	0	0	0	0	0	-39	-50	-72	-37	5	173	21
AE	107	101	125	129	136	131	132	123	124	141	111	100
S	157	229	165	132	12	0	0	0	0	0	0	276
D	0	0	0	0	0	1	7	23	19	0	0	0

C8	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	276	345	304	274	155	97	86	53	90	153	297	416
PE	107	101	125	129	136	132	139	146	143	141	111	100
P-PE	169	244	179	145	19	-35	-53	-93	-53	12	186	316
APWL						-35	-88	-182	-234			
ST	525	525	525	525	525	491	447	371	336	348	525	525
ΔST	0	0	0	0	0	-34	-44	-76	-35	12	177	0
AE	107	101	125	129	136	131	130	129	125	141	111	100
S	169	244	179	145	19	0	0	0	0	0	9	316
D	0	0	0	0	0	1	9	17	18	0	0	0

C9	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	226	283	248	224	127	79	70	43	74	125	243	340
PE	112	106	131	135	142	138	146	154	150	148	116	105
P-PE	114	177	117	89	-15	-59	-76	-111	-76	-23	127	235
APWL					-15	-74	-150	-261	-337	-360		
ST	525	525	525	525	510	456	395	319	276	264	391	525
ΔST	0	0	0	0	-15	-54	-61	-75	-43	-12	127	134
AE	112	106	131	135	142	133	132	118	117	137	116	105
S	114	177	117	89	0	0	0	0	0	0	0	102
D	0	0	0	0	0	5	14	36	33	11	0	0

C10	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	238	298	262	237	134	84	74	46	78	132	257	359
PE	112	106	131	135	142	138	146	154	150	148	116	105
P-PE	126	192	131	102	-8	54	72	-108	-72	-16	141	254
APWL					-8	-62	-134	-242	-315	-331		
ST	525	525	525	525	517	467	407	330	288	279	420	525
AST	0	0	0	0	-8	-51	-60	-76	-42	-9	141	105
AE	112	106	131	135	142	134	134	122	120	141	116	105
S	26	192	131	102	0	0	0	0	0	0	0	149
D	0	0	0	0	0	4	12	32	30	7	0	0

C11	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	264	330	290	261	148	92	82	50	86	146	284	397
PE	112	106	131	135	142	138	146	154	150	148	116	105
P-PE	152	224	159	126	6	-46	-64	-104	-64	-2	168	292
APWL						-46	-110	-213	-277	-279		
ST	525	525	525	525	525	481	426	350	310	309	476	525
AST	0	0	0	0	0	-44	-55	-76	-40	-1	168	49
AE	112	106	131	135	142	136	137	126	126	147	116	105
S	152	224	159	126	6	0	0	0	0	0	0	243
D	0	0	0	0	0	2	9	28	24	1	0	0

C12	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	276	345	304	274	155	97	86	53	90	153	297	416
PE	112	106	131	135	142	138	146	154	150	148	116	105
P-PE	164	239	173	139	13	-41	-60	-101	-60	5	181	311
APWL						-41	-101	-203	-262			
ST	525	525	525	525	525	486	433	357	319	324	505	525
AST	0	0	0	0	0	-39	-52	-76	-38	5	181	20
AE	112	106	131	135	142	136	138	129	128	148	116	105
S	164	239	173	139	13	0	0	0	0	0	0	290
D	0	0	0	0	0	2	8	25	22	0	0	0

Lampiran 13. Data Ketersediaan Air dan Kebutuhan Air Tanaman Lokasi Wajak

Ketersediaan Air (mm)												
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
C0	ST	297	297	297	297	297	269	224	174	134	127	297
	AT	155	155	155	155	155	127	82	32	0	0	155
	ETc	125	114	124	118	117	108	94	42	0	51	72
C1	ST	297	297	297	297	297	260	208	157	116	104	297
	AT	155	155	155	155	155	118	66	15	0	0	155
C2	ST	297	297	297	297	297	262	212	160	120	109	297
	AT	155	155	155	155	155	120	70	18	0	0	155
C3	ST	297	297	297	297	297	268	219	168	128	121	297
	AT	155	155	155	155	155	126	77	26	0	0	155
C4	ST	297	297	297	297	297	271	224	173	132	127	297
	AT	155	155	155	155	155	129	82	31	0	0	155
	ETc	131	119	130	124	123	114	99	44	0	53	76
C5	ST	297	297	297	297	297	255	201	149	108	95	297
	AT	155	155	155	155	155	113	59	7	0	0	155
C6	ST	297	297	297	297	297	258	205	152	112	99	297
	AT	155	155	155	155	155	116	63	10	0	0	155
C7	ST	297	297	297	297	297	264	212	160	119	110	297
	AT	155	155	155	155	155	122	70	18	0	0	155
C8	ST	297	297	297	297	297	267	216	164	123	116	297
	AT	155	155	155	155	155	125	74	22	0	0	155
	ETc	137	125	136	130	129	120	104	46	0	56	79
C9	ST	297	297	297	297	297	247	191	138	97	83	280
	AT	155	155	155	155	155	105	49	0	0	0	138
C10	ST	297	297	297	297	297	249	195	142	100	87	297
	AT	155	155	155	155	155	107	53	0	0	0	155
C11	ST	297	297	297	297	297	255	202	148	106	97	297
	AT	155	155	155	155	155	113	60	6	0	0	155
C12	ST	297	297	297	297	297	258	206	152	110	102	297
	AT	155	155	155	155	155	116	64	10	0	0	155
	ETc	143	131	142	137	135	126	109	49	0	58	82

Keterangan : AT= Air tersedia (mm/bulan); ETc= Kebutuhan air tanaman (mm/bulan)

## Lampiran 14. Data Ketersediaan Air Lokasi Sumbermanjing

Ketersediaan air (mm)												
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
C0	ST	406	406	406	406	406	375	333	270	240	251	406
	AT	188	188	188	188	188	157	115	52	22	33	188
	ETc	114	109	133	137	145	138	120	52	0	50	66
C1	ST	406	406	406	406	403	359	307	243	207	202	339
	AT	188	188	188	188	185	141	89	25	0	0	121
C2	ST	406	406	406	406	406	366	317	251	217	215	366
	AT	188	188	188	188	188	148	99	33	0	0	148
C3	ST	406	406	406	406	406	373	329	264	233	244	406
	AT	188	188	188	188	188	155	111	46	15	26	188
C4	ST	406	406	406	406	406	378	337	271	242	260	406
	AT	188	188	188	188	188	160	119	53	24	42	188
	ETc	119	114	139	143	152	144	126	54	0	53	69
C5	ST	406	406	406	406	397	349	294	228	193	185	317
	AT	188	188	188	188	179	131	76	10	0	0	99
C6	ST	406	406	406	406	404	359	306	239	203	199	344
	AT	188	188	188	188	186	141	88	21	0	0	126
C7	ST	406	406	406	406	406	368	320	253	220	225	397
	AT	188	188	188	188	188	150	102	35	12	17	179
C8	ST	406	406	406	406	406	372	330	259	228	240	406
	AT	188	188	188	188	188	154	112	41	10	22	188
	ETc	125	119	146	150	159	151	132	58	0	56	73
C9	ST	406	406	406	406	391	338	281	213	177	167	294
	AT	188	188	188	188	173	120	63	0	0	0	76
C10	ST	406	406	406	406	398	349	292	223	187	180	320
	AT	188	188	188	188	180	131	74	5	0	0	102
C11	ST	406	406	406	406	406	363	310	240	205	204	372
	AT	188	188	188	188	188	145	92	22	0	0	154
C12	ST	406	406	406	406	406	367	317	246	213	218	399
	AT	188	188	188	188	188	149	99	28	0	0	181
	ETc	131	124	152	157	166	158	138	59	0	58	76

Keterangan : AT= Air tersedia (mm/bulan); ETC= Kebutuhan air tanaman (mm/bulan)

## Lampiran 15. Data Ketersediaan Air Lokasi Gedangan

				Ketersediaan air (mm)											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des			
C0	ST	525	525	525	525	525	494	451	383	350	361	525	525		
	AT	171	171	171	171	171	140	97	29	0	7	171	171		
	ETc	114	109	133	137	145	138	120	52	0	50	66	101		
C1	ST	525	525	525	525	522	477	423	353	312	306	443	525		
	AT	171	171	171	171	168	123	69	0	0	0	89	171		
C2	ST	525	525	525	525	525	485	433	361	323	321	472	525		
	AT	171	171	171	171	171	131	79	7	0	0	118	171		
C3	ST	525	525	525	525	525	492	447	377	342	353	525	525		
	AT	171	171	171	171	171	138	93	23	0	0	171	171		
C4	ST	525	525	525	525	525	497	454	384	352	370	525	525		
	AT	171	171	171	171	171	143	100	30	0	16	171	171		
C5	ETc	119	114	139	143	152	144	126	54	0	53	69	106		
	ST	525	525	525	525	516	467	409	336	295	286	418	525		
C6	AT	171	171	171	171	162	113	55	0	0	0	64	171		
	ST	525	525	525	525	523	477	422	348	307	302	448	525		
C7	AT	171	171	171	171	169	123	68	0	0	0	94	171		
	ST	525	525	525	525	525	486	436	364	327	332	504	525		
C8	AT	171	171	171	171	171	132	82	10	0	0	150	171		
	ST	525	525	525	525	525	491	447	371	336	348	525	525		
C9	AT	171	171	171	171	171	137	93	17	0	0	171	171		
	ETc	125	119	146	150	159	151	132	58	0	56	73	111		
C10	ST	525	525	525	525	510	456	395	319	276	264	391	525		
	AT	171	171	171	171	156	102	41	0	0	0	37	171		
C11	ST	525	525	525	525	517	467	407	330	288	279	420	525		
	AT	171	171	171	171	163	113	53	0	0	0	66	171		
C12	ST	525	525	525	525	525	481	426	350	310	309	476	525		
	AT	171	171	171	171	171	127	72	0	0	0	122	171		
C12	ETc	131	124	152	157	166	158	138	59	0	58	76	116		

Keterangan : AT= Air tersedia (mm/bulan); ETc= Kebutuhan air tanaman (mm/bulan)

Lampiran 16. Dokumentasi Penelitian



Pengambilan sampel tanah



Analisis pH



## Analisis Tekstur Tanah