

**MODEL PENGELOLAAN KAWASAN KARST UNTUK
KETERSEDIAAN AIR PADA BEBERAPA SISTEM PERTANIAN**

**. KARST AREA MANAGEMENT MODEL FOR WATER
AVAILABILITY IN SEVERAL AGRICULTURAL SYSTEMS**

**MUH. ABBAS
P012191001**



**PROGRAM MAGISTER SISTEM-SISTEM PERTANIAN
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

**MODEL PENGELOLAAN KAWASAN KARST UNTUK
KETERSEDIAAN AIR PADA BEBERAPA SISTEM PERTANIAN**

Tesis

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar magister

Program Studi Sistem-sistem Pertanian

Disusun dan diajukan oleh

Muh. Abbas
P012191001

Kepada

**PROGRAM MAGISTER SISTEM-SISTEM PERTANIAN
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

**MODEL PENGELOLAAN KAWASAN KARTS UNTUK KETERSEDIAAN
AIR PADA BEBERAPA SISTEM PERTANIAN**

Disusun dan diajukan oleh:

MUH. ABBAS
NIM: P012191001

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Magister Program Studi Sistem-Sistem
Pertanian Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 7 Oktober 2022
Dan dinyatakan memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Pembimbing Utama

Dr. Ir. Burhanuddin Rasyid, M.Sc.
NIP. 19640721 199002 1 001

Pembimbing Pendamping

Dr. Mahmud Achmad, MP.
Nip. 19700603 199403 1 003

Ketua Program Studi
Sistem-Sistem Pertanian,

Dr. Ir. Syatrianty A. Syaiful, M.S.
NIP. 19620324 198702 2 001



Pekan Sekolah Pascasarjana
Universitas Hasanuddin,

Prof. Dr. Budu, Ph.D., Sp.M(K), M.MedEd.
NIP. 19661213 199503 1 009

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, tesis berjudul “Model Pengelolaan Kawasan Karst untuk Ketersediaan Air pada Beberapa Sistem Pertanian” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing Dr. Ir. Burhanuddin Rasyid, M,Sc sebagai Pembimbing Utama dan Dr. Ir. Mahmud Achmad, MP. sebagai Pembimbing Pendamping. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka disertasi ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di Jurnal Ecosolum, Vol. 11 No. 1 Tahun 2022 dan DOI: 10.20956/ecosolum.v11i1.21197 sebagai artikel dengan judul “Potensi Ketersediaan Air Tanah dan Neraca Air Wilayah Karst di Kabupaten Maros”.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 21 oktober 2022

Yang Menyatakan



Muh. Abbas
Muh. Abbas

Ucapan Terima Kasih

Saya bersyukur bahwa tesis ini akhirnya dapat terselesaikan dengan baik. Penelitian yang saya lakukan dapat terlaksana dengan sukses dan tesis ini dapat terampungkan atas bimbingan, diskusi dan arahan Dr. Ir. Burhanuddin Rasyid, M, Sc. sebagai Pembimbing Utama dan Dr. Ir. Mahmud Achmad, MP. sebagai Pembimbing Pendamping. Saya mengucapkan berlimpah terima kasih kepada mereka. Penghargaan yang tinggi juga saya sampaikan kepada Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin atas kesempatan untuk menggunakan fasilitas dan peralatan di Laboratorium Kimia dan Fisika.

Kepada Sartika Laban, S.P., M.P., P.hD. banyak memberikan masukan khususnya untuk Bab II, termasuk Anita S.P. yang mencapai gelar sarjananya banyak membantu soal-soal metodologi pada Bab II, saya mengucapkan terima kasih. Ucapan terima kasih saya ucapkan kepada Khaerunnisa Amir S.P. sebagai teman diskusi dalam pembahasan Bab III. Kepada Dr. Suryansyah Surahman S.P., M.P. memberikan arahan untuk penyelesaian Bab IV, dan Trilinda Sari banyak membantu untuk Bab IV.

Ucapan terima kasih untuk teman-teman di lapangan, Nurul Amri S.P. Fajrul Fikri Zaman S.P. Dirman S.P., Amin Rais Said, Ibrahim, Raja Lantera, dan Azhar. Teman-teman di laboratorium dan beberapa berkas-berkas persiapan ujian yang banyak membantu, Andi Asri Mulyani Parahyanti Makmur, Asty Dwijayarti Maulana, Fiqiatul Faidah, Nur Azzah Rombeallo, Annisa Fadlila, Syamsyidar, Hesti Wulansari, Resa Putri Febri Anriani dan Nurul Khalishah Nahumarury. Kepada pimpinan Universitas Hasanuddin dan Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin yang telah memfasilitasi saya menempuh program magister serta para dosen dan civitas akademik Pascasarjana.

Akhirnya, kepada almarhum Ibu saya Hadra, doa terbaik selalu tercurah kepadanya, seperti dua matahari tenggelam di hari itu setelah kepergiannya di Haribaan dan Ayah saya Wahid saya mengucapkan limpah terima kasih atas doa, pengorbanan selama saya menempuh pendidikan. Penghargaan yang besar juga saya sampaikan kepada Dr. Ir. Asmita Ahmad, S.T. M.Si. yang selalu setia menumbuhkan rasa percaya diri saya, dengan segala wejangan-wejangannya yang telah menjelma menjadi ibu, saya ucapkan terima kasih. Untuk kakak perempuan saya Wahida yang baik hati, terima kasih atas motivasi dan dukungan yang tak ternilai.

Penulis, 21 oktober 2022



ABSTRAK

MUH ABBAS. Model Pengelolaan Kawasan Karst untuk Ketersediaan Air pada Beberapa Sistem Pertanian (dibimbing oleh Burhanuddin Rasyid dan Mahmud Achmad).

Pengelolaan kawasan karst seharusnya didasarkan pada pemahaman karakteristik hidrologi melalui pendekatan holistik untuk keberlanjutan pengelolaan beberapa sistem pertanian. Penelitian ini bertujuan untuk: 1). Menganalisis potensi ketersediaan air dengan menghitung besar masukan ataupun keluaran air dan melakukan analisis kebutuhan air tanaman pada beberapa sistem pertanian Kawasan Karst Kabupaten Maros. 2). Melakukan kajian mengenai model pengelolaan untuk memanfaatkan ketersediaan air pada beberapa sistem pertanian di Kawasan Karst Kabupaten Maros.

Penelitian dibagi 3 tahap, meliputi: 1). Potensi ketersediaan air tanah dan neraca air wilayah karst di Kabupaten Maros, 2). Kebutuhan air tanaman pada beberapa sistem pertanian di wilayah karst Kabupaten Maros, 3). Karakteristik hidrologi menggunakan model swat pada beberapa sistem pertanian Kawasan Karst Maros.

Analisis ketersediaan air pada Kawasan Karst Maros menunjukkan terjadinya surplus pada bulan november sampai juni dan defisit pada bulan juli sampai oktober, dengan total surplus 1296 mm/tahun dan total defisit 369 mm/tahun. Kebutuhan air irigasi di musim utama untuk tanaman padi, jagung, kacang tanah secara berurut adalah 324.6 mm/musim, 18.4 mm/musim dan 16.1 mm/musim, sedangkan di musim gadu sebesar 440.3 mm/musim, 33.4 mm/musim dan 72.2 mm/musim. Rata-rata aliran air dari setiap sub DAS pada kondisi eksisting memperlihatkan aliran permukaan sebesar 673.46 mm/tahun, aliran lateral 155.09 mm/tahun dan aliran bawah tanah 1532.34 mm/tahun. Hasil simulasi memperlihatkan penurunan aliran permukaan sebesar 15,3% dan kenaikan aliran lateral sebesar 26% dari kondisi eksisting. Pada aliran bawah tanah tetap mengalami kenaikan tetapi tidak signifikan yaitu 4,2%.

Kata kunci: air, irigasi, Karst, Maros, SWAT, ketersediaan, kebutuhan, tanaman, Thornthwait-Mather.

ABSTRACT

MUH ABBAS. **Karst Area Management Model for Water Availability in Several Agricultural Systems** (supervised by Burhanuddin Rasyid and Mahmud Achmad).

Management of karst areas should be based on understanding hydrological characteristics through a holistic approach for sustainable management of several agricultural systems. This study aims to: 1). Analyzing the potential for water availability by calculating the amount of water input or output and analyzing crop water requirements in several agricultural systems in the karst area of Maros Regency. 2). Studying the management model for the use of water availability in several agricultural systems in the Karst Region of Maros Regency.

This research is divided into 3 stages, among others: 1). Potential availability of groundwater and water balance of karst areas in Maros Regency, 2). Plant water needs in several agricultural systems in the karst area of Maros Regency, 3). Hydrological characteristics using a swat model on several agricultural systems in the Maros karst area.

Analysis of water availability in the Maros karst area shows a surplus in November to June and a deficit in July to October, with a total surplus of 1296 mm/year and a total deficit of 369 mm/year. Irrigation water requirements in the main season for rice, corn and peanuts are 324.6 mm/season, 18.4 mm/season and 16.1 mm/season, while in the gadu season it is 440.3 mm/season, 33, 4 mm/season and 72.2 mm. /season. The average water flow from each sub-watershed in the existing conditions shows a surface flow of 673.46 mm/year, a lateral flow of 155.09 mm/year and an underground flow of 1532.34 mm/year. The simulation results show a decrease in surface runoff by 15.3% and an increase in lateral flow by 26% from the existing condition. Underground flow continued to increase but not significantly by 4.2%.

Keywords: availability, crops, demand, irrigation, Karst, Maros, SWAT, Thornthwait-Mather, water.

DAFTAR ISI

halaman

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR ISTILAH	xii
BAB I. PENDAHULUAN UMUM	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	3
C. Tujuan Penelitian.....	3
D. Kebaruan Penelitian	4
E. Ruang Lingkup Penelitian	7
1. Neraca Air.....	8
2. Kebutuhan Air Tanaman	9
3. Model Hidrologi.....	10
4. Model Pengelolaan Kawasan Karst	11
F. Sistematika Penulisan	13
BAB II. POTENSI KETERSEDIAN AIR TANAH DAN NERACA AIR WILAYAH KARST DI KABUPATEN MAROS	15
A. ABSTRAK.....	15
B. PENDAHULUAN	16
C. METODE PENELITIAN	17
1. Pengumpulan Data.....	17
2. Analisis Laboratorium.....	18
3. Analisis Neraca Air Wilayah	18
D. HASIL DAN PEMBAHASAN	21
1. Konduktifitas Hidrolik.....	22

2.	Retensi Air Tanah dan Kapasitas Air Tersedia.....	24
3.	Neraca Air Wilayah.....	26
E.	KESIMPULAN.....	29
BAB III. KEBUTUHAN AIR TANAMAN PADA BEBERAPA SISTEM PERTANIAN DI WILAYAH KARST KABUPATEN MAROS.....		30
A.	ABSTRAK.....	30
B.	PENDAHULUAN.....	30
C.	METODE PENELITIAN.....	32
D.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
1.	PADI SAWAH.....	34
2.	JAGUNG.....	36
3.	KACANG TANAH.....	38
4.	KOPI.....	40
E.	KESIMPULAN.....	42
BAB IV. KARAKTERISTIK HIDROLOGI MENGGUNAKAN MODEL SWAT PADA BEBERAPA SISTEM PERTANIAN KAWASAN KARST MAROS		43
A.	ABSTRAK.....	43
B.	PENDAHULUAN.....	44
C.	METODE PENELITIAN.....	45
1.	Lokasi Penelitian.....	45
2.	Pengumpulan Data.....	46
3.	Deskripsi Model.....	47
4.	Simulasi Penggunaan Lahan.....	48
D.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	49
1.	Kalibrasi dan Validasi.....	49
2.	Aliran Air.....	50
3.	Simulasi Penggunaan Lahan.....	53
E.	KESIMPULAN.....	56
BAB V. PEMBAHASAN UMUM.....		57
A.	Hubungan neraca air dan kebutuhan air irigasi.....	57
B.	Keberadaan air dan proses pertanian.....	58
BAB VI. PENUTUP.....		58
A.	Kesimpulan.....	58
B.	Rekomendasi.....	58
C.	Saran.....	59

DAFTAR PUSTAKA.....	60
LAMPIRAN	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Skema model neraca air (Sumber: Water Balance - Climate Change U.S. National Park Service)	8
Gambar 1. 2. Bagan alir perhitungan neraca air wilayah metode Thornthwait-Mather (Rambang, 2013).	9
Gambar 2. 1. Bagan alir perhitungan Thornthwait Mather.....	21
Gambar 2. 2. Hubungan antara curah hujan dan evapotranspirasi.....	27
Gambar 3. 2. Tampilan pilihan formula penentuan curah hujra efektif berdasar kan fao pada aplikasi cropwat 8.0.....	33
Gambar 4. 1 Lokasi penelitian.....	46
Gambar 4. 2 Analisis regresi perbandingan debit aliran observasi dan debit aliran model setelah kalibrasi (2015)	49
Gambar 4. 3 Grafik perbandingan debit aliran sungai aktual dan debit aliran sungai model setelah validasi (2015)	50
Gambar 4.4 Grafik karakteristik hidrologi eksisting berdasarkan tutupan lahan.....	52
Gambar 4.5 Perbandingan karakteristik hidrologi kondisi eksiting dan simulasi penggunaan lahan	54
Gambar 4.6 Grafik karakteristik hidrologi berdasarkan simulasi penggunaan lahan.....	55
Gambar 5. 1 Pola tanam usaha tani tanaman pangan.....	58

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Penelitian terkait pengelolaan kawasan karst Kabupaten Maros	5
Tabel 2. 1 Konduktifitas hidrolik daerah penelitian	22
Tabel 2. 2. Hasil analisis sifat tanah.....	23
Tabel 2. 3 Hasil analisis retensi air tanah.....	24
Tabel 2. 4 Hasil perhitungan kapasitas air tersedia (KAT)	26
Tabel 2. 5 Hasil analisis neraca air	26
Tabel 3. 1 Kebutuhan air irigasi untuk tanaman padi (waktu tanam 20/11).....	35
Tabel 3. 2 Kebutuhan air irigasi untuk tanaman padi (waktu tanam 20/04).....	36
Tabel 3. 3 Kebutuhan air irigasi untuk tanaman jagung (waktu tanam 01/10).....	37
Tabel 3. 4 Kebutuhan air irigasi untuk tanaman jagung (waktu tanam 11/03).....	38
Tabel 3. 5 Kebutuhan air irigasi untuk tanaman kacang tanah.....	39
Tabel 3. 6 Kebutuhan air irigasi untuk tanaman kacang tanah.....	40
Tabel 3. 7 Kebutuhan air irigasi untuk tanaman kopi	41
Tabel 4. 1 Klasifikasi penutupan lahan berdasarkan simulasi model SWAT	49
Tabel 4. 2 Karakteristik hidrologi eksisting sub DAS wilayah penelitian.....	51
Tabel 4. 3 Karakteristik hidrologi berdasarkan tutupan lahan.....	52

DAFTAR ISTILAH

Lambang/Singkatan	Arti dan keterangan
<i>A</i>	Luas penampang contoh tanah (cm ²)
<i>A</i>	Indeks panas
<i>AGRR</i>	Kapasitas ketersediaan air
<i>APWL</i>	Akumulasi potensi kehilangan air
<i>ArcGIS</i>	Program sistem informasi geografis
<i>ArcSWAT</i>	Ekstensi tambahan untuk ArcGIS
<i>Atm</i>	Satuan tekanan atmosfer
<i>Bulk density (BD)</i>	Bobot isi
<i>Cropwat 8.0</i>	Program berbasis windows yang digunakan untuk menghitung kebutuhan air irigasi
<i>Cm</i>	Sentimeter
<i>cm²</i>	Pengukuran luas dengan panjang satu Sentimeter dan lebar satu sentimeter
<i>Corn</i>	Jagung
<i>Coff</i>	Kopi
<i>CWR</i>	Crop water requirement
<i>D</i>	Defisit
<i>DAS</i>	Daerah Aliran Sungai
<i>DEM</i>	Digital elevation model
<i>E</i>	bilangan navier ($e = 2,718$)
<i>Eff rain</i>	Hujan efektif

Lambang/Singkatan	Arti dan keterangan
<i>Etp</i>	Evapotranspirasi tanaman potensial
<i>Eta</i>	Evapotranspirasi tanaman aktual
<i>Etx</i>	evapotranspirasi potensial belum dikoreksi
<i>f</i>	faktor koreksi (dilihat pada tebal koreksi lintang dan waktu)
<i>FC</i>	koefisien tanaman
<i>FRSE</i>	Forest-Evergreen
<i>FRST</i>	Forest-Mixed
<i>GW_Q</i>	Aliran bawah tanah
<i>Ha</i>	Hektar
<i>H</i>	Tinggi permukaan air dari permukaan tanah
<i>HRU</i>	Unit Respon Hidrologi
<i>I</i>	jumlah indeks panas dalam setahun
<i>I</i>	indeks panas bulanan
<i>Irr. Req.</i>	Irrigation Requirement
<i>K</i>	Konduktivitas Hidrolik
<i>KAT</i>	Kapasitas air tersedia
<i>Kc</i>	Koefisien tanaman
<i>KLHK</i>	Kementrian lingkungan hidup dan kehutanan
<i>L</i>	Tebal contoh tanah
<i>Land Use Split</i>	Tool pada ArcSWAT
<i>LAT_Q</i>	Aliran lateral

Lambang/Singkatan	Arti dan keterangan
<i>ml</i>	Mililiter
<i>mm</i>	Milimeter
<i>mm/dec</i>	Milimeter per dekade
<i>m³/detik</i>	Milimeter per detik
<i>NSE</i>	Nash sutchlife efficient
<i>P</i>	Curah hujan
<i>PAS</i>	Pori air tersedia
<i>Pf</i>	Satuan pressure plate
<i>PNUT</i>	Kacang tanah
<i>Q</i>	Banyaknya air yang mengalir setiap pengukuran
<i>RICE</i>	Lahan sawah
<i>Ro</i>	Run off
<i>S</i>	Surplus
<i>Soil Moisture Pressure Plate</i>	Alat untu mengukur retensi air
<i>ST</i>	kelengasan tanah
<i>STo</i>	tebal air maksimum yang dapat tersimpan pada setiap kedalaman lapisan tanah
<i>SUR_Q</i>	Aliran permukaan
<i>T</i>	suhu udara
<i>T</i>	Waktu pengukuran
<i>Thornthwaite-Mather</i>	Metode perhitungan neraca air
<i>Water Balance</i>	Neraca air

Lambang/Singkatan	Arti dan keterangan
<i>WHC</i>	Water holding capacity
<i>WYLD</i>	Total air
ΔST	Perubahan Kelengasan Tanah
$^{\circ}C$	Satuan suhu udara (derajat celcius)

BAB I

PENDAHULUAN UMUM

A. Latar Belakang

Istilah karst digunakan untuk menggambarkan bentang alam yang didalamnya terdapat gua dan sistem air bawah tanah yang luas, dikembangkan dari batuan yang terutama larut seperti batu kapur, marmer dan gipsum (Derek and Williams, 2007:1). Karst merupakan bentang alam yang memiliki karakteristik khusus, mengandung lebih dari 50% senyawa karbonat, terbentuk dengan sempurna pada batu gamping yang memiliki lebih dari 90% kalsium karbonat, sehingga dapat dinyatakan bahwa semakin besar kandungan karbonat, maka semakin sempurna pembentukan karst (Kusumayudha, 2018: 9-11). Dalam pembentukan karst, ada tiga agen utama yang berperan yaitu air, batu dan gas karbon dioksida (CO_2) (Gilli, 2011:20).

Dreybrodt (1988:1) memaparkan proses pelarutan terjadi saat karbon dioksida yang ada di atmosfer terlarut bersama air hujan membentuk asam karbonat (H_2CO_3) bekerja sama dalam proses erosi dan pelapukan batuan, proses ini dikenal dengan istilah solusional, intervensi air yang secara agresif menembus celah-celah batuan kapur sehingga menciptakan bentang alam unik yang disebut karst. Beberapa penelitian telah menguraikan kondisi lahan pada bentang alam karst terkait proses solusional yang terjadi membuat rentan terhadap kekeringan, sebab air tanah tidak mampu diikat dengan baik sehingga jatuh terjerembab ke dalam bawah tanah menciptakan aliran bawah tanah (Adji, 2009; Cahyadi, 2017; Cahyadi et al., 2013). Akibatnya, kondisi air tanah pada bentang alam karst menjadi polemik tersendiri bagi masyarakat sekitar, terutama pada wilayah-wilayah yang dijadikan sebagai lahan pertanian.

Beberapa contoh kasus bentang alam karst di belahan bumi tidak terlepas dari kekeringan, seperti di daerah karst tropis kering Semenanjung Yucatan di Meksiko (Estrada-Medina et al., 2013; Querejeta et al., 2007). Di Cina utara selama 40 tahun terakhir, masalah lingkungan yang terkait dengan sistem air karst termasuk penurunan kualitas air, pengeringan mata air dan penurunan muka air karst terus menerus (Wang et al., 2018). Di Jawa, Gunung Sewu yang terkenal juga mengalami kekeringan sepenuhnya pada musim kemarau (Uhlig, 1980; Kusumayudha, 2018: 123-126).

Kasus kekeringan lahan juga ditemukan pada wilayah karst di Kabupaten Maros, Heryani et al. (2014) dalam studi kasusnya menunjukkan bahwa pada tahun 1995 telah dibangun dam di Sungai Makarua, Cenrana. Namun dam ini tidak berfungsi dengan baik untuk menampung debit air sebab berada pada batuan dasar kapur yang sifatnya cepat meloloskan air ke bawah permukaan, sehingga debit air yang ditampung dam tidak mampu menjangkau jaringan-jaringan irigasi yang ada. Dari hasil temuannya dengan petani, Heryani menuliskan bahwa petani hanya dapat melakukan penanaman padi sekali setahun. Jadi, secara fisik bentang alam dengan batuan dasar batu kapur akan cenderung kering dan tandus terlebih pada musim kemarau, sehingga lahan kurang produktif.

Ketersediaan air menjadi penting dalam proses pertanian. Interaksi antara air dan faktor fisik lainnya yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman harus dipertimbangkan (Kirkham 2005:109). Air dapat melewati pori-pori dalam tanah dan membawa zat-zat hara untuk menjangkau permukaan akar tanaman (Musa and Nasaruddin 2012:33). Sehingga dibutuhkan model pengelolaan yang baik untuk memanfaatkan air dengan maksimal pada waktu-waktu tertentu terutama pada musim kemarau.

Studi ini akan mengulas lebih banyak pada tiga cakupan sistem pertanian yang terdapat di dalam kawasan karst Maros. *Pertama*, lahan sawah yang memiliki sebaran cukup luas pada wilayah kawasan karst di Kabupaten Maros. Dari peta tutupan lahan yang telah dirilis ada sekitar 2.321,12 ha luas lahan sawah Kawasan karst (KLHK, 2019), dari 53.904 ha total luas lahan sawah Kabupaten Maros (BPS, 2015). *Kedua*, Pertanian Lahan Kering merupakan ciri khas kawasan karst, termasuk yang ada di Kabupaten Maros, luasannya mencapai 2.483,50 ha bahkan lebih luas lagi, pertanian lahan kering bercampur dengan semak sekitar 8.061,85 ha (KLHK, 2019). *Ketiga*, hutan lahan kering sekunder memiliki sebaran terluas yaitu 12.602,30 ha (KLHK, 2019), hutan ini di dominasi oleh perbukitan karst. Ketiga cakupan ini akan dilakukan kajian hidrologi dengan menghitung dan membandingkan ketersediaan air, melalui surplus-defisit pada beberapa sistem pertanian kemudian akan menghubungkan dengan kebutuhan air tanaman. Dari penelusuran ini, akan mengolah lebih lanjut model hidrologi yang dibangun berdasarkan pola ketersediaan air pada kawasan karst.

Proses penelitian memperhatikan beberapa hal, menurut Schumer, (2014: 376) Semua proses hidrologi dalam siklus air memang bersifat deterministik, diatur oleh hukum fisik yang dapat digunakan untuk memprediksi jika memiliki

pengetahuan lengkap tentang atmosfer, lapisan batas permukaan bumi dan bawah permukaan. Namun prediksi secara deterministik dapat dipersulit oleh fenomena transportasi hidrologi, seperti aliran air, zat terlarut dan endapan sedimen serta intensitas peristiwa curah hujan dan fluktuasi suhu. Dengan demikian, model pengelolaan perlu memperhitungkan hal yang berubah-ubah dalam ruang dan waktu. Untuk mengatasi masalah yang disebutkan diatas, dalam perkembangan situasi yang cepat ini, maka perlu mendorong kajian tentang cara mengelola kawasan karst. Studi ini menekankan pentingnya perhitungan ketersediaan air untuk pemanfaatan sumber daya air secara maksimal tanpa mengecualikan asas keberkelanjutan terhadap beberapa sistem pertanian kawasan karst di Kabupaten Maros.

B. Rumusan Masalah

Permasalahan pengelolaan kawasan karst khususnya dalam bidang pertanian dapat dilihat dari gejala yang timbul. Beberapa bagian wilayah kawasan karst Maros mengalami kekeringan. Isu kekeringan ini disebabkan karena Kawasan Karst Maros merupakan wilayah yang terkenal dengan adanya aliran air yang berada di bawah permukaan. Letak air tanah itulah yang menyebabkan air sulit untuk diambil atau dimanfaatkan. Namun pada waktu-waktu tertentu air cukup melimpah terutama pada musim hujan. Sehingga dari deskripsi tersebut terjelaskan bahwa pemanfaatan ketersediaan air untuk keperluan proses pertanian pada beberapa sistem pertanian di kawasan karst belum dikelola dengan baik

C. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui ketersediaan air melalui perhitungan besar masukan ataupun keluaran air dan melakukan analisis kebutuhan air tanaman pada beberapa sistem pertanian kawasan karst Kabupaten Maros. Kemudian juga melakukan kajian mengenai model pengelolaan untuk memanfaatkan ketersediaan air pada beberapa sistem pertanian di kawasan karst Kabupaten Maros.

D. Kebaruan Penelitian

Beberapa hasil studi pustaka, di temukan beberapa penelitian yang berlangsung di kawasan karst kabupaten maros. Beberapa penelitian banyak mengungkap tentang keadaan geologi dan sistem hidrologi penguasaan karst maros. Beberapa juga menjelaskan tentang ketersediaan air kawasan karst Maros dengan prinsip neraca air.

Penelitian dari Taslim (2014, 2017) mengangkat tema tentang hidrogeologi kawasan karst. Penelitian mengkaji perilaku hidrologi kawasan karst dengan studi kasus yang berada di Gua Saleh Kecamatan Simbang, Kabupaten Maros. Penelitian menjelaskan potensi sumberdaya air Gua Saleh berdasarkan bentuk geomorfologi karst. Namun, tidak menghitung lebih jauh debit air yang dialirkan Gua Saleh sebagai daerah tangkapan hujan, penyimpanan air yang kemudian menjadi aliran sungai bawah tanah.

Penelitian Arsyad et al. (2014) menjelaskan tentang ketersediaan air pada sungai bawah tanah serta menghitung efek langsung manfaat ekonomi pada sektor pertanian, pariwisata dan sumber air minum serta beberapa layanan alam yang tidak langsung memberikan manfaat terhadap kehidupan masyarakat. Penelitian berada di sub DAS Bantimurung, yang masih berada dalam kawasan DAS Maros. Nilai ekonomi sumberdaya air bawah tanah kawasan karst sangat bergantung pada ketersediaan debit air, yakni pada debit terendah terjadi pada bulan september dengan nilai 1,00 m³/s dan tertinggi pada bulan Januari mencapai 20 m³/s . kebutuhan air irigasi sebesar 167,71 juta m³, sumber air minum 2.037.943 m³ sedangkan air yang tersedia 220,8 juta m³/ tahun, sehingga ada surplus sebesar 15,10 juta m³ setiap tahun untuk pertumbuhan penduduk sebesar 7-8% di Kabupaten Maros .

Saputri *et al.* (2016) melakukan penelitian di Kawasan Karst Maros untuk mendapatkan nilai ketersediaan air tanah dalam waktu periode tertentu. Metode yang digunakan adalah Throntwaite-Mather. Perhitungan neraca air dilakukan pada tujuh titik stasiun curah hujan, yang kemudian hasil ditampilkan dalam bentuk spasial menggunakan metode IDW (*Inverse Distance Weighted*). Hasil olah data menunjukkan defisit air pada bulan juli-september dan surplus terjadi pada bulan desember-februari.

Tabel 1. 1 Penelitian terkait pengelolaan kawasan karst Kabupaten Maros

No	Judul Penelitian	Peneliti	Metode
1	Analisis Ketersediaan Air Sungai Bawah Tanah dan Pemanfaatan Berkelanjutan di Kawasan Karst Maros Sulawesi Selatan	(M. Arsyad et al., 2014)	Analisis Deskriptif Kuantitatif
2	Perilaku Hidrogeologi Kawasan Karst Maros : Studi Kasus Gua Saleh Daerah Patunuangasue, Kecamatan Simbang	(Taslim, 2014)	Survei Geofisik dan Analisis Deskriptif
3	Analisis Spasial Ketersediaan Air Menggunakan Metode Neraca Air Thornthwaite-Mather di Kawasan Karst Kabupaten Maros	(Saputri et al., 2016)	Throntwaite-Mather
4	Pemodelan Saluran Sungai Bawah Tanah Goa Saleh Pada Morfologi Karst Daerah Pattunuangasue Kabupaten Maros Menggunakan Metode Geolistrik	(Taslim, 2017)	Survei Geofisik dan Analisis Deskriptif
5	Analisis Potensi Kawasan Karst Untuk Sumber Daya Air di Kabupaten Maros	(Tanjung, 2017)	Throntwaite-Mather
6	Kebijakan Pengelolaan Ruang dan Keberlanjutan Kawasan Karst Maros Pangkep Provinsi Sulawesi Selatan	(Fatinaware dan Fauzi, 2019)	Analisis Deskriptif Kulitatif

Tanjung (2017) juga melakukan penelitian tentang potensi ketersediaan air Kawasan Karst Maros. Penelitian membandingkan antara ketersediaan air dan total kebutuhan air yang terhitung didalamnya kebutuhan air domestik, pertanian, peternakan dan industri. Analisis ketersediaan air menggunakan metode Throntwaite-Mather. Hasil penelitian memperlihatkan curah hujan sebesar 3124 mm/tahun dan yang terkonversi sebagai air tersedia sebesar 52.8%, yang letaknya

dibawah permukaan. Total air tersedia sebesar 397 juta mm³/tahun sedangkan total kebutuhan air sebesar 22.5% dari air yang tersedia di kawasan Karst Maros. Tapi tetap terjadi defisit pada bulan juni-oktober dan surplus pada bulan november-mei.

Penelitian terakhir dari Fatinaware et al. (2019) mengkaji mengenai kebijakan pengelolaan ruang dengan pertimbangan asas keberlanjutan kawasan karst Maros-Pangkep. Pengelolaan kawasan karst berbasis *Business as Usual* (BAU) yang masih mengedepankan pendekatan ekonomi dan eksploitasi kawasan untuk pertambangan. Kecenderungan pengambilan keputusan mengabaikan melibatkan masyarakat sehingga berdampak pada pengelolaan lingkungan, sosial budaya dan ekonomi yang tidak berlanjut.

Beberapa penelitian yang telah dijabarkan, dalam rangka menganalisis pengelolaan kawasan karst, utamanya berkaitan dengan ketersediaan air, hasil-hasil penelitian yang berlangsung tersebut menggunakan metode-metode yang masih terbatas. Penilaian status ketersediaan air masih yang spesifik pada lahan-lahan terbatas sehingga dalam pengambilan kesimpulan, akan kesulitan melakukan generalisasi terhadap bentang lahan yang lebih luas. Untuk itu dibutuhkan model penilaian yang lebih kompleks yang mencakup bentang lahan yang lebih luas. Sebagai kebaruan penelitian ini maka digunakan model SWAT dengan input data yang cukup kompleks seperti, jenis tanah, tutupan lahan, lereng dan data klimatologi dalam periode waktu yang cukup panjang, akan menghasilkan data keluaran yang lebih spesifik dan lebih luas. SWAT mampu memperlihatkan letak-letak keberadaan air seperti aliran permukaan, lateral dan aliran bawah tanah.

Penelitian yang dilakukan juga masih menggunakan metode Throntwaite-Mather sebagai pembandingan model SWAT. Selain itu untuk memudahkan dalam penentuan waktu tanam dan kebutuhan air irigasi pada beberapa sistem pertanian, penelitian ini menggunakan CROPWAT 8.0. Hasil dari ketiga metode tersebut dikombinasikan kedalam pembahasan umum untuk melihat pengelolaan kawasan karst dalam ketersediaan air.

E. Ruang Lingkup Penelitian

Secara geografis wilayah penelitian terletak antara 119°36'0"E – 119°50'0"E dan 4°50'0"S – 5°4'0"S. Penelitian ini dilaksanakan di dalam area DAS Maros. Luas DAS Maros 73.119 ha (KLHK, 2019), sedangkan wilayah penelitian sekitar 18.266 ha yang didominasi oleh bentang alam karst.

Proses pelarutan terjadi saat karbondioksida yang ada di atmosfer terlarut bersama air hujan membentuk asam karbonat (H_2CO_3) bekerja sama dalam proses erosi dan pelapukan batuan, proses ini dikenal dengan istilah solusional, intervensi air yang secara agresif menembus celah-celah batuan kapur sehingga menciptakan bentang alam unik yang disebut karst (Wolfgang, 1988:1). Kawasan karst umumnya memiliki lingkungan alami yang cukup terjaga, tetapi sebagian besar memiliki beberapa bentuk kegiatan pertanian. Pada dataran tinggi, kegiatan pertanian relatif seenggang akibat keberadaan tanah yang berbatu, tanah dangkal dan kelangkaan air. Namun jika kegiatan pertanian yang intensif, resiko pelarutan akan semakin besar (Coxon, 2011).

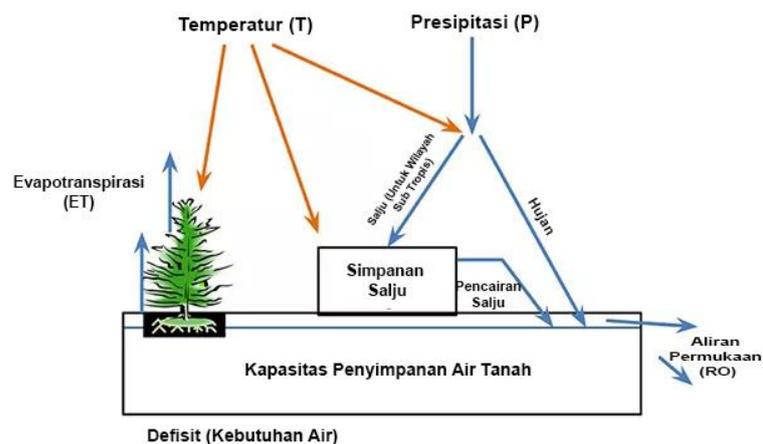
Bentuk usaha pertanian di kawasan karst memberi dampak serius terhadap tanah, air, bentang alam, ekosistem dan keanekaragaman hayati, serta keberlanjutan sosial ekonomi masyarakat setempat. Kawasan karst sensitif terhadap aktifitas alih fungsi lahan dari hutan untuk pertanian atau intensifikasi penggembalaan ataupun proses budidaya. Perilaku tersebut memicu erosi tanah akibat kerja sama oleh tanah yang dangkal dan mudah terkikis serta celah yang melebar secara solusional di mana partikel-partikel tanah mudah diangkut (Coxon, 2011; Ficco et al., 2019: 112-113).

Manajemen yang berkelanjutan dibutuhkan untuk pemanfaatan sumber daya air karst di masa sekarang sekaligus tanpa mengurangi potensi pemanfaatan di masa depan. Sumber air tanah karst terkandung dalam akuifer yang meliputi pengisian, penyimpanan, dan pembuangan. Jika gabungan keluaran alami dan yang dipompa lebih besar dari pengisian ulang, maka sumber daya akan habis. Di karst, abstraksi air dapat terjadi di aliran alogenik yang mana dapat mengurangi pengisian, ditambah pemanfaatan air secara berlebihan, maka ini dapat menghabiskan aliran sungai pada bagian hilir (Derek and Williams, 2007:441)

1. Neraca Air

Sangkut paut antara masukan air absolut (*inflow*) dengan keluarnya air (*outflow*) pada suatu wilayah dalam satuan waktu tertentu, terminologi ini biasanya dilekatkan dengan neraca air (*water balance*). Dalam perhitungannya, neraca air mendeskripsikan prinsip bahwa dalam satuan waktu tertentu, input air absolut sama dengan keluaran air absolut ditambah dengan perubahan air cadangan, maka kadar perubahan air cadangan ini yang dapat bersimbol positif atau negatif (Soewarno, 2015:19).

Siklus air yang sangat intens dapat dikarakterisasi dan dikuantifikasi dalam membuat neraca air, baik itu daerah aliran sungai ataupun ladang-ladang pertanian yang mana perhitungannya meliputi semua aliran air dan batas-batas sistem yang dipertimbangkan. Pengetahuan ini penting untuk pengelolaan air yang benar di alam dan sistem pertanian. Ini memberikan indikasi kekuatan setiap komponen, yang penting untuk pengendaliannya dan untuk memastikan produktivitas maksimal dengan gangguan minimum dilingkungan (Reichardt et al., 1983)

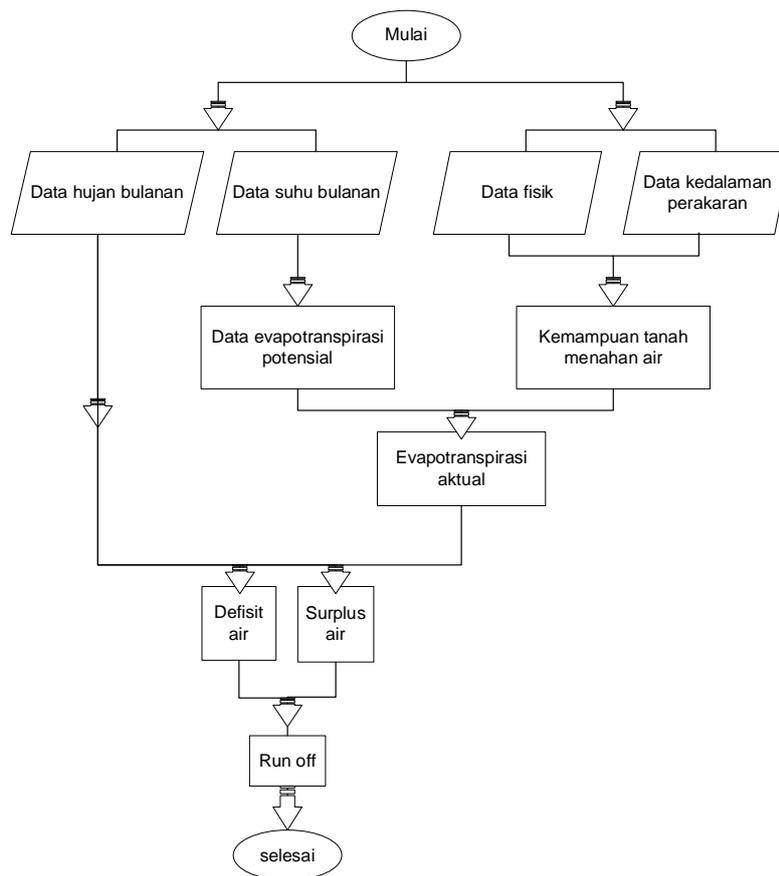


Gambar 1. 1. Skema model neraca air (Sumber: Water Balance - Climate Change U.S. National Park Service)

Gambar 1.1 menunjukkan model neraca air yang menurunkan banyak variabel dari suhu dan curah hujan yang penting bagi tumbuhan. Variabel-variabel ini termasuk kelembaban tanah, evapotranspirasi, limpasan, defisit air dan banyak lagi. Dibandingkan dengan suhu dan curah hujan, variabel-variabel ini biasanya lebih baik dalam memprediksi bagaimana tanaman merespon. Ini karena variabel tersebut adalah perkiraan yang lebih baik tentang kondisi yang sebenarnya dialami

tumbuhan. Misalnya, tidak semua curah hujan tersedia untuk tanaman, karena beberapa mengalir untuk menyediakan habitat bagi hewan air. Selain itu, tanaman tidak menggunakan hujan secara langsung, melainkan mengambil kelembapan dari tanah.

Pada perkembangannya, neraca air secara umum dapat dipahami dalam persamaan matematis dengan metode *Thornthwaite-Mather*. Metode ini menggunakan pendekatan neraca air dalam menilai indeks kekeringan. Data yang diperlukan dalam metode ini meliputi data curah hujan sebagai masukan, kemudian data evapotranspirasi dan debit air sebagai data keluaran. Selain itu diperlukan juga data sifat fisik tanah dan karakteristik lahan (Jauhari, 2016).



Gambar 1. 2. Bagan alir perhitungan neraca air wilayah metode Thornthwait-Mather (Rambang, 2013).

2. Kebutuhan Air Tanaman

Kebutuhan air tanaman dijelaskan sebagai jumlah air (mm) yang dibutuhkan untuk memenuhi air yang digunakan melalui evapotranspirasi (ET_c) oleh tanaman yang aman dari penyakit dan dibudidayakan pada ladang yang luas dengan keadaan tanah yang tidak membatasi seperti kesuburan tanah dan air

tanah yang tersedia sehingga mampu mendapatkan potensi produksi secara maksimal dibawah perlakuan lingkungan yang diberikan. Jika dalam pertumbuhannya ditemukan faktor lingkungan yang membatasi sehingga melenceng dari pertumbuhan secara optimal, maka evapotranspirasi yang terjadi dihitung berdasarkan keadaan yang berlaku dan dinyatakan sebagai evapotranspirasi tanaman aktual (Pereira and Alves, 2013).

Evapotranspirasi tanaman dapat dihitung dari data iklim dengan mengintegrasikan secara langsung faktor ketahanan tanaman, perbedaan anatomi daun, ciri stomata dan sifat aerodinamis. Faktor-faktor tersebut menyebabkan evapotranspirasi tanaman berbeda dengan evapotranspirasi tanaman acuan pada kondisi iklim yang sama. Maka pengaruh berbagai kondisi cuaca dimasukkan ke dalam Eto dan karakteristik tanaman ke dalam koefisien Kc (Allen et al., 1998: 1, 15, 89)

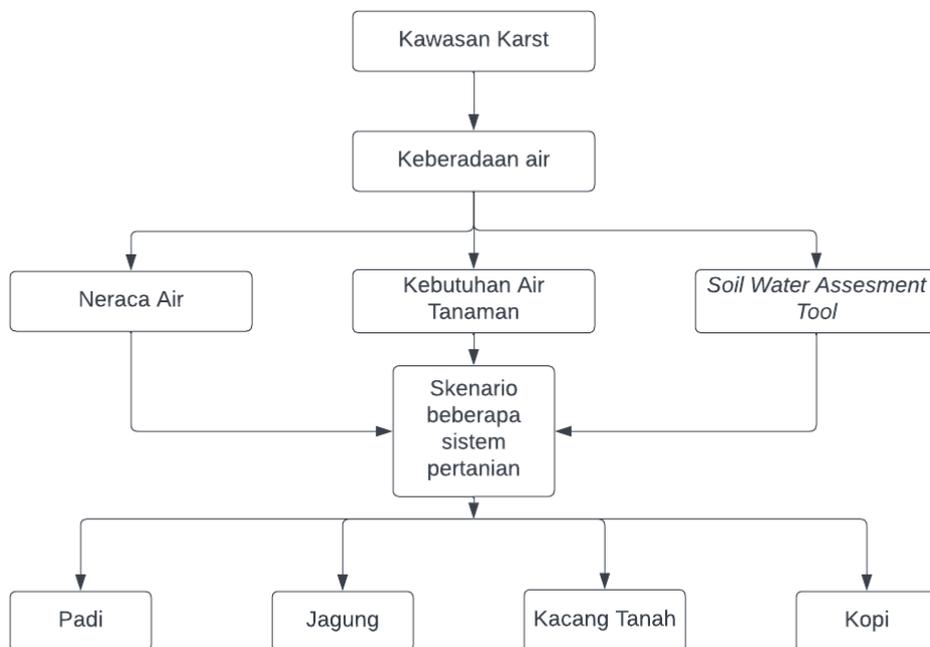
3. Model hidrologi

Model hidrologi yang dikembangkan selalu merujuk pada siklus hidrologi. Bahwa air yang beredar tanpa awal, jatuh ke tanah oleh proses hujan kemudian mengalir menjadi aliran permukaan dan meresap kedalam tanah sebagai infiltrasi, lalu masuk ke sungai, selanjutnya bermuara pada laut. Sepanjang peredaran air, penguapan tidak pernah jeda untuk membentuk titik-titik air pada awan. Sebagai penyederhanaan gambaran aktual siklus hidrologi, model hidrologi dibuat untuk memahami fungsi dan respon dari berbagai tangkapan air suatu wilayah. Kejadian-kejadian hidrologi dapat diprediksi melalui model hidrologi (Ginting, 2014: 4).

Pengelolaan air secara terpadu pada wilayah yang luas sebaiknya di kerjakan dalam satuan wilayah daerah aliran sungai melalui pemodelan (Arnold et al., 1998: 73). Salah satu model yang dapat digunakan adalah model SWAT (Soil and Water Assessment Tool). Model SWAT adalah model DAS simulasi berkelanjutan jangka panjang. Model ini berbasis fisik, efisien secara komputasi, dan mampu mensimulasikan detail spasial tingkat tinggi dengan memungkinkan pembagian DAS menjadi sub-DAS yang lebih kecil. SWAT memodelkan aliran air, transportasi sedimen, pertumbuhan tanaman/vegetasi, dan siklus hara pemodelan (Arnold et al., 1998; Venkatesh et al., 2018).

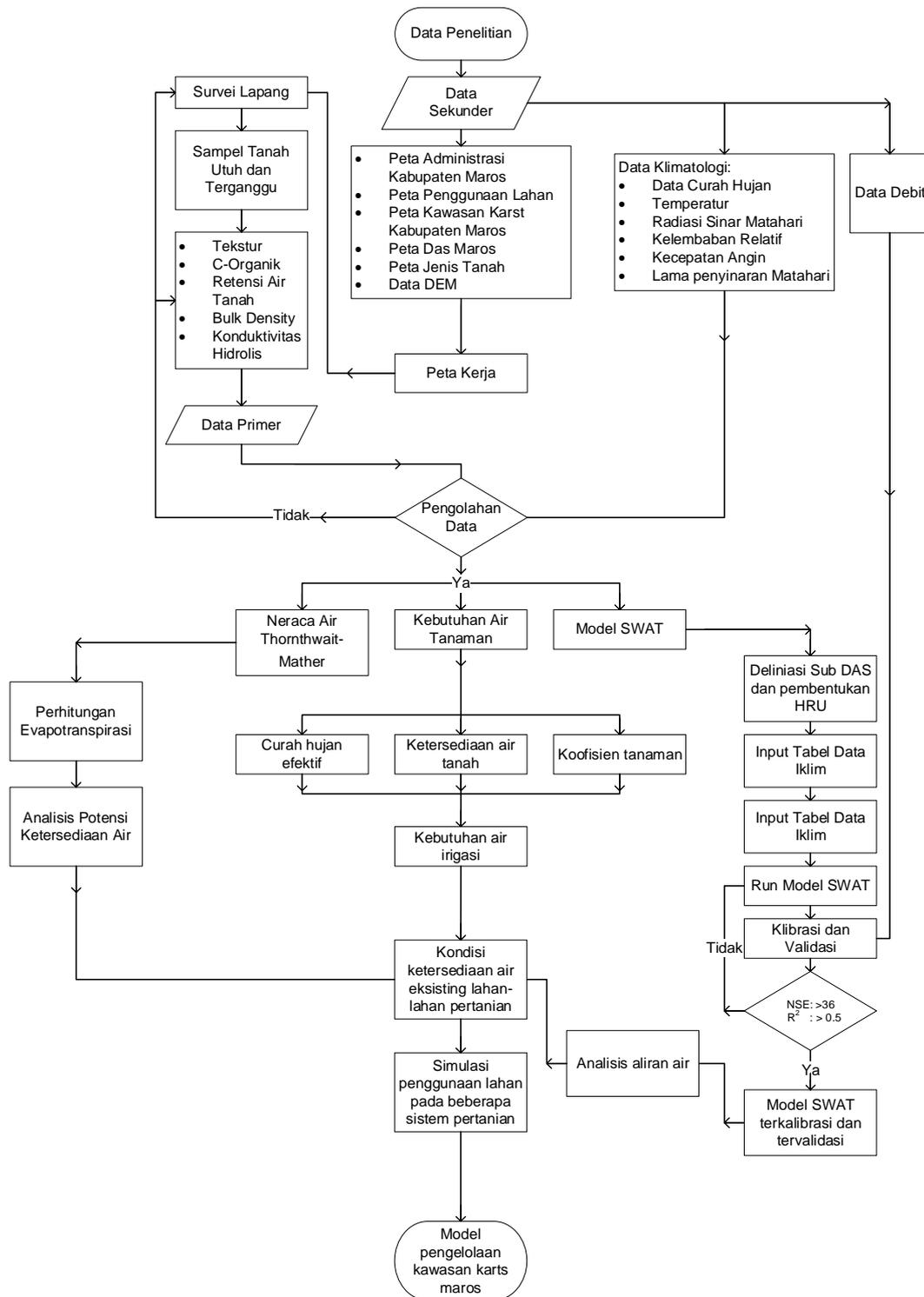
4. Model Pengelolaan Kawasan Karst

Sebagai upaya pengelolaan kawasan karst untuk ketersediaan air, penelitian ini menekankan pentingnya mengetahui keberadaan-keberadaan air berdasarkan karakteristik hidrologi. Pemahaman tentang karakteristik hidrologi akan memudahkan penentuan arah pengelolaan yang baik, sebagai daya dukung dalam proses pertanian. Beberapa sistem pertanian terdapat di dalam kawasan karst seperti padi yang di tanam secara monokultur di sawah irigasi ataupun tadah hujan. Pertanian lahan kering yang di dalamnya terdapat tanaman jagung dan kacang tanah, yang kadang ditanam secara tumpang sari. Hutan kering sekunder yang didalamnya juga terdapat tanaman kopi yang ditanam dibawah tebing-tebing karst. Kerangka model pengelolaan Kawasan Karst Maros dituangkan dalam kerangka penelitian pada Gambar 1.1.



Gambar 1. 3 Kerangka model pengelolaan kawasan karst

Tahapan pengelolaan kawasan karst diperlihatkan pada Gambar 1.2 Pertama, menganalisis ketersediaan air wilayah karst dengan prinsip neraca air menggunakan metode Throntwaite-Mather. Perhitungan neraca air akan memperlihatkan keadaan kelebihan air ataupun defisit pada ruang dan waktu tertentu. Satu-satunya input atau masukan air pada wilayah dalam waktu tertentu



Gambar 1.4 Bagan alir penelitian

adalah curah hujan, sebagai perbandingan keluaran air dalam bentuk evapotranspirasi dan aliran air tanah menuju outlet yang dipengaruhi oleh kapasitas tanah dalam menyimpan air.

Kedua, kebutuhan air irigasi dapat diprediksi dengan memahami curah hujan efektif dan evapotranspirasi, dapat dilakukan menggunakan aplikasi Cropwat 8.0. Untuk itu analisis kebutuhan air tanaman dilakukan pada beberapa sistem pertanian yang ada di wilayah karst Kabupaten Maros sebagai wilayah penelitian. Komoditi yang dipilih yaitu padi untuk mewakili sawah, jagung dan kacang tanah sebagai pertanian lahan kering dan kopi sebagai tanaman perkebunan yang dibudidayakan pada area hutan dibawah tebing-tebing karst. Seluruh komoditi merupakan tanaman yang dibudidaya oleh masyarakat setempat.

Ketiga, setelah melihat jumlah total air berdasarkan surplus-defisit, kemudian prediksi terhadap kebutuhan air irigasi pada beberapa sistem pertanian, keputusan terakhir dapat dilakukan setelah menganalisa sebaran air berdasarkan letak-letak air. Melalui SWAT ketersediaan air dapat di prediksi berdasarkan aliran permukaan, aliran lateral dan aliran bawah tanah pada luasan wilayah dan periode waktu tertentu. Hasil SWAT memperlihatkan kondisi eksisting dan dapat juga melakukan skenario dengan merekayasa tutupan lahan sehingga dapat memperkenalkan penggunaan lahan yang lebih spesifik pada wilayah penelitian.

F. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dibuat berdasarkan alur penelitian yang dilakukan sebagaimana ditunjukkan sebagai berikut:

- Bab I Menuliskan tentang pendahuluan secara umum yang didalamnya memuat latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, kebaruan penelitian, ruang lingkup penelitian dan sistematika penelitian
- Bab II Menuliskan tentang potensi ketersediaan air tanah dan neraca air wilayah karst di Kabupaten Maros. Pada bagian ini ditulis untuk menjawab tujuan pertama dari penelitian yaitu mengetahui ketersediaan air melalui perhitungan besar masukan ataupun keluaran air berdasarkan wilayah. Metode yang digunakan adalah Thornthwait – Mather. Data evapotranspirasi yang didapatkan akan digunakan untuk membandingkan kebutuhan air irigasi yang akan dibahas pada bab selanjutnya. Hasil neraca air juga dijadikan patokan sebagai penentuan waktu tanam yang tepat.
- Bab III Menuliskan tentang kebutuhan air irigasi berdasarkan komoditi padi, jagung, kacang tanah dan kopi. Dalam uraian ini tujuan yang

ingin dicapai untuk menghitung kebutuhan air pada beberapa sistem pertanian yang cenderung mengalami kekeringan di kawasan karst. Menggunakan aplikasi CROPWAT 8.0 membantu untuk melihat kebutuhan air irigasi pada suatu lahan. Hasil dari bab ini menunjukkan kebutuhan air irigasi, melihat lebih detail kekurangan air yang terjadi sehingga pada bab selanjutnya melakukan prediksi terkait letak-letak air, bermaksud untuk melihat dari mana sumber-sumber air yang paling layak dan efisien untuk menutupi kekurangan air irigasi.

Bab IV Menuliskan tentang karakteristik hidrologi pada kawasan karst. Menguraikan dengan detil keberadaan-keberadaan air, menjelaskan debit aliran permukaan, aliran lateral dan aliran bawah tanah. Letak-letak air berdasarkan sub-sub DAS yang terbentuk melalui penilaian SWAT dan menjelaskan sebaran keberadaan air berdasarkan tutupan lahan. Bab ini juga melakukan simulasi dengan memperkenalkan tanaman jagung, kacang tanah dan kopi serta melakukan perbaikan terhadap tutupan lahan hutan dengan peningkatan kualitas hutan.

Bab V Menunjukkan pembahasan umum yang diangkat dari hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan. Menguraikan hubungan neraca air dengan kebutuhan air tanaman dan keberadaan air sebagai penunjang proses pertanian. Memperlihatkan kelayakan usaha tani dari ketiga sistem pertanian berdasarkan kondisi ketersediaan air serta memperhatikan aspek sosio-ekonomi dari komoditi yang diperkenalkan.

BAB II

POTENSI KETERSEDIAAN AIR TANAH DAN NERACA AIR WILAYAH KARST DI KABUPATEN MAROS*

A. ABSTRAK

Perhitungan neraca air dapat mendeskripsikan kondisi air pada suatu wilayah. Keadaan iklim dan karakteristik tanah akan memberikan pengaruh neraca air pada suatu wilayah termasuk wilayah karst yang cenderung mengalami kekeringan. Penelitian ini melakukan analisa terhadap kapasitas tanah menyimpan air dan menghitung neraca air wilayah. Dengan bantuan alat *Soil Moisture Pressure Plate* pada tekanan 0,33 atm akan mengetahui kapasitas lapang pada tanah dan tekanan 15 atm untuk mendapatkan nilai titik layu permanen. Neraca air wilayah dihitung menggunakan metode Thornthwaite-Mather. Penelitian yang dilaksanakan pada kawasan karst Kabupaten Maros menunjukkan nilai pori air tersedia dengan kriteria sangat rendah sehingga mempengaruhi kapasitas air tersedia. Neraca air wilayah karst memperlihatkan surplus pada bulan november-juni dan defisit juli-oktober. Nilai total surplus 1296 mm/ tahun dan defisit 370 mm/tahun.

Kata Kunci: Air, karts, ketersediaan, neraca, Thornthwaite-Mather

*) Telah dipublikasikan di Jurnal *Ecolsolum*, Vol. 11 No. 1 Tahun 2022

B. PENDAHULUAN

Air merupakan element yang penting untuk proses pertanian, air berperan dalam proses metabolisme tanaman dengan melewati pori-pori tanah dan membawa zat-zat hara yang kemudian dapat di jerap oleh akar tanaman (Nasaruddin and Musa, 2012). Namun dalam beberapa kajian kehilangan air terbanyak justru melalui proses pertanian dalam bentuk evapotranspirasi (Mioduszewski, 2009; Molden et al., 2011). Lebih lanjut dijelaskan bahwa evapotranspirasi pertanian yang berasal langsung dari air tanah dan tersedia untuk tanaman atau *green water* mencapai sekitar 80 persen (Molden et al., 2011).

Kehilangan air melalui transpirasi merupakan konsekuensi fotosintesis yang tak terhindarkan tetapi dapat membantu tanaman dalam penyerapan hara. Transpirasi menyediakan kekuatan pendorong untuk transportasi air dan nutrisi dari akar ke tunas. Akibatnya, proses transpirasi mempengaruhi hasil dan kelangsungan hidup tanaman yang dibudidayakan (Liu et al., 2020). Kehilangan lainnya melalui evaporasi, seperti yang terjadi pada gurun evaporasi sangat tinggi akibat tidak adanya tutupan lahan. Jika kadar air tanah masih tinggi evaporasi juga tetap tinggi dan menurun seiring berkurangnya kadar air tanah dan masih berfluktuatif tergantung ketebalan tutupan tanah (Indriyani, 2021).

Sorotan penting lainnya adalah kehilangan air tanah, bahwa sebagian curah hujan yang diterima suatu lahan terikat di dalam tanah, sebagian lagi hilang sebagai limpasan permukaan dan perkolasi yang lebih dalam (Kanber et al., 1997). Perilaku air seperti ini sangat dipengaruhi retensi air tanah pada suatu lahan. Mulyono et al. (2020) menjelaskan bahwa kapasitas tukar kation, kandungan karbon organik, *bulk density* dan liat merupakan sifat tanah yang memiliki korelasi dan potensial dalam memprediksi retensi air tanah. Retensi air tanah menjadi penentu kapasitas tanah dalam menyimpan air, dalam terminologinya disebut *Water Holding Capacity* (WHC). Pengetahuan tentang WHC bersama evapotranspirasi menjadi dasar menghitung neraca air pada suatu wilayah (Thornthwaite and Mather 1957). Ketika ada defisit jumlah air di dalam tanah, profil tanah perlu diisi ulang dengan presipitasi atau irigasi.

Salah satu wilayah yang rentan kehilangan air adalah bentang lahan karst. Sifatnya yang mudah larut oleh efek kandungan karbonat pada batuan dasar pembentuk tanahnya (Dreybrodt, 1988), sehingga yang terjadi adalah kekeringan diatas permukaan tanahnya (Adji, 2009; Cahyadi, 2017, 2018). Namun,

masyarakat disekitar bentang lahan karst tetap melakukan usaha pertanian, yang pada dasarnya membutuhkan air untuk pertumbuhan tanaman. Untuk itu studi mengenai ketersediaan air pada wilayah karst dibutuhkan sebagai dasar acuan proses pertanian. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui surplus dan defisit bulanan di kawasan karst Maros dan potensi ketersediaan air dengan menggunakan metode Thornthwaite-Mather.

C. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di kawasan karst yang berada di dalam area DAS Maros dan analisis contoh tanah dilakukan di laboratorium fisika tanah Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin. Penelitian berlangsung pada bulan September 2020 hingga bulan Desember 2021.

1. Pengumpulan Data

Data sekunder yang dibutuhkan pada penelitian ini berupa data spasial meliputi, data administrasi Kabupaten Maros, peta kawasan karst Kabupaten Maros, Peta DAS Maros. Kemudian data klimatologi berupa data curah hujan, temperatur (suhu). Sedangkan untuk data primer meliputi pengambilan sampel tanah terganggu untuk mendapatkan data tekstur, bahan organik dan kadar air kapasitas lapang dan titik layu permanen. Kemudian pengambilan sampel tanah utuh untuk mendapatkan nilai bobot isi dan konduktivitas hidrolis.

Pengambilan titik sampel mewakili setiap tutupan lahan yang dominan di wilayah kawasan karst maros.

Tabel 1. Tutupan lahan dan kode titik sampel

Titik Sampel	Tutupan Lahan
01	Hutan Lahan Kering Sekunder
02	Sawah
03	Sawah
04	Pertanian Lahan Kering
05	Pertanian Lahan Kering
06	Hutan Lahan Kering Sekunder

Sumber: KLHK (2019)

2. Analisis Laboratorium

Analisis dimulai dengan penentuan kelas tekstur tanah dengan metode Hidrometer, penentuan bahan organik dengan metode *Wakley* dan *black*, penentuan Bobot isi dengan metode Gravimetrik.

Penentuan konduktivitas hidrolis mengacu pada hukum darcy dengan menggunakan rumus sebagai berikut;

$$K = \frac{Q.L}{A.t.H} \dots\dots\dots(1)$$

- K = Konduktivitas Hidrolis (cm/jam)
- Q = Banyaknya air yang mengalir setiap pengukuran (ml)
- L = Tebal contoh tanah (cm)
- A = Luas penampang contoh tanah (cm²)
- t = Waktu pengukuran (jam)
- H = Tinggi permukaan air dari permukaan tanah (cm)

Penentuan retensi air tanah menggunakan alat *Soilmoisture Equipment Corp*, yang akan mendapatkan nilai kadar air kapasitas lapang dan titik layu permanen, sebagai dasar acuan untuk mendapatkan nilai pori air tersedia dan kapasitas air tersedia.

$$PAS = FC-WP \dots (2)$$

$$KAT = \frac{FC-WP}{100} \times BD \times Kedalaman \text{ perakaran} \dots(3)$$

- PAS = Pori Air Tersedia
- KAT = Kapasitas Air Tersedia
- FC = Kapasitas Lapang
- WP = Titik Layu Permanen
- BD = Bobot Isi

3. Analisis Neraca Air Wilayah

Analisis ini dilakukan berdasarkan prediksi menggunakan beberapa data klimatologi dengan menghitung potensial evapotraspirasi dan keseimbangan air menurut C.W.Thornthwait dan J.R. Mather (Tamba et al, 2016; Wijayanti et al, 2015; Thornthwait dan Mather 1955)

- **Perhitungan Surplus**

Nilai surplus (S) atau disebut kelebihan lengas tanah dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$S = (P - Etp) - \Delta ST \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan:

- S = Surplus/kelebihan (mm/bulan)
- P = Curah hujan (mm/bulan)
- Etp = Evapotranspirasi potensial (mm/bulan)
- ΔST = Perubahan lengas tanah (mm)

Untuk mendapatkan nilai Etp dan ΔST , ada beberapa tahap yang mesti dilalui sebagai berikut:

a. Evapotranspirasi Potensial

Untuk mendapatkan nilai evapotranspirasi potensial (Etp) tiap bulannya dihitung dengan metode thornthwaite mather dengan persamaan dibawah ini

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514} \dots \dots \dots (5)$$

$$I = \sum i \dots \dots \dots (6)$$

$$a = (675 \cdot 10^{-9}) I^3 - (771 \cdot 10^{-7}) I^2 + (197 \cdot 10^{-4}) I + 0,492 \dots \dots \dots (7)$$

$$Etx = 16 \left(\frac{10 \cdot T}{I}\right)^a \dots \dots \dots (8)$$

Keterangan:

- Etx = Evapotranspirasi potensial belum dikoreksi (mm/bulan)
- T = Suhu udara (°C)
- i = Indeks panas bulanan
- I = Jumlah indeks panas dalam setahun
- a = Indeks panas

Untuk evapotranspirasi potensial terkoreksi dikalikan dengan faktor koreksi yang bisa dilihat pada persamaan (9)

$$Etp = f \cdot Etx \dots \dots \dots (10)$$

Keterangan:

- Etp = Evapotranspirasi potensial terkoreksi (mm/bulan)
- f = Faktor koreksi (dilihat pada tebal koreksi lintang dan waktu)

b. Water Holding Capacity (WHC)

WHC atau kapasitas tanah dalam menyimpan air adalah tebal air maksimum (mm) yang dapat tersimpan pada setiap kedalaman lapisan tanah. Nilai WHC tergantung pada jenis tanah (tekstur) dan kedalaman perakaran tanaman. Perhitungan nilai WHC dilakukan dengan

$$\text{Total WHC} = \text{WHC} \times \% \text{ Luas Areal Vegetasi} \dots\dots\dots(11)$$

WHC atau kapasitas tanah dalam menyimpan air adalah tebal air maksimum (mm) yang dapat tersimpan pada setiap kedalaman lapisan tanah. Nilai WHC tergantung pada jenis tanah (tekstur) dan kedalaman perakaran tanaman. Dari peta penggunaan lahan dapat diketahui jenis vegetasi dan luas areal vegetasi tersebut.

c. Akumulasi Potensi Kehilangan Air

Nilai akumulasi potensi kehilangan air tanah adalah nilai akumulasi bulanan dari selisih presipitasi dan evapotranspirasi potensial (P-PE). Menghitung APWL dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- Pada bulan-bulan kering atau (P<PE) dilakukan dengan cara menjumlahkan nilai selisih (P-PE) setiap bulan dengan nilai (P-PE) bulan sebelumnya.
- Pada bulan-bulan basah (P>PE), maka nilai APWL sama dengan nol

d. Kelengasan Tanah

Menghitung kelengasan tanah dapat dilakukan dengan cara:

- Pada bulan-bulan basah (P>PE), maka nilai ST untuk tiap bulannya sama dengan nilai WHC.
- Pada bulan-bulan kering (P<PE), maka nilai ST untuk tiap bulannya dihitung dengan rumus sebagai berikut:

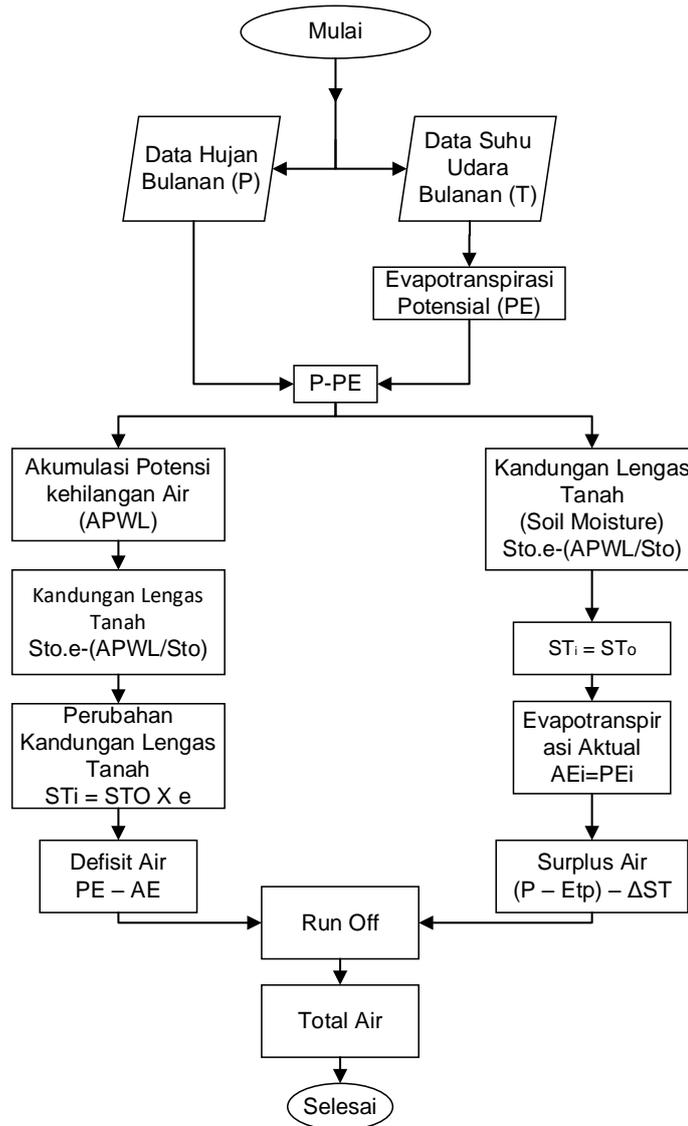
$$ST = \text{Sto} \cdot e^{-(\text{APWL}/\text{Sto})} \dots\dots\dots(12)$$

Ket:

- ST = Kelengasan tanah (mm)
- Sto = Tebal air maksimum yang dapat tersimpan pada setiap kedalaman lapisan tanah (mm)
- e = Bilangan navier (e = 2,718)
- APWL = Akumulasi potensial kehilangan air tanah (mm/bulan)

e. Perubahan Kelengasan Tanah

Mengetahui nilai perubahan lengas tanah (Δ ST) dilakukan dengan cara mengurangi nilai ST pada bulan yang bersangkutan dengan nilai ST pada bulan sebelumnya.



Gambar 2. 1. Bagan alir perhitungan Thornthwait Mather

f. Evapotranspirasi Aktual

Nilai Evapotranspirasi aktual didapat dengan cara menentukan bulan basah dan bulan kering terlebih dahulu dimana,

- Untuk bulan-bulan basah ($P > PE$), maka nilai $AE = PE$
- Untuk nilai bulan-bulan kering ($P < PE$), maka nilai $AE = P - \Delta ST$

Perhitungan Defisit

Defisit atau kekurangan lengas tanah yang terjadi, diketahui dengan menghitung selisih antara PE dengan AE

$$D = PE - AE \dots\dots\dots(13)$$

Ket:

D = Defisit/kekurangan lengas tanah (mm/bulan)

PE = Evapotranspirasi potensial (mm/bulan)

AE = Evapotranspirasi aktual (mm/bulan)

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Konduktifitas Hidrolik

Parameter dalam penilaian untuk mengetahui kemampuan tanah melewatkan air disebut konduktifitas hidrolik. Hasil analisis tersaji pada tabel 2.1 jika diperhatikan, rata-rata hasil analisis ditemukan sangat lambat

Tabel 2. 1 Konduktifitas hidrolik daerah penelitian

Kode Sampel	Permeabilitas
01L1	3.58 SL
01L2	1.61 SL
02L1	2.88 SL
02L2	1.67 SL
03L1	2.54 SL
03L2	1.95 SL
04L1	2.79 SL
04L2	1.19 SL
05L1	0.91 SL
05L2	1.07 SL
06L1	1.55 SL
06L2	1.78 SL

Keterangan : Kriteria berdasarkan BBSDLP, SL = Sangat Lambat

Proses masuknya aliran air kedalam tanah dipengaruhi oleh sifat-sifat tanah. Di dalam siklusnya, air melewati tanah dan alirannya sangat dinamis

karena akan dipengaruhi oleh tekstur tanah, sifat morfologi dan kimia tanah, serta sifat air tanah yang meliputi kadar air, konduktifitas hidrolis dan retensi air (Herrmann and Bucksch, 2014). Termasuk bahan organik tanah memiliki perannya dalam mengikat air dalam tanah dengan mengurangi laju evaporasi (Intara et al., 2011).

Mempelajari aliran air pada tanah tidak terlepas pada pemahaman tentang konduktifitas hidrolis yaitu kemampuan tanah dalam melewatkan air. Pada tabel 1. Memerlihatkan kondisi konduktifitas hidrolis sangat lambat, ini di dukung pada hasil bobot isi tergolong cukup tinggi hingga sangat tinggi (tabel 2.2). Atmanto (2017) telah menjelaskan bahwa adanya keterkaitan yang kuat antara bobot isi dan konduktifitas hidrolis. Hubungan dari keduanya bersifat negatif, yang berarti semakin tinggi nilai bobot isi akan mengakibatkan penurunan nilai konduktifitas hidrolis.

Tabel 2. 2. Hasil analisis sifat tanah

Kode Sampel	Kedalam (cm)	% Pasir	% Debu	% Liat	Tekstur*	C- Organik %	Bobot Isi (g/cm ³)
01L1	0-20	21	50	29	Clay Loam	0.7 SR	1.38 CT
01L2	20-45	4	38	58	Clay	0.02 SR	
02L1	0-15	5	60	35	Silty Clay Loam	0.9 SR	1.64 ST
02L2	15-45	6	44	50	Silty Clay	0.3 SR	
03L1	0-20	2	45	53	Silty Clay	1 R	1.7 ST
03L2	20-45	6	42	52	Silty Clay	0.4 SR	
04L1	0-20	27	39	34	Clay Loam	0.8 SR	1.62 ST
04L2	20-50	18	36	46	Clay	0.3 SR	
05L1	0-20	16	29	55	Clay	0.7 SR	1.48 T
05L2	20-60	17	35	48	Clay	0.2 SR	
06L1	0-20	26	32	43	Clay	1.2 R	1.82 ST
06L2	20-60	15	43	42	Silty Clay	0.6 SR	

Keterangan : Kriteria berdasarkan BBSDLP, SR = Sangat Rendah, R = Rendah, CT = Cukup Tinggi, T = Tinggi, ST = Sangat Tinggi, *USDA

Konduktifitas hidrolis juga dipengaruhi bahan organik tanah (tabel 2.2). Hasil analisis bahan organik dengan kriteria yang dominan sangat rendah bisa menjelaskan lambatnya konduktifitas hidrolis. Dalam kaitannya, Suryani (2021) menjelaskan jika bahan organik memang dapat meningkatkan konduktifitas

hidrolik. Bahan organik dapat memperbaiki ataupun berpengaruh terhadap peningkatan porositas tanah (Nita et al., 2015; Anastasia et al., 2014). Sedangkan karakter porositas mempunyai pengaruh terhadap permeabilitas atau konduktifitas hidrolik (Masria et al., 2018).

2. Retensi Air Tanah dan Kapasitas Air Tersedia

Retensi air tanah dipengaruhi oleh tekstur dan struktur tanah, pori-pori, drainase dan iklim spesifik hujan dan suhu. Hal tersebut akan mempengaruhi kemampuan tanah dalam menyerap ataupun menahan air tetap tersedia di dalam tanah. Retensi air tanah pada kondisi lapang dan layu permanen dapat terlihat pada tabel 2.3

Sifat retensi air tanah menggambarkan kemampuan tanah dalam mengikat air, yang menunjukkan banyaknya air yang masih tertahan setelah memberikan perlakuan tekanan (pF Kapasitas Lapang dan pF Titik Layu Permanen). Secara praktis di laboratorium, tekanan yang diberikan pada keadaan setara kapasitas lapang yaitu 2,54 pF atau 0,33 atm dan setara titik layu permanen yaitu 4.2 pF atau 15 atm (Sudirman et al., 2011). Penggunaan praktis utama dari konsep kapasitas lapang dan titik layu adalah penentuan kisaran air tanah yang tersedia untuk tanaman (Or et al., 2012).

Tabel 2. 3 Hasil analisis retensi air tanah

Simbol	Kedalaman (cm)	Kapasitas Lapang (%)	Titik Layu (%)	Pori Air Tersedia (%)
01L1	0-20	30.1	23.8	6.3 R
01L2	20-45	30.1	24	6.1 R
02L1	0-15	26.3	23.6	2.7 SR
02L2	15-45	29.3	26.2	3.1 SR
03L1	0-20	27.8	24.2	3.6 SR
03L2	20-45	29.4	25.2	4.2 SR
04L1	0-20	29.2	26.8	2.4 SR
04L2	20-50	26.8	24	2.8 SR
05L1	0-20	31.2	26.4	4.8 SR
05L2	20-60	27	24.2	2.8 SR
06L1	0-20	29.6	24.6	5 R
06L2	20-60	30.9	26.6	4.3 SR

Keterangan : Kriteria berdasarkan BBSDLP, SR = Sangat Rendah, R = Rendah

Ukuran, bentuk dan susunan partikel tanah serta rongga atau pori-pori yang terkait menentukan kemampuan tanah untuk menahan air. Penting untuk disadari bahwa pori-pori besar di dalam tanah dapat menghantarkan lebih banyak air dengan lebih cepat dari pada pori-pori halus. Selain itu, mengeluarkan air dari pori-pori besar lebih mudah dan membutuhkan lebih sedikit energi dari pada mengeluarkan air dari pori-pori yang lebih kecil. Tanah berpasir terutama terdiri dari partikel mineral besar dengan persentase yang sangat kecil dari liat, debu dan bahan organik. Di tanah berpasir, pori-pori lebih besar dari pada di tanah liat. Selain itu, total volume pori-pori di tanah berpasir secara signifikan lebih kecil dari pada di tanah liat (30–40% untuk tanah berpasir dibandingkan dengan 40–60% untuk tanah liat). Akibatnya, lebih sedikit air yang dapat disimpan di tanah berpasir dari pada di tanah liat (Ali, 2013).

Hasil analisis (tabel 2.3) menunjukkan persentase nilai kapasitas lapang berkisar 26-31% dan titik layu permanen antara 23-26%. Pada tutupan lahan hutan lahan kering sekunder, yang mana terdapat tanaman kopi memperlihatkan nilai persentase kadar air kapasitas lapang cukup tinggi dibandingkan dengan tutupan lahan yang lain, pertanian lahan kering dan sawah. Sedangkan nilai titik layu permanen memiliki persentase kadar air yang rendah untuk tutupan lahan yang sama. Sehingga tutupan lahan hutan lahan kering sekunder memiliki nilai Kelembaban tanah tersedia maksimum atau selisih antara kadar air kapasitas lapang dan titik layu permanen yang paling tinggi diantara tutupan lahan lainnya.

Nilai kapasitas lapang dan titik layu permanen kemudian menjadi dasar dalam menentukan nilai kapasitas air tersedia. Kapasitas air tersedia berbicara mengenai kemampuan tanah dalam menyediakan air bagi tanaman. Faktor-faktor yang berpengaruh seperti kadar air kapasitas lapang dan titik layu permanen, bobot isi dan kedalaman perakaran.

Kapasitas air tersedia, (tabel 2.4) setelah melalui hasil perhitungan menunjukkan hutan lahan kering sekunder tetap dengan nilai tertinggi. Kemudian disusul dengan sawah dan yang terakhir dengan nilai kapasitas air tersedia yang paling rendah adalah pertanian lahan kering. Hal ini dapat terjadi akibat kemampuan tanah untuk memegang air pada lahan tanpa pengolahan yang intensif akan lebih baik jika dibandingkan dengan lahan dengan pengolahan yang intensif (Wahyunie et al., 2012).

Tabel 2. 4 Hasil perhitungan kapasitas air tersedia (KAT)

Kode Sampel	Kedalaman (cm)	KAT (mm)
01L1	0-20	17.35
01L2	20-45	21.00
02L1	0-15	6.65
02L2	15-45	15.26
03L1	0-20	12.20
03L1	20-45	17.80
04L1	0-20	7.79
04L2	20-50	13.62
05L1	0-20	14.20
05L2	20-60	16.57
06L1	0-20	18.17
06L2	20-60	31.25

3. Neraca Air Wilayah

Neraca air merupakan kalkulasi besarnya masukan dan keluaran air di suatu tempat pada satuan waktu tertentu. Jumlah air tersebut dapat mendeskripsikan keadaan kelebihan air (surplus) ataupun kekurangan air (defisit). Tabel 2.5 Menyajikan keadaan surplus dan defisit wilayah penelitian.

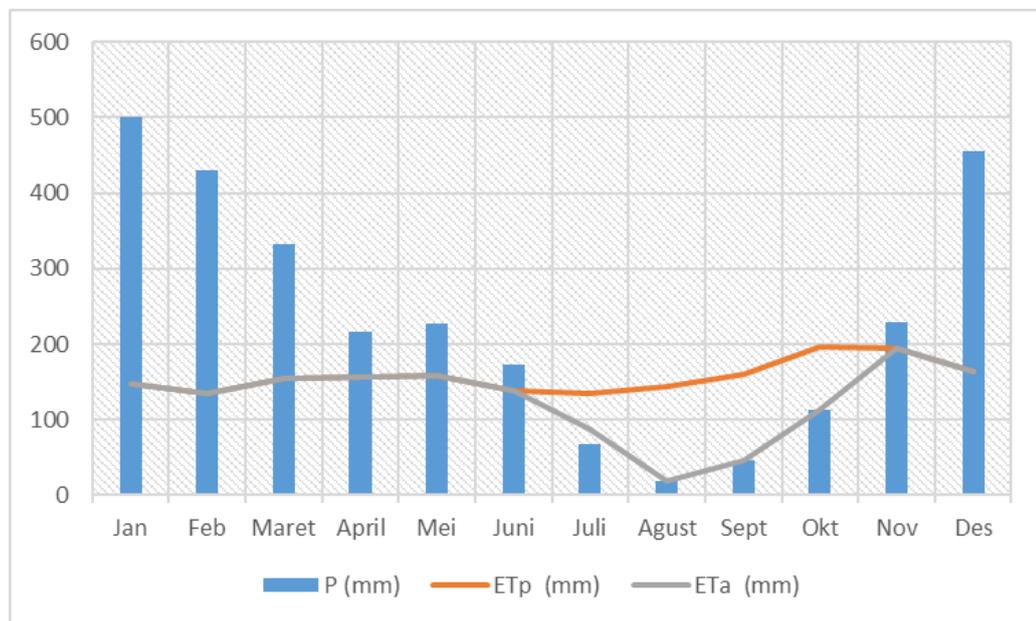
Tabel 2. 5 Hasil analisis neraca air

Bulan	P	T (°C)	Etp	P-Etp	ST	Δ ST	Eta	S	D	RO
Jan	501	26	148	354	22	0	148	354	0	250
Feb	429	26	135	295	22	0	135	295	0	272
Maret	333	26	154	178	22	0	154	178	0	225
April	216	27	157	58	22	0	157	58	0	142
Mei	228	26	158	70	22	0	228	70	0	106
Juni	172	26	138	34	22	0	172	34	0	70
Juli	67	25	135	-67	1	-21	88	0	68	35
Agust	18	26	144	-125	0	-1	20	0	103	18
Sept	46	27	161	-115	0	0	46	0	115	9
Okt	113	28	197	-83	0	0	113	0	83	4
Nov	230	28	194	36	22	22	194	14	0	9
Des	456	26	164	293	22	0	164	293	0	146
Jumlah	2810	317	1883	927	177	0	1514	1296	369	1287

Keterangan: P = Curah Hujan (mm), T = Temperatur (°C), Etp = Evapotranspirasi potensial (mm), ST = kelengasan tanah (mm) Δ ST = Perubahan kelengasan tanah (mm), ETa = Evapotranspirasi Aktual (mm), S = Surplus (mm), D = Defisit (mm), RO = Limpasan Permukaan

Presipitasi atau curah hujan merupakan faktor utama sebagai masukan dalam perhitungan neraca air. Sebagai perbandingan keluaran, air dihitung sebagai evaporasi dan transpirasi. Evaporasi merupakan pengeluaran air dari permukaan ataupun tubuh tanah dengan proses penguapan langsung ke atmosfer. Sedangkan transpirasi sebagai proses keluarnya air melalui penguapan dari tubuh tanaman. Kemudian total dari keduanya dihitung sebagai evapotranspirasi. Hubungan antara curah hujan dan evapotranspirasi dapat dilihat pada gambar 2.2

Penentuan periode kelebihan dan kekurangan lengas tanah, sekiranya perlu mengetahui perbedaan antara curah hujan dan evapotranspirasi potensial. Nilai $P - E_{tp}$ yang negatif menunjukkan jumlah curah hujan yang tidak mampu memenuhi kebutuhan air pada tutupan vegetasi pada area tertentu. Jika $P - E_{tp}$ bernilai positif maka menunjukkan adanya kelebihan air yang tersedia selama periode tertentu dalam setahun untuk pengisian kelembaban tanah dan limpasan permukaan (Thornthwaite and Mather, 1957: 189).

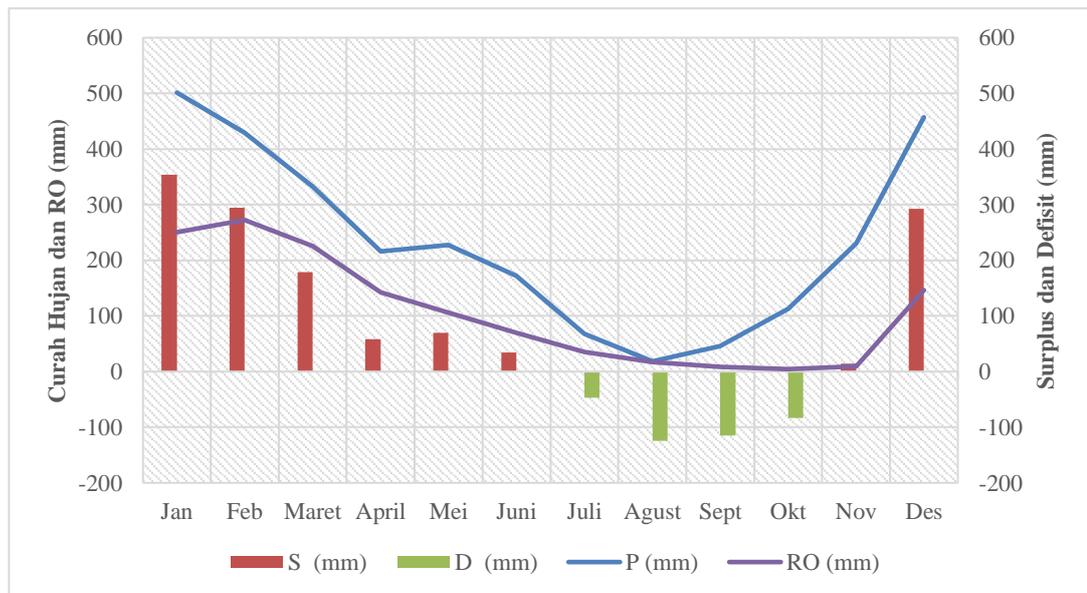


Gambar 2. 2. Hubungan antara curah hujan dan evapotranspirasi

Thornthwaite dan Mather (1957:192-193) menjelaskan jika curah hujan lebih besar dari pada evapotranspirasi potensial, tanah akan tetap penuh dengan air dan evapotranspirasi aktual ditetapkan sama dengan evapotranspirasi potensial. Terlihat pada gambar 2.3, ketika $P > E_{tp}$ maka E_{ta} setara dengan E_{tp} dan itu terjadi pada bulan november secara berturut-turut sampai bulan april. Ketika curah hujan turun dibawah evapotranspirasi potensial, tanah mulai

mengering dan evapotranspirasi aktual kurang dari kemungkinan potensial yang terjadi. Ini terjadi pada bulan juli hingga oktober, ketika $P < Etp$ Maka $Ea < Etp$. Pada bulan-bulan tersebut, nilai evapotranspirasi aktual didapatkan dari nilai penyimpanan air tanah (ΔST) (tabel 2.5).

Setelah penyimpanan lengas tanah mencapai kapasitas menahan air, setiap kelebihan curah hujan di hitung sebagai kelebihan lengas dan juga sebagai limpasan permukaan (RO). Namun, jika terjadi perbedaan nilai evapotranspirasi aktual dan potensial, maka itu terhitung sebagai nilai defisit. Pada Gambar 2.3 terlihat bahwa surplus terjadi di bulan november hingga pada puncak surplus di bulan januari dan berakhir pada bulan juni. Kemudian defisit di mulai pada bulan juli hingga oktober yang bersamaan dengan dimulainya periode musim kemarau.



Gambar 2. 3 Ketersediaan air wilayah karst maros

E. KESIMPULAN

Dari hasil analisis potensi ketersediaan air di kawasan karst Maros menunjukkan adanya surplus delapan bulan berturut-turut (November-Juni) dan defisit empat bulan berturut-turut (Juli-Oktober). Total nilai surplus ketersediaan air sebesar 1296 mm/ tahun dan defisit sebesar 370 mm/tahun. Kesimpulan ini memperlihatkan adanya potensi pemanfaatan sumberdaya air kawasan karst Maros untuk proses pertanian. Proses pertanian untuk tanaman pangan dapat dilakukan dua kali setahun dengan mengandalkan tadah hujan.