

**LAPORAN AKHIR TAHUN
PENELITIAN FUNDAMENTAL**



**ANALISIS MINERAL ORNAMEN GUA KAWASAN KARST MAROS
SEBAGAI INDIKASI PERUBAHAN IKLIM**

Tahun ke 1 dari rencana 2 tahun

Ketua/Anggota Tim

Dr. Muhammad Arsyad, M.T

NIDN: 0028086402

Nasrul Ihsan, S.Si, M.Si

NIDN: 0014047303

Sulistiaawaty, S.Si, M.Si, MT

NIDN: 0016107902

Dibiayai oleh

DIPA Ditlitabmas Dikti Nomor: 042.06.00.2016

dan Surat perijinan Pelaksanaan Hibah Penelitian

SPM/1-050/SP2H/PL/DRPM/II/2016, dan Surat Keputusan

Universitas Negeri Makassar

Nomor: 995/UN367/L/2016

Tanggal 26 Februari 2016

UNIVERSITAS NEGERI MAKASSAR

Agustus, 2016

**LAPORAN AKHIR TAHUN
PENELITIAN FUNDAMENTAL**



**ANALISIS MINERAL ORNAMEN GUA KAWASAN KARST MAROS
SEBAGAI INDIKASI PERUBAHAN IKLIM**

Tahun ke 1 dari rencana 2 tahun

Ketua/Anggota Tim

Dr. Muhammad Arsyad, M.T

NIDN: 0028086402

Nasrul Ihsan, S.Si, M.Si

NIDN: 0014047303

Sulistlawaty, S.Si, M.Si, MT

NIDN: 0016107902

Dibiayai oleh

DIPA Ditlitabmas Dikti Nomor: 042.06-0/2016

**Berdasarkan Surat perjanjian Perlaksanaan Hibah Penelitian Tahun 2016
Nomor: 050/SP2H/PL/DRPM/II/2016, dan Surat Keputusan Rektor**

Universitas Negeri Makassar

Nomor: 995/UN36/PL/2016

Tanggal 26 Pebruari 2016

**UNIVERSITAS NEGERI MAKASSAR
Agustus, 2016**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : ANALISIS MINERAL ORNAMEN GUA KAWASAN KARST MAROS SEBAGAI INDIKASI PERUBAHAN IKLIM

Peneliti Pelaksana
Nama Lengkap : MUHAMMAD ARSYAD M.T
Perguruan Tinggi : Universitas Negeri Makassar
NIDN : 0028086402
Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
Program Studi : Pendidikan Fisika
Nomor HP : 08124272894
Alamat surel (e-mail) : m_arsyad288@yahoo.co.id

Anggota (1)
Nama Lengkap : NASRUL IHSAN S.Si., M.Si.
NIDN : 0014047303
Perguruan Tinggi : Universitas Negeri Makassar

Anggota (2)
Nama Lengkap : SULISTIAWATY M.Si.
NIDN : 0016107902
Perguruan Tinggi : Universitas Negeri Makassar

Institusi Mitra (jika ada) : -
Nama Institusi Mitra : -
Alamat : -
Penanggung Jawab : -
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 1 dari rencana 2 tahun
Biaya Tahun Berjalan : Rp 50.000.000,00
Biaya Keseluruhan : Rp 150.000.000,00

Mengetahui,
Dekan EMIPA UNM

(Prof. Dr. Abdul Rahman, M.Pd.)
NIP/NIK 196204171988031001

Makassar, 20 - 10 - 2016
Ketua,


(MUHAMMAD ARSYAD M.T.)
NIP/NIK 196408281990031001

Menyetujui,
Ketua Lembaga Penelitian UNM

(Prof. Dr. H. Jufri, M.Pd.)
NIP/NIK 195912311985031016

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia adalah negara yang berada pada “ring of fire” sehingga selalu terjadi gempa bumi. Proses pembentukan batuan, baik batuan beku, batuan sedimen dan batuan metamorf akan mempengaruhi kekayaan alam bumi Indonesia. Proses pembentukan batuan yang berawal dari magma dan akibat proses pelepasan energi akan muncul di permukaan bumi, baik melalui proses gempa bumi maupun proses lainnya. Magma akan berkumpul di dalam lorong-lorong magma yang disebut dengan ponor dan akibat adanya dan transportasi batuan yang pada awalnya terjadi di dalam Proses pembentukan batuan sedimen, bukan hanya diakibatkan oleh luapan lahar di permukaan bumi, tetapi juga disebabkan oleh proses pembentukan gua di bawah permukaan bumi, seperti yang terjadi pada gua-gua karst dan sejenisnya.

Kawasan karst terdiri dari batuan karbonat yaitu kalsium karbonat dan dolomit. Kalsium karbonat dibutuhkan antara lain untuk industri semen dan aneka industri lainnya yang membutuhkan mineral kalsium, seperti industri kosmetika, cat dan baja. Industri marmer juga membutuhkan bongkahan bongkahan batu gamping yang digergaji menjadi lempengan-lempengan. Marmer adalah batumalihan yang sifatnya keras dan tidak mudah dilarutkan oleh asam. Batuan marmer adalah kalsium karbonat yang mudah larut bila tertetes asam seperti cuka. Harganya lebih murah dari marmer asli. Penambangan karst yang dilakukan di Kawasan Karst Maros-Pangkep selama puluhan tahun itu berpotensi mengancam ketersediaan air tanah di sekitar kawasan karst dan mengancam keunikan geomorfologi serta biodiversity (keanekaragaman hayati) yang selama ini tidak maksimal dilestarikan oleh pemda setempat. Aktivitas penambangan kapur yang dilakukan secara besar-besaran oleh dua industri semen besar (PT. Semen Tonasa dan PT. Semen Bosowa) dengan luas daerah operasi mencapai 2.354,7 ha sampai saat ini berjalan mulus tanpa hambatan berarti. Selain itu, sedikitnya terdapat 24 perusahaan penambangan marmer dengan luas areal eksploitasi 15-25 ha setiap perusahaan muncul satu demi satu. (Mae, 2012)

Gua di kawasan karst terjadi akibat adanya proses pembentukan air sungai bawah tanah di kawasan tersebut. Air hujan yang mengguyur kawasan karst pada awalnya terkumpul di permukaan karst, tetapi karena kawasan karst terbentuk dari proses pelapukan batugamping mempunyai sifat porositas dan permeabilitas yang tinggi, sehingga air akan meresap melalui pori-pori batuan. Sehingga, aliran air tanah dalam sistem akifer karst mengalir pada jaringan rekahan, walaupun untuk kawasan karst tertentu (Juanda, 2006), seperti kawasan Karst Gunung Kidul di Yogyakarta dan Buniayu Sukabumi Jawa Barat.

Gua Mimpi merupakan destinasi wisatawan yang datang berkunjung ke Kawasan Karst Maros, di samping air terjun Bantimurung dan habitat kupu-kupu. Gua Mimpi mempunyai ornamen gua, berupa stalaktit, stalagmit dan ornament gua lainnya yang berproses secara alami di alam. Sehingga aktivitas manusia (pengunjung) di dalam gua akan mempengaruhi uap air secara substansial yang mampu mengubah iklim di dalam gua (Steiner, 2007). Dari segi hidrologi, proses terjadinya air tanah dimulai pada saat air hujan merembes melewati bebatuan yang ada di permukaan. Pada umumnya batuan yang ada di permukaan sangat keras, sehingga air tersebut sulit melakukan penetrasi. Penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Arsyad (2002 dan 2009) dengan menggunakan geolistrik tahanan jenis, memperlihatkan adanya ketersediaan air tanah di Kawasan Karst Maros dengan potensi sumber air yang baik berkisar antara 4,03-45,1 ohm-meter (Arsyad, 2010). Litologi batuan tersusun dari material tidak padu, padu sampai kompak dan keras.

Pencarian ketersediaan air sungai bawah tanah akan memberikan petunjuk untuk penelusuran gua di kawasan karst. Penelitian yang dilakukan oleh Hadriah (2012) pada Gua Mimpi di Kawasan Karst Maros memperlihatkan bahwa Gua Mimpi mempunyai ornamen yang terdiri dari stalaktit 47 buah, stalagmit 16 buah, helektit 19 buah, pilar 8 buah, dan *flowstone* 3 buah (Hadriah, 2012). Ornamen gua tersebut adalah proses sedimentasi yang terjadi karena akumulasi dari tetesan air hujan yang pada gilirannya akan membentuk sungai bawah tanah. Sungai bawah tanah akan merembes ke semua arah untuk mencari terobosan bebatuan untuk proses *out flow*. Keberagaman jenis ornamen atau pun berbagai variasi bentang alam karst di alam tidak terlepas dari variasi faktor jenis batu gamping, struktur

geologi, faktor biologi (vegetasi) suhu udara, dan angin serta curah hujan (Suprianto, 2014). Dalam proses inilah yang mengakibatkan tersimpannya material bebatuan yang dapat dijadikan informasi terjadinya perubahan iklim di Kawasan Karst Maros.

Di pihak lain pemanasan global yang disebabkan oleh gas-gas rumah kaca secara jelas telah dan akan terus mempengaruhi iklim dunia. WWF Indonesia dan IPCC (1999) melaporkan bahwa temperatur tahunan di Indonesia meningkat sebesar $0,3^{\circ}\text{C}$ sejak tahun 1990. Sebuah skenario perubahan iklim (WWF Indonesia dan IPCC, 1999) memperkirakan bahwa temperatur akan meningkat antara $1,3^{\circ}\text{C}$ sampai dengan $4,6^{\circ}\text{C}$ pada tahun 2100 dengan *trend* sebesar $0,1^{\circ}\text{C}$ – $0,4^{\circ}\text{C}$ per tahun. Selanjutnya Susandi (2006) memproyeksikan kenaikan temperatur Indonesia akan mencapai $3,5^{\circ}\text{C}$ pada tahun 2100, sementara temperatur global bumi akan mencapai maksimum $6,2^{\circ}\text{C}$ pada tahun tersebut. Implikasi dari kenaikan temperatur tersebut akan menaikkan muka air laut sebesar 100 cm pada tahun 2100 (Susandi, 2006). Akumulasi kejadian ini akan mempengaruhi infrastruktur, bangunan, dan kegiatan manusia saat ini dan mendatang yang pada ujung-ujungnya akan mempengaruhi ketersediaan debit air sungai bawah tanah di Kawasan Karst Maros.

Untuk itu, perlu dilakukan kajian khusus terhadap perubahan iklim sebagai bentuk antisipasi dengan memanfaatkan informasi dari lingkungan yang ada di kawasan karst. Ornamen gua berupa stalaktit, stalagmite, *flowstone* dapat merekam kejadian masa lalu. Informasi tentang waktu curah hujan yang panjang, atau musim kemarau yang relatif panjang, bahkan banjir besar yang terjadi dapat diketahui dengan “menggangu” sifat remanen magnetik yang dikandungnya. Fenomena alam yang terjadi akan diketahui dengan memberikan rangsangan terhadap sifat-sifat magnetik dari batuan yang terdapat di gua Kawasan Karst Maros. Untuk itu, maka penelian ini dilakukan dengan judul **“Analisis Mineral Ornamen Gua Kawasan Karst Maros sebagai Indikasi Perubahan Iklim.”**

Dari hasil penelitian ini juga akan dihasilkan luaran berupa artikel berupa:

1. Pemakalah dalam International Seminar on Mathematics, Science, and Computer Sciences (MSCEIS) 15 Oktober 2016 di UPI Bandung dengan

judul *Analysis of Characteristics and Classification of Rainfall in the Maros Karst Region, South Sulawesi*.

2. Draft Artikel untuk Jurnal International dengan judul Analisis Ketersediaan Air di Kawasan Karst Maros Berdasarkan Data Geolistrik Tahanan Jenis (dalam proses)
3. *Chapter Tittle with title **Characterstic Karst Caves of Maros Region*** dalam buku *Cave Inverstigation* ISBN 978-953-51-5323-8 (proses review)

B. Rumusan Masalah

Dari latar belakang seperti yang dipaparkan di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian tahun pertama ini adalah:

1. Bagaimana profil curah hujan di Kawasan Karst Maros?
2. Berapa besar ketersediaan air sungai bawah tanah di Kawasan Karst Maros?
3. Bagaimana karakteristik gua yang terdapat di Kawasan Karst Maros?

Dari tiga rumusan masalah di atas, diharapkan dua rumusan masalah terakhir dapat memberikan gambaran tentang perubahan iklim yang terjadi di Kawasan Karst Maros.

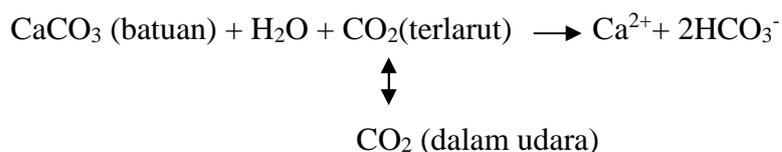
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Proses Karstifikasi di Kawasan Karst

Ford dan Williams (1989) mendefinisikan karst sebagai daerah yang ditandai dengan kondisi hidrologi yang khas sebagai akibat dari batuan yang mudah larut dan mempunyai porositas sekunder yang berkembang baik. Karst dicirikan oleh: 1) terdapatnya cekungan tertutup dan atau lembah kering dalam berbagai ukuran dan bentuk, 2) langkanya atau tidak terdapatnya drainase/sungai permukaan, dan 3) terdapatnya goa dari sistem drainase bawah tanah (Williams, 1989). Topografi karst adalah bentuk bentang alam tiga dimensional yang terbentuk akibat proses pelarutan lapisan batuan dasar, khususnya batuan karbonat seperti batugamping kalsit atau dolomit, Bentang alam ini memperlihatkan bentuk permukaan yang khusus dan drainase bawah permukaan (Milanovic,1981: Juanda, 2006).

Karstifikasi atau proses pembentukan lahan karst didominasi oleh proses pelarutan. Proses pelarutan batugamping diawali oleh larutnya CO₂ di dalam air dan membentuk H₂CO₃. Larutan H₂CO₃ kemudian dapat terurai menjadi H⁻ dan HCO₃⁻. Ion H⁻ inilah yang selanjutnya menguraikan CaCO₃ menjadi Ca²⁺ dan HCO₃⁻. Secara ringkas proses pelarutannya dirumuskan dengan reaksi seperti berikut.



Ketinggian batugamping terekspos di permukaan menentukan sirkulasi/drainase secara vertikal. Walaupun batugamping mempunyai lapisan yang tebal tetapi jika yang terekspos hanya beberapa meter, karstifikasi tidak akan terjadi. Drainase vertikal akan terjadi apabila jarak antara permukaan batugamping dengan muka air tanah atau batuan dasar dari batugamping cukup besar. Semakin tinggi permukaan batugamping terekspos, semakin besar jarak antara permukaan batugamping dengan muka air tanah dan semakin baik sirkulasi air secara vertikal, serta semakin intensif proses karstifikasi. Kawasan karst yang terbentuk dari

proses pelapukan batugamping mempunyai porositas dan permeabilitas yang relatif tinggi yang diakibatkan oleh proses tektonik. Sehingga, aliran air tanah dalam sistem akifer karst mengalir pada jaringan rekahan. Walaupun untuk kawasan karst tertentu (Juanda D.P, 2006), seperti kawasan Karst Gunung Kidul di Yogyakarta dan Buniayu Sukabumi Jawa Barat, aliran air tanahnya memiliki ciri kombinasi, yaitu mengalir pada akuifer pelapukan batugamping dan pada akifer rekahan batugamping.

Proses terjadinya air tanah dimulai pada saat air hujan merembes melewati bebatuan yang ada di permukaan. Pada umumnya batuan yang ada di permukaan sangat keras, sehingga air menjadi sulit melakukan penetrasi. Jika batuan tadi mempunyai rongga-rongga yang memungkinkan air hujan bergerak maka proses karstifikasi dimulai. Air hujan yang jatuh di permukaan di kawasan karst, sebagai akibat hukum gravitasi mencari tempat yang lebih rendah. Proses ini menyebabkan air akan bergerak terus mencari celah-celah dalam bentuk rekahan. Air yang tersimpan di dalam rongga-rongga batuan akan mengalir melalui saluran yang sempit tetapi saling berinteraksi satu sama lain melalui sistem karst (Einsiedl, 2004). Pada awalnya, air akan menemukan batuan dan sulit ditembus, sehingga air yang mengalir menjadi air permukaan. Air hanya melalui celah-celah dan rekahan-rekahan sehingga air terakumulasi dan menjadi lapisan yang *permeable*. Proses ini tidak berlangsung lama, karena batugamping dan *dolomite* mudah pecah dan membentuk jaringan baru, setelah mengalami *stress* dan *strain* yang ringan. Air tanah yang terbentuk setelah mengalami proses ini disebut air tanah rekahan dan terjadinya dekat permukaan tanah. Pada saat celah-celah ini melebar, maka proses hidrologi karst mulai terbentuk. Air ini akan terus mencari rekahan-rekahan dan berproses bersama mineral lain, sehingga memunculkan tetesan air pada dinding rekahan tadi. Air yang mengandung gas karbon dioksida yang terserap dari udara, dan membentuk asam lunak menggerogoti batu gamping. Pada saat air mengalir terus ke bawah tanah, air itupun terus menggerogoti sebagian batuan sehingga terbentuklah lubang/gua. Proses ini berlangsung ribuan bahkan jutaan tahun, akibat dari air bisa menciptakan seluruh sistem gua yang berhubungan satu sama lain dengan jaringan terowongan dan

lorong. Permukaan air bawah tanah biasanya berubah dalam periode ratusan, ribuan bahkan jutaan tahun. Setiap kali perubahan itu terjadi, sungai itu harus membuka jalan baru dan udara mengisi lubang dan bilik terdahulu, dengan demikian maka terbentuklah sistem gua. Proses pembentukan gua akan disertai dengan pembentukan ornamen gua yang dilakukan oleh tetesan air yang berlangsung pada periode yang panjang. Air permukaan yang tertampung pada telaga-telaga yang terdapat di Kawasan Karst Maros terakumulasi menjadi sungai-sungai kecil yang bermuara di Sungai Maros (Oktariadi, 2009). Pertumbuhan stalagmit sangat bervariasi bergantung pada aliran tetesan air, sehingga mempunyai alur-alur berwarna seperti halnya lingkaran tahunan pada pohon (Yunginger, 2010). Karst adalah bentang alam dipermukaan dan dibawah permukaan tanah yang secara khas berkembang pada batu gamping atau dolomite sebagai akibat proses pelarutan air. Dolomit adalah batuan karbonat yang kandungan magnesiumnya melebihi batu gamping biasa. Klasifikasi bentang alam kawasan karst dapat ditinjau dari beberapa sudut pandang. Berdasarkan cakupan luasan daerah agihan, sehingga dapat tidaknya kawasan karst teridentifikasi dari peta dasar (Peta topografi, foto udara, citra indera), maka dikenal klasifikasi kawasan karst minor atau mikro, dan mayor atau makro.

Kawasan karst mikro berarti karstifikasi baru berkembang pada permukaan batuan, sehingga belum dapat diidentifikasi dari peta dasar. Sedangkan kawasan karst makro sudah dapat diidentifikasi dari peta dasar, dikarenakan karstifikasi sudah sangat intensif sehingga berkembanglah fenomena topografi karst sebagai penciri kawasan karst. Berdasarkan letak perkembangan karstifikasi terhadap datum permukaan topografi, dikenal kawasan *eksokarst* dan *endokarst*. Kawasan *eksokarst* terbentuk diatas permukaan topografi, dicontohkan antara lain bentukan kerucut karst, sedangkan *endokarst* hanya dapat diidentifikasi apabila pengamat masuk ke bawah permukaan, misalnya gua karst. Selain klasifikasi tersebut berdasarkan tingkat perkembangan secara relatif, dijumpai kawasan *mesokarst* dan *holokarst*. Kawasan *mesokarst* ditandai dengan masih dijumpainya aliran sungai permukaan sehingga proses fluvial masih tampak signifikan, pembentukan kerucut karst belum berkembang, dan agihannya

merupakan zone peralihan antara kawasan non karst dan *holokarst*. Kawasan *holokarst* adalah kebalikan dari *mesokarst*, dicirikan oleh hampir tidak adanya aliran sungai permukaan dan yang kemudian berubah menjadi aliran sungai bawah permukaan (*sub-drainage*) sehingga proses eksogenik yang berlangsung efektif tinggal pelarutan, permukaan topografi nyaris dihiasi oleh kerucut-kerucut karst (*karst conicals*) berbagai jenis dan diantaranya terbentuk ledokan-ledokan karst (*karst depressions*) dengan berbagai jenis maupun ukurannya.

Topografi Karst adalah bentuk bentang alam tiga dimensional yang terbentuk akibat proses pelarutan lapisan batuan dasar, khususnya batuan karbonat seperti batu gamping kalsit atau dolomit. Bentang alam ini memperlihatkan bentuk permukaan yang khusus dan drainase bawah permukaan. Beberapa lokasi di Indonesia yang mempunyai kawasan karst yang berkembang antara lain: Gunung Kidul di Pulau Jawa, Pulau Madura, Pulau Bali, Maros di Pulau Sulawesi, bagian Kepala Burung Pulau Papua, serta pulau-pulau lainnya di perairan Indonesia Bagian Timur. Di Sulawesi Selatan, Kawasan Karst Maros-Pangkep seluas ± 40.000 Ha merupakan kawasan karst terluas dan terindah kedua di dunia setelah Cina. Di kaki dan lereng bukit karstnya dijumpai ratusan gua dalam berbagai bentuk maupun ukuran yang memiliki kekhasan dan keunikan alami seperti endokarst (gua alam beserta ornamen-ornamen dan fauna gua) dan eksokarst (tower karst, flora dan fauna beserta dengan keunikan lainnya).

B. Ornamen Gua di Kawasan Karst Maros

Bentuk ornamen-ornamen gua merupakan suatu bentukan dasar yang terbentuk akibat pertumbuhan mineral hasil pelarutan batu gamping pada atap, dinding maupun lantai gua. Ditengah kegelapan abadi proses pengendapan berlangsung hingga membentuk ornamen-ornamen gua (*speleothem*). Proses ini disebabkan karena air tanah yang menetes dari atap gua mengandung lebih banyak CO₂ dari pada udara sekitarnya. Dalam rangka mencapai keseimbangan, CO₂ menguap dari tetesan air tersebut. Hal ini menyebabkan berkurangnya jumlah asam karbonat, yang artinya kemampuan melarutkan kalsit menjadi berkurang. Akibatnya air tersebut menjadi jenuh kalsit (CaCO₃) dan kemudian mengendap.

Gua merupakan sebuah bentukan alam berupa ruangan karst terbentuk pada medan batu gamping di bawah tanah, berdiri sendiri maupun saling terhubung dengan sebagai hasil proses pelarutan oleh air maupun aktivitas geologi. Bentuk ornamen gua merupakan suatu bentukan dasar yang terbentuk akibat pertumbuhan mineral hasil pelarutan batu gamping pada atap, dinding maupun lantai gua. Ditengah kegelapan abadi proses pengendapan berlangsung hingga membentuk ornamen-ornamen gua (*speleothem*). Sementara itu, aktivitas di dalam gua juga berpengaruh pada pengerasan substrat lantai gua, di samping keseimbangan energi di dalam gua (Rahmadi dan Suharjono, 2007).

Proses terbentuknya ornamen gua (*speleothem*) disebabkan karena air tanah yang menetes dari atap gua mengandung lebih banyak CO₂ daripada udara sekitarnya. Dalam rangka mencapai keseimbangan, CO₂ menguap dari tetesan air tersebut sehingga jumlah asam karbonat berkurang. Sedangkan menurut Peraturan Menteri Energi tentang Pengelolaan Kawasan Karst (2000), ornamen gua adalah bentukan alam hasil pengendapan ulang larutan jenuh kalsium karbonat CaCO₃) yang menghiasi bagian dalam guayang berupa stalaktit, stalakmit, pilar, dan flowstone. Ornamen ini terbentuk pada kondisi lingkungan gua yang sangat unik dan ekstrim dengan kondisi suhu dan kelembaban yang relatif tetap sepanjang waktu.

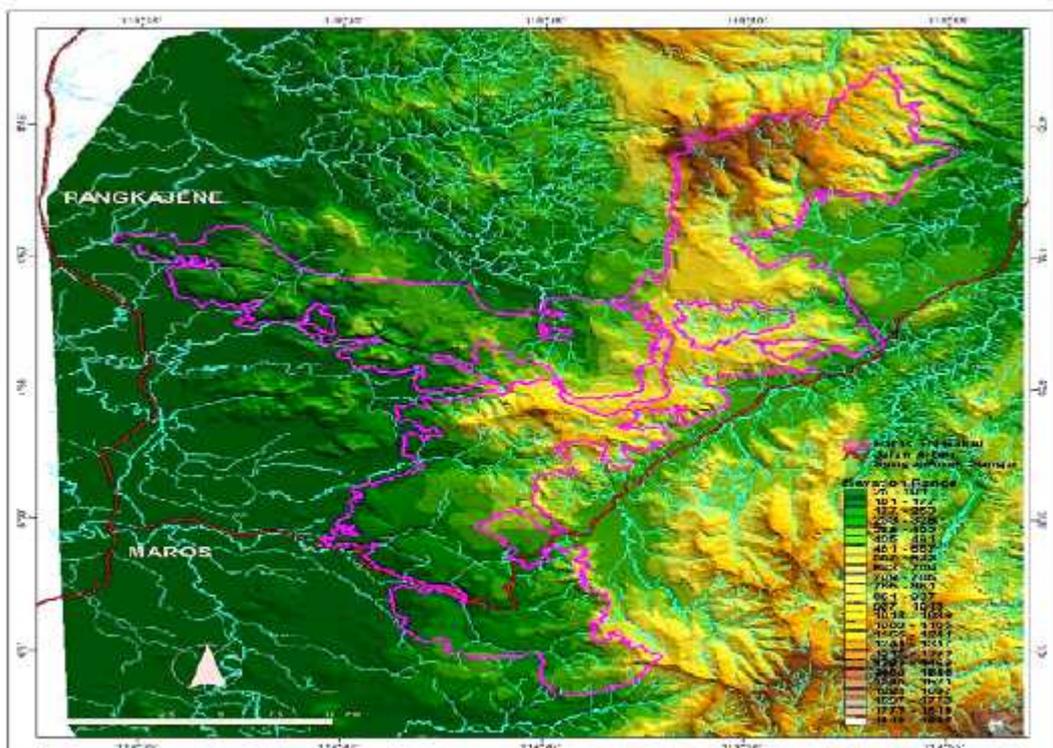
Mineral-mineral magnetik yang terdapat di dalam batuan dapat merekam arah dan kuat medan magnet bumi pada saat proses pembentukan batuan. Hal ini dapat terjadi karena adanya sifat kemagnetan yang dimiliki oleh mineral-mineral tersebut, yaitu *diamagnetisme*, *paramagnetisme* dan *ferromagnetisme* (Buttler, 1992). Pada umumnya, mineral magnetik alami dapat digolongkan pada beberapa keluarga, yakni oksida besi-titanium, keluarga sulfida-besi, dan keluarga oksihidroksida besi. Dari ketiga keluarga ini, keluarga oksida besi titanium adalah keluarga yang terpenting karena di samping kelimpahannya, sifat-sifat magnetiknya juga sangat menonjol. Sifat-sifat ini dapat digunakan untuk pengembangan pada industri di masa yang akan datang. Transisi ini dikenal sebagai transisi *Verwey* yang disebabkan oleh adanya perubahan kristalografi (O. Ozdemir, 1993).

Kajian tentang bahan magnetik telah dikembangkan terutama untuk pasir besi, seperti yang dilakukan oleh Satria Bijaksana (2000), tetapi untuk mineral yang terdapat di gua karst belum mendapat perhatian, untuk itulah sehingga penelitian ini dilakukan. Respons diamagnetisme terhadap medan magnetik yang diberikan adalah berupa magnetisasi induksi yang kecil, \mathbf{J}_i yang berlawanan arah terhadap medan magnetik, \mathbf{H} yang diberikan. Magnetisasi bergantung secara linear pada medan magnetik yang diberikan dan tereduksi menjadi nol ketika medan tersebut dihilangkan. Medan magnetik yang diberikan pada material akan mengubah gerak orbital elektron yang menghasilkan magnetisasi yang kecil dan berlawanan terhadap medan magnetik tersebut. Respons diamagnetisme ini merupakan sifat dari seluruh material, tetapi untuk substansi-substansi yang atomnya mempunyai momen magnetik atomik, diamagnetisme diisi oleh pengaruh medan magnetik pada momen magnetik atomik. Material yang tersusun dari atom-atom yang tidak mempunyai momen magnetik atomik hanya menunjukkan respons diamagnetisme dan diklasifikasikan sebagai material diamagnetik. Hal ini sejalan dengan apa yang dilakukan oleh Agus Yulianto, et al (2003) untuk karakterisasi magnetik pasir besi beberapa daerah di Jawa Tengah memperlihatkan kandungan mineral lain pada material ini. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan pengukuran terhadap sifat magnetik remanen yang terkandung pada sampel yang diselidiki (A. Yulianto, 2003). Mineral-mineral yang umum dijumpai pada batuan sedimen adalah kuarsa, kalsit, dolomite, lempung: *kaolinit*, *montmorilonit*, *hydromuscovite*, feldspar (ortoklas maupun plagioklas), siderite, limonit, gypsum, kalsedon dan halit (Arsyad, Pengetahuan Tentang Bumi, 2002).

C. Hidrologi Kawasan Karst Maros

Kawasan Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung merupakan bagian dari hulu beberapa sungai besar di Sulawesi Selatan. Sisi sebelah Timur antara lain merupakan hulu Sungai Walanae yang merupakan salah satu sungai yang mempengaruhi sistem Danau Tempe. Pada bagian Barat terdapat Sungai Pangkep dan Sungai Bone di Kabupaten Pangkep, Sungai Pute dan Sungai Bantimurung di Kabupaten Maros. Sungai Bantimurung adalah merupakan sumber pengairan

persawahan di Kabupaten Maros serta dimanfaatkan untuk pemenuhan air bersih bagi masyarakat Kota Maros. Di samping itu, juga ditemukan beberapa mata air dan sungai-sungai kecil, terutama di wilayah karst, serta aliran air bawah tanah/danau bawah tanah pada sistem perguaan. Mata air berdebit besar dijumpai pada batu gamping pejal dengan debit 50 - 250 l/dtk, sedang mata air yang muncul di batuan sedimen terlipat dan batuan gunung api umumnya kurang dari 10 l/dtk. Fluktuasi debit air sungai-sungai besar dari dalam kawasan Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung sampai saat ini masih relatif stabil sepanjang tahun, namun berbeda dengan debit pada sungai di permukaan karst. Berikut ini adalah kondisi hidrologis di Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung seperti pada Gambar 2.1 berikut.

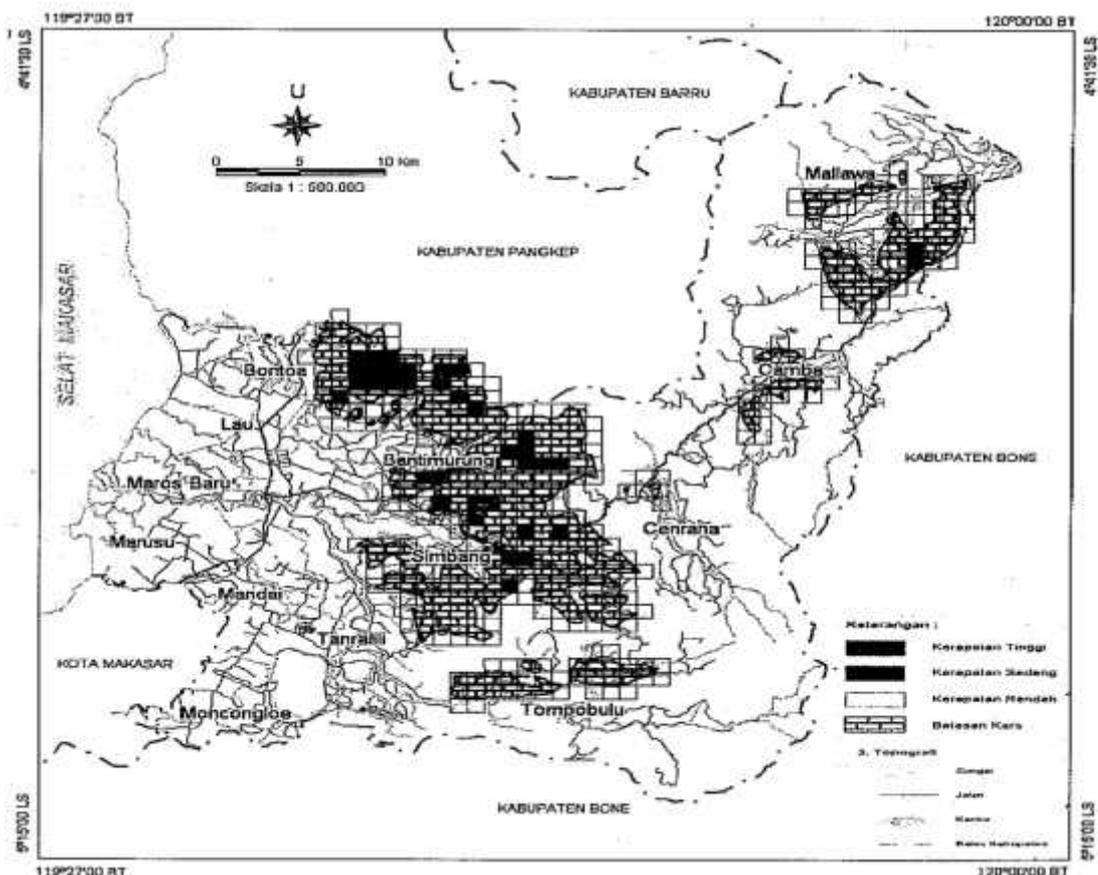


Gambar 2.1 Bentuk Relief dan Kondisi Hidrologi di Dalam dan Sekitar Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung (Departemen Kehutanan, 2008)

Pergerakan sungai bawah tanah untuk musim kemarau dan musim hujan jumlah debit airnya berubah sesuai dengan ketersediaan air tanah di kawasan

karst. Air permukaan yang tertampung pada telaga-telaga terdapat di Kawasan Karst Maros terakumulasi menjadi sungai-sungai kecil yang salah satunya bermuara di Sungai Maros. Kawasan Karst Maros Sulawesi Selatan dengan potensi hidrologi dapat dijumpai dengan terdapatnya sungai-sungai bawah gua dan membentuk sungai bawah tanah yang mengalir sepanjang tahun. Kawasan ini mempunyai sebaran mata air seperti pada Gambar 2.2.

Dari Gambar 2.2 terlihat, bahwa kerapatan mata air terbesar terdapat di kawasan karst dengan lokasi Kecamatan Bantimurung dan Kecamatan Simbang. Kedua kecamatan ini merupakan wilayah administratif dari kawasan karst. Kerapatan mata air merupakan indikasi terdapatnya ketersediaan debit air di bawah permukaan yang ditandai dengan keberadaan gua. Sebaran mata air dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian, yakni kerapatan mata air tinggi (>5 gua/km²), kerapatan mata air sedang (2-5 gua/km²), dan kerapatan mata air rendah (<2 gua/km²) (Daryanto dan Oktariadi, 2009)



Gambar 2.2 Peta kerapatan mata air di Kawasan Karst Maros
(Sumber Daryanto dan Oktariadi, 2009)

Di kawasan karst Maros , terdapat tidak kurang dari 268 gua yang telah ditemukan. Belum termasuk gua-gua lain yang masih dalam tahap eksplorasi. Gua-gua di Maros ini terbentuk karena adanya air yang menerobos ke dalam tanah, sama seperti proses pembentukan gua-gua lain. Air tersebut berasal dari air hujan yang terendapkan. Dalam gua di Maros, terdapat berbagai ornamen (*speleothem*) yang sangat beragam, mulai dari yang kecil (*helectite*), hingga yang sangat besar (*column*) dengan bentuk warna yang bervariasi. Stalaktit yang terbentuk dari tetesan air di gua, mengandung kalsium karbonat , mengental dan menggantung dilangit-langit gua, stalakmit atau pasangan dari stalaktit yang berada di lantai gua, tirai atau air yang menetes melalui bidang rekahan, memanjang pada langit-langit , miring hingga membentuk endapan cantik berbentuk lembaran tipis vertikal, serta teras *travertin* merupakan kolam air di dasar gua mengalir dari satu lantai gua yang lebih tinggi ke lantai lebih rendah. Karena keunikan serta keindahannya, karst Maros direkomendasikan untuk menjadi Warisan Dunia (*World Heritige*) kepada UNESCO pada tahun 2001.

Keberadaan Kawasan Karst di Indonesia, akhir-akhir ini dianggap memiliki nilai-nilai yang sangat strategis. Selain karena mencakup hampir 20 % luas dari total seluruh wilayah di Indonesia, karst memiliki potensi yang bukan saja unik tetapi juga sangat kaya dengan sumberdaya alam baik itu hayati maupun non hayati. Adanya hubungan sistem eksokarst dan endokarst, kenampakan spesifik seperti bukit-bukit karst dan *doline*, serta fenomena menakjubkan yang terdapat pada goa dan sistem pergoaannya selalu mengundang rasa ingin tahu dari kalangan ilmuwan dari berbagai disiplin ilmu.

Keadaan sumber daya air di daerah karst berbeda dengan sumber daya air di daerah nonkarst. Daerah Karst dicirikan dengan terdapatnya banyak lubang pada batuan (*dolina*), luweng (*shinkhole*), gua, bukit dan sungai bawah tanah. (Kappler, 2003). Gua adalah ruangan di bawah tanah yang dibentuk oleh proses kompleks secara alami, baik kimiawi atau fisik, dimana air memegang pengaruh

dominan dengan membentuk lorong-lorong yang pada umumnya berbeda luas, panjang serta bentuknya.

Kesan gelap dan kondisi yang selalu lembab adalah kesan yang tidak pernah lepas dari lingkungan gua. Namun di balik kegelapan dan kondisi lembab inilah tersimpan sebuah kehidupan berbagai jenis biota yang belum banyak dijamah. Kalangan ilmuwan yang percaya adanya proses adaptasi dan evolusi, sepakat bahwa gua adalah salah satu contoh ekosistem terbaik dimana kedua proses itu terjadi. Kedua hal inilah yang menjadikan gua sebagai satu obyek penelitian yang menarik, karena gua mempunyai kondisi lingkungan yang sangat berbeda dengan luar gua. Karakteristik lingkungan gua antara lain kondisi gelap total sepanjang masa, lingkungan yang stabil sepanjang masa, ketersediaan pakan yang sangat minim dan kelembaban yang tinggi.

Kondisi lingkungan ini berdampak pada biota-biota yang hidup didalamnya. Biota yang tidak dapat beradaptasi di gua tidak dapat bertahan hidup, sedangkan yang dapat beradaptasi akan bertahan hidup dan terus berkembang biak. Karena kondisi inilah banyak biota gua yang sangat unik dan khas. Beberapa jenis ditemukan berwarna putih, mata mereduksi atau buta dan antena yang sangat panjang atau kaki-kaki yang lebih panjang jika di bandingkan kerabat dekatnya diluar gua.

D. Keadaan Geologi Sungai Bantimurung di Kawasan Karst Maros

Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung (atau disingkat TN Babul) terletak di Sulawesi Selatan, seluas \pm 43.750 Ha. Secara administrasi pemerintahan, kawasan taman nasional ini terletak di wilayah Kabupaten Maros, Kabupaten Pangkajene Kepulauan (Pangkep), Kabupaten Bone dan kabupaten lainnya. Salah satu daerah tersebut adalah Kabupaten Maros terletak dibagian utara Sulawesi Selatan antara 40⁰45'50" LS dan 109⁰20'00" BT sampai dengan 129⁰12'00" BT . Luas wilayah Kabupaten Maros adalah 1.619,12 km². Dengan batas wilayah : 1) sebelah utara dengan Kabupaten Pangkep, 2) sebelah selatan dengan Makassar dan Kabupaten Gowa, 3) sebelah timur dengan Kabupaten Bone, dan 4) sebelah barat dengan Selat Makassar.

Secara kewilayahan, batas-batas TN Babul adalah sebagai berikut : Sebelah Utara berbatasan dengan Kabupaten Pangkep, Barru dan Bone, sebelah Timur berbatasan dengan Kabupaten Maros dan Kabupaten Bone, sebelah Selatan berbatasan dengan Kabupaten Maros dan sebelah Barat berbatasan dengan Kabupaten Maros dan Kabupaten Pangkep.

Taman nasional ini ditunjuk menjadi kawasan konservasi atau taman nasional berdasarkan Keputusan Menteri Kehutanan Nomor : SK.398/Menhut-II/2004 tanggal 18 Oktober 2004. Saat ini dikelola oleh Balai Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung, yang berkedudukan di Bantimurung Maros Sulawesi Selatan.

Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung memiliki banyak obyek wisata alam yang mengangumkan para wisatawan baik domestik maupun manca negara, namun masih perlu promosi lebih luas, untuk mampu menarik minat bagi para wisatawan untuk datang dan berkunjung. Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung memiliki berbagai keunikan, yaitu: karst, gua-gua dengan stalaknit yang indah, dan yang paling dikenal adalah kupu-kupu yang menjadikan Bantimurung dikenal sebagai kawasan *The Kingdom of Butterfly* (kerajaan kupu-kupu).

Hidrologi karst mempunyai konsekuensi logis yang dapat terbagi menjadi dua topik pembicaraan utama yaitu hidrologi dan karst. Hidrologi adalah cabang dari ilmu geografi fisik yang berurusan dengan air di muka bumi dengan sorotan khusus ada sifat, fenomena dan distribusi air di daratan. Hidrologi dikategorikan secara khusus mempelajari kejadian air di daratan/bumi, deskripsi pengaruh sifat daratan terhadap air, pengaruh fisik air terhadap daratan dan mempelajari hubungan air dengan kehidupan. Pada sisi yang lain, karst dikenal sebagai suatu kawasan yang unik dan dicirikan oleh topografi eksokarst seperti lembah karst, doline, uvala, kerucut karst dan berkembangnya sistem drainase bawah permukaan yang jauh lebih dominan dibandingkan dengan sistem aliran permukaannya (Adji dkk, 2004).

Pada fenomena bawah tanah sering dijumpai adanya aliran sungai bawah tanah yang mengalir seperti halnya sungai-sungai yang ada dipermukaan bumi.

Aliran sungai tersebut bisa berasal dari luar gua, yang dimana air permukaan yang berada di luar gua masuk ke dalam *Swallow Hole* (Mulut Telan) dan muncul lagi ditempat yang lain bahkan biasanya sangat jauh dari lokasi *Swallow Hole*. Tempat keluarnya aliran sungai bawah tanah di kawasan karst disebut *Resurgence* atau karst *Spring*. Interpretasi melalui Peta Topograpi terlihat aliran sungai yang mengalir lalu menghilang/terputus. Aliran tersebut biasa disebut vadose stream/ Arus vadose/ sungai vadose atau disebut juga aliran *Allochthonous*.

Aliran pada sungai bawah tanah bisa berasal dari gua itu sendiri. Air yang berada dipermukaan kawasan karst meresap masuk ke dalam kawasan karst dan ketika didalam gua menjadi ribuan tetesan yang kemudian tertampung lalu mengalir dan membentuk sebuah aliran sungai. Aliran tersebut biasa disebut *Percolation Water* atau disebut juga aliran *Autochthonous*.

Pada umumnya air yang mengalir didalam gua terdiri dari campuran air *vadose* dan perkolasi. air perkolasi dan air *vadose* memiliki perbedaan dari segi kuantitas maupun kualitas. Air Perkolasi pada umumnya banyak mengandung CaCO_3 , karena Air Perkolasi meresap dan merembes secara perlahan kedalam gua sehingga mineral pada batu gamping yang didominasi oleh *Calsite* (CaCO_3) lebih banyak terbawa. Sedangkan aliran aadose sangat sedikit mengandung kalsit karena bentuk aliran yang hanya numpang lewat pada sungai bawah tanah sehingga sangat singkat bersinggungan dengan mineral Batu Gamping. Air perkolasi juga dapat dilihat dari fluktuasi suhu yang konstan sepanjang hari bahkan sepanjangi tahun, sedangkan air *vadose* berfluktuasi dengan suhu diluar gua. Air *vadose* juga pada umumnya keruh karena material yang berasal dari luar gua ikut hanyut kedalam alirannya seperti lumpur, pasir dan kerikil. Sedangkan pada aliran perkolasi cukup jernih karena proses perembesan tadi sehingga air tersebut tersaring pada pori-pori Batu Gamping (*Lime Stone*). Jenis lorong pada gua dari segi hidrologiyang dapat dibagi dalam 3 jenis, yakni: 1) lorong *Fhareatik* dimana pada Lorong *Fhareatik* ini kondisi lorong masih sepenuhnya ditutupi oleh air dan pada umumnya memiliki dinding gua yang relative halus. Pada kondisi lorong seperti ini hanya bisa ditelusuri dengan teknik *Cave Diving*,2) Lorong *Vadose*, yaitu Lorong yang sebagian dari lorong tersebut dialiri air, pada

lorong ini pembentukan ornament biasanya baru terbentuk pada bagian atap gua, dan 3) Lorong Fosil yaitu Lorong yang kering atau sudah tidak dialiri air lagi, kemungkinan adanya perubahan pola aliran air bawah tanah, pada lorong ini pembentukan ornamen sudah mencapai nol.

Air perkolasi juga membantu dalam proses pembentukan ornamen gua, karena mineral yang dibawa oleh tetesan atau rembesan air perkolasi tidak semuanya ikut larut didalam air akan tetapi sebagian mampir dan mengendap pada atap, dinding atau lantai gua sehingga lama kelamaan akan terjadi sedimentasi mineral, maka terbentuklah ornamen-ornamen yang terdapat pada atap gua seperti : *SodaStraw*, *Stalagtite*, *Helektite*, *Deflected Stalagtite* dan berbagai ornamen yang menggantung di atap gua. Di dinding gua terbentuk *Drapery*, *Canopy* dan dilantai terbentuk *Gourdam*, *Kalsit Floor*, *Rim Stone*, *Stalagmite* dan masih banyak lagi ornamen lainnya yang terbentuk di plafon, dinding dan lantai gua yang sangat indah yang merupakan fenomena lingkungan gua yang tak dapat ditemukan dunia diluar.

Setidaknya terdapat 268 gua yang terbentuk di kawasan ini. Gua Leang Leaputte menjadi yang terdalam dengan kedalaman 260 meter dan yang terpanjang adalah Gua Salukan Kallang dengan perkiraan panjang keseluruhan 27 km. Gua-gua ini mungkin kurang familiar bagi wisatawan, namun bagi para *cave diver* ini sudah menjadi destinasi yang populer. Sudah banyak ekspedisi *cave diving* dilakukan di gua-gua Bantimurung. Keunggulan ini menjadikan Bantimurung objek wisata terbaik di Sulawesi Selatan.

Diantara gua rekreasional yang paling sering dikunjungi wisatawan di Kawasan Bantimurung adalah Gua Batu dan Gua Mimpi. Gua-gua ini sangat kaya dengan stalakmit, stalaktit, helektit, flowstone, pilar dan sodastraw yang sangat memukau, menjadikan Bantimurung objek wisata terbaik di Sulawesi Selatan.(Mudzakkir, 2011)

Gua Mimpi terletak di lapisan bawah kira-kira 15 menit berjalan dan terletak sekitar 15 meter dari ketinggian air terjun Bantimurung. Melalui jalan kecil ke hulu dan air terjun ke air terjun lain dan dari gua yang lebih kecil kita sampai ke

Gua Mimpi, Sambutan *stalaktit* dan *stalakmit* yang ada di langit-langit dan lantai
Gua Mimpi akan memeberikan kesan menakjubkan.

BAB III

TUJUAN DAN MANFAAT

A. Tujuan

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi informasi yang diperoleh dari ornamen Gua sebagai indikasi perubahan iklim. Indikasi perubahan iklim yang berkaitan dengan pembentukan ornamen gua adalah sejarah pembentukan Gua itu sendiri, curah hujan dan ketersediaan air di dalam gua. Sehingga, tujuan penelitian terbagi atas tujuan penelitian tahun pertama dan tahun kedua. Untuk itu, tujuan khusus penelitian ini menjawab rumusan masalah yang dikemukakan pada bab sebelumnya yaitu:

1. Mensintesa karakteristik Gua yang terdapat di Kawasan Karst Maros.
2. Mengevaluasi profil curah hujan di Kawasan Karst Maros
3. Mensintesa ketersediaan air sungai bawah tanah di Kawasan Karst Maros.

B. Manfaat

Dari tujuan penelitian di atas, maka manfaat penelitian dapat digunakan dalam bidang:

1. Pertanian
2. Pariwisata
3. PDAM

C. Urgensi

Penelitian ini menghasilkan suatu laporan hasil kajian tentang kondisi gua di Kawasan Karst Maros dengan ornamen yang dimilikinya sebagai informasi awal tentang perubahan iklim. Sehingga akan dapat membantu para pembuat keputusan dan pihak-pihak berwenang (pemerintah) untuk dapat membuat suatu kebijakan yang mendalam, terkait dengan manajemen kawasan karst, terutama kaitannya dengan perubahan iklim. Penelitian ini juga mengkaji tentang ketersediaan air sungai bawah tanah di Kawasan Karst Maros berbasis data curah hujan. Pada akhirnya, penelitian ini dapat berkontribusi kepada perencanaan pembangunan di

Indonesia khususnya manajemen sumber daya air terkait dengan adanya isu perubahan iklim.

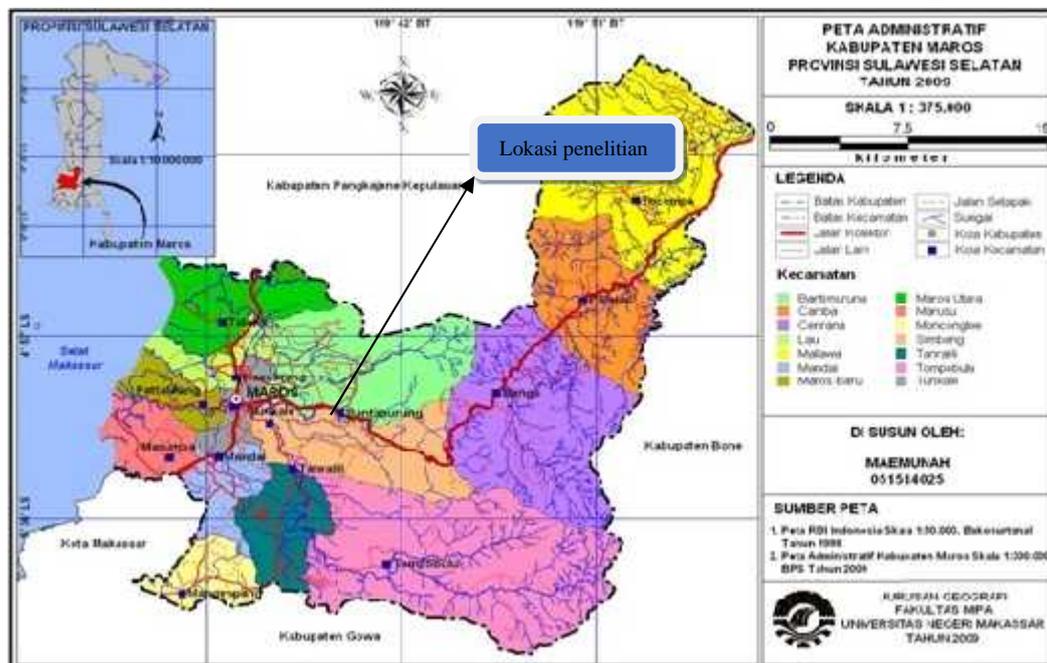
Hasil penelitian ini akan dimasukkan dalam jurnal bereputasi internasional *Journal of Cave and Karst Studies* dan akan dijadikan bahan penulisan buku tentang Karst Maros dan Potensi Sumberdaya Airnya yang sementara dalam proses penyusunan oleh peneliti utama.

BAB IV METODE PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di Kawasan Karst Maros yang terletak pada $40^{\circ} 45' 50''$ LS dan $109^{\circ} 20' 00''$ BT sampai $129^{\circ} 12' 00''$ BT.

Penelitian ini mengambil lokasi di Kawasan Karst Bantimurung yang mempunyai 6 (enam) stasiun curah hujan (CH), yakni: 1) stasiun CH Bantimurung, 2) stasiun CH Lekopacking, 3) stasiun CH Bonti-Bonti, 4) stasiun CH Batubassi, 5) stasiun CH Camba, dan 6) stasiun CH Simbang.



Gambar 4.1 Lokasi Penelitian

B. Data dan Pengumpulan Data

Penelitian ini berkaitan dengan tiga jenis data, yakni:

1. Data Curah Hujan 30 tahun (1985-2014) Dari enam stasiun CH, dipilih tiga stasiun CH dengan pertimbangan mempunyai data lengkap mulai dari tahun 1985-2014. Ketiga stasiun tersebut adalah:
 - a. Stasiun CH Batubessi dengan posisi $5^{\circ}4'$ LS dan $119^{\circ}45'$ BT
 - b. Stasiun CH Bontibonti dengan posisi $5^{\circ}0'$ LS dan $119^{\circ}42'$ BT
 - c. Stasiun CH Pakelli dengan posisi $5^{\circ}4'$ LS dan $119^{\circ}45'$ BT

2. Data debit air (Q) selama 30 tahun (1985-2014) yang diperoleh dari PSDA Kementerian PU Propinsi Sulawesi Selatan.

3. Gua di Kawasan Karst Maros

Data Gua merupakan data dokumentasi, sedangkan ornamen Gua dilakukan pengamatan langsung di Kawasan Karst Maros, yakni Gua Salukan Kallang dan Gua Mimpi.

C. Analisis Data

Analisis data untuk curah hujan dan debit air.

1. Menghitung nilai rata-rata curah hujan dengan persamaan sebagai berikut :

$$P = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{n} \quad (\text{Suyono, 1997})$$

di mana P = Curah hujan rata-rata daerah; P_1 = Curah hujan Stasiun 1

P_n = Curah hujan Stasiun ke-n; n = Jumlah stasiun curah hujan yang ada di daerah penelitian

2. Menentukan karakteristik tipe curah hujan berdasarkan metode Oldeman dan Schmidt-Ferguson (Tjasyono, 2004).

3. Menghitung nilai rata-rata debit air di Kawasan Karst

4. Data Karakteristik Gua

Data primer merupakan data yang diperoleh dari karakteristik gua mimpi meliputi ornamen-ornamen gua seperti berikut :

a. Alat dan Bahan yang digunakan

1) Alat ukur panjang (Roll meter) digunakan untuk mengukur panjang, lebar, dan tinggi gua mimpi

2) GPS (*Global Positioning System*) digunakan untuk mengetahui letak posisi penelitian

3) Senter digunakan untuk menerangi jalan dalam menelusuri gua mimpi

4) Kamera digunakan untuk mengambil gambar ornamen-ornamen gua mimpi atau hasil penelitian

5) Alat tulis menulis digunakan untuk mencatat hasil dari penelitian

b. Tahap Persiapan

1) Studi pustaka, yaitu mempelajari literatur yang berhubungan dengan Gua Salukan Kallang dan Gua Mimpi yakni :

a) Stalaktit

Terbentuk dari tetesan air dari atap gua yang mengandung kalsium karbonat (CaCO_3) yang mengkristal, dari tiap tetes air akan menambah tebal endapan yang membentuk kerucut menggantung dilangit-langit gua.

b) Stalakmit

Merupakan pasangan dari stalaktit, yang tumbuh dilantai gua karena hasil tetesan air dari atas langit-langit gua.

c) Helektit

Merupakan bentuk bebatuan yang berukuran kecil dan tidak beraturan, bentuknya ada yang bercabang dan ada juga yang berpilin ke segala arah.

d) Flowstone

Terbentuk dari milyaran tetesan air yang mengalir dan menyelubungi bongkahan batu.

e) Pilar (*coloumn*)

Merupakan hasil pertemuan endapan antara stalaktit dan stalakmit yang akhirnya membentuk tiang yang menghubungkan stalaktit dan stalakmit menjadi satu.

f) Sodastraw

Ornamen yang memiliki diameter lebih kecil dari stalaktit.

2) Survei lapangan

3) Pengurusan surat izin

4) Mempersiapkan alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian.

3. Mengidentifikasi Setiap Ornamen di Gua Salukan Kallang dan Gua Mimpi

Langkah yang dilakukan adalah :

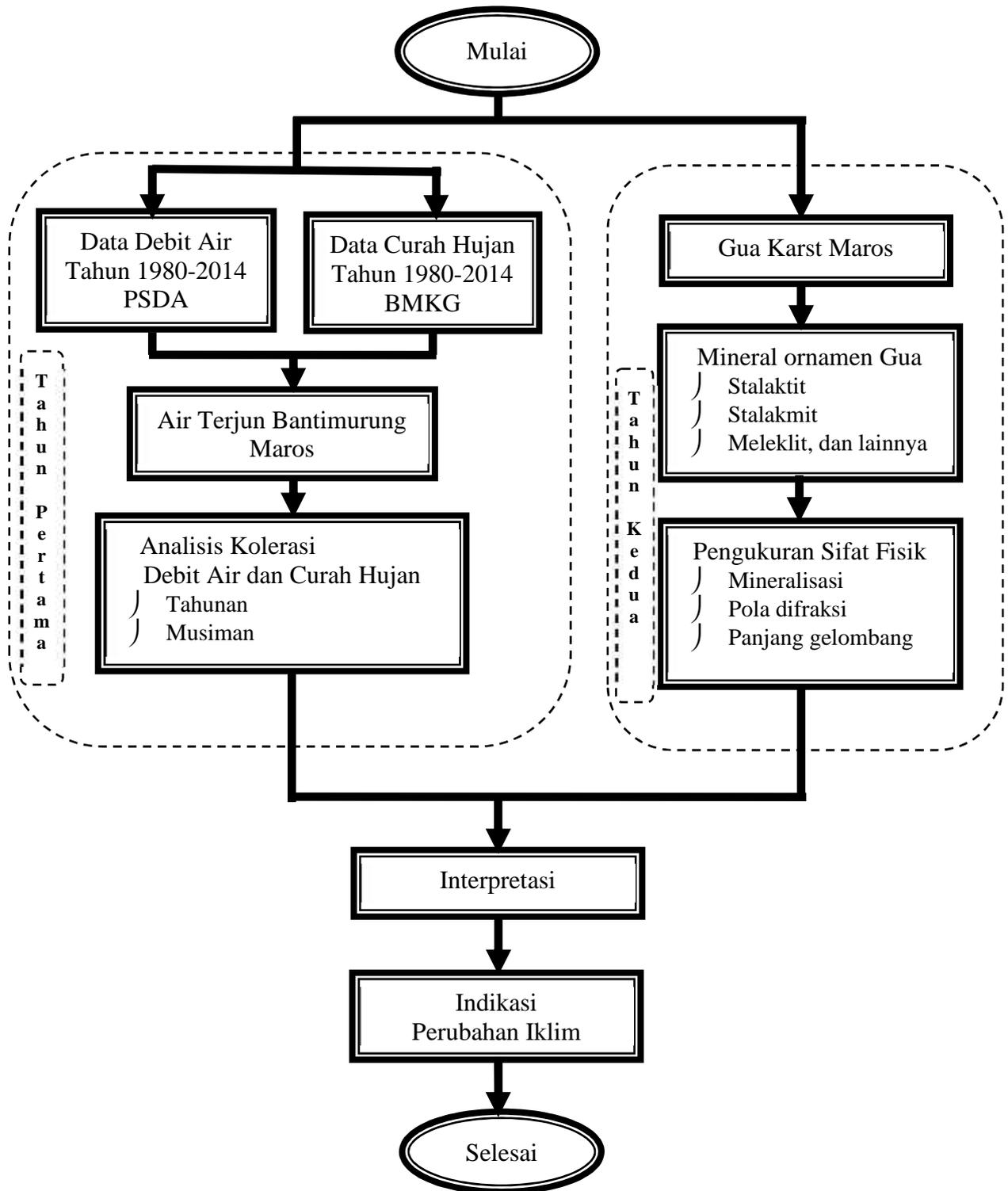
a. Membagi Gua Salukan Kallang dan Gua Mimpi menjadi 3 zona bagian utama, yaitu masing-masing 250 m. Pada bagian ini kita membagi zona

menjadi 3 bagian karena panjang gua mimpi yakni ± 750 m jadi masing-masing zona 250, dimana gua mimpi juga memiliki 3 zona kehidupan gua.

b. Mengidentifikasi setiap ornamen-ornamen Gua Salukan Kallang dan Gua Mimpi

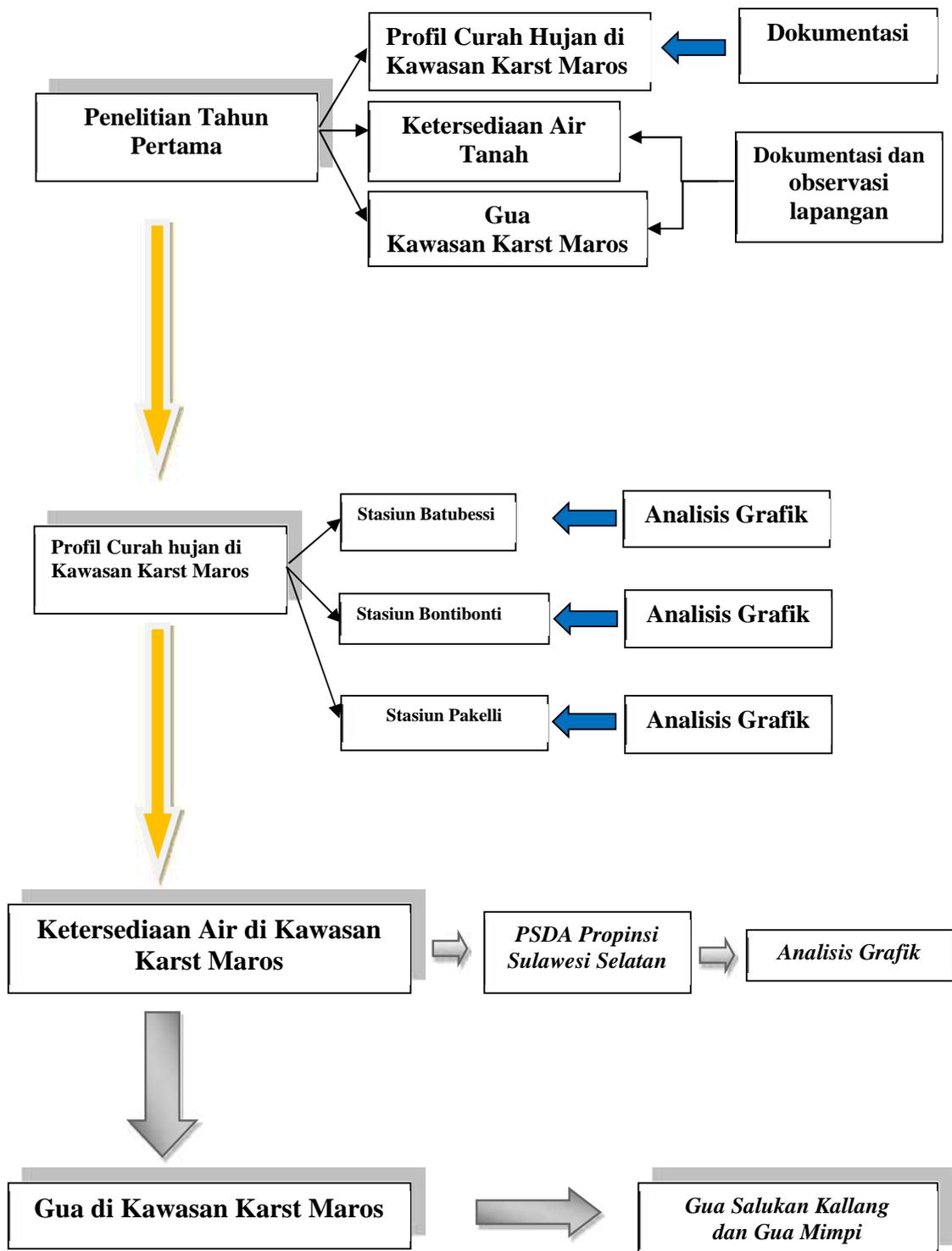
- 1) menjumlahkan stalakmit pada setiap bagian , termasuk : dimensinya .
- 2) menjumlahkan stalaktit pada setiap bagian, termasuk dimensinya.
- 3) menjumlahkan helektit pada setiap bagian, termasuk dimensinya.
- 4) menjumlahkan flowstone pada setiap bagian, termasuk dimensinya.
- 5) menjumlahkan pilar pada setiap bagian, termasuk dimensinya.

D. Diagram Alir Penelitian



Gambar 4.2 Diagram Alir Penelitian

E. Alur Penelitian pada Tahun I



Gambar 4.3 Alur Penelitian Tahun I

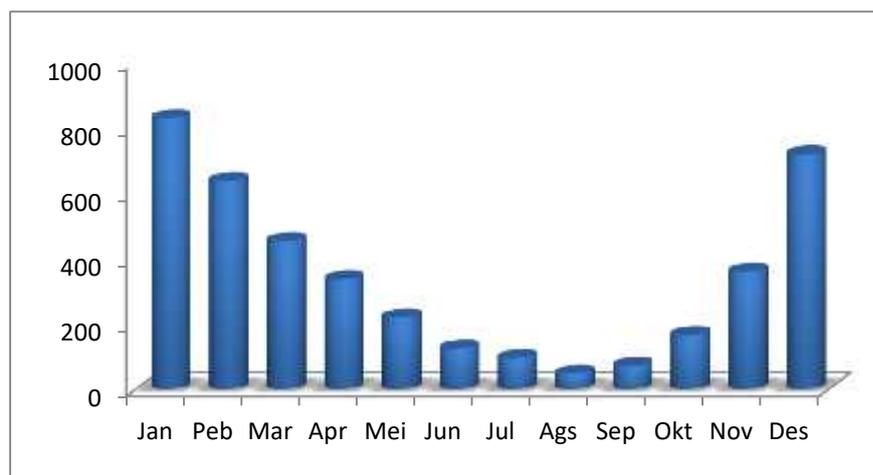
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Hasil penelitian pada tahun I meliputi tiga hal pokok, yakni: (1) profil curah hujan di Kawasan Karst Maros, (2) ketersediaan debit air di Kawasan Karst Maros, dan (3) karakteristik gua yang terdapat di Kawasan Karst Maros, berturut-turut dikemukakan seperti berikut.

1. Profil Curah Hujan di Kawasan Karst Maros

Berdasarkan hasil pengolahan data curah hujan, maka rata-rata curah hujan dari ketiga stasiun curah hujan (Stasiun Bantimurung, Stasiun Bontibonti dan Stasiun Pakelli) periode 1985-2014 sebesar 337,025 mm. Ketiga stasiun curah hujan tersebut adalah stasiun curah hujan yang membasahi Kawasan Karst Maros sepanjang tahun. Pola hujan yang terjadi di Kawasan Karst Maros adalah pola muson. Pola muson diperlihatkan dengan dua bulan curah hujan sebelah kanan dan sebelah kiri secara simetris mencapai curah hujan tertinggi. Distribusi curah hujan pada Kawasan Karst Maros ditandai dengan jumlah rata-rata curah hujan yang menyirami kawasan karst secara terus menerus selama 30 tahun. Karakteristik distribusi curah hujan yang jatuh pada Kawasan Karst Maros dapat dilihat pada Gambar 5.1



Gambar 5.1 Grafik karakteristik curah hujan Kawasan Karst Maros periode 1985-2014

Berdasarkan Gambar 5.1 terlihat bahwa pola curah hujan yang terjadi di Kawasan Karst Maros dicirikan dengan dua puncak curah hujan pada sebelah kiri yakni bulan Nopember dan bulan Desember dan dua puncak curah hujan pada sebelah kanan, yakni bulan Januari dan Bulan Pebruari. Curah hujan pada bulan April dan bulan Nopember relatif sama, yakni sebesar 400,00 mm. Puncak curah hujan terjadi pada bulan Desember (717,30 mm) dan bulan Januari sekitar (827,40 mm). Di mana pada bulan Juni, Juli dan Agustus terjadi musim kemarau, sementara untuk bulan Desember, Januari dan Pebruari merupakan musim penghujan. Sedangkan enam bulan sisanya merupakan daerah peralihan atau pancaroba (tiga bulan peralihan musim kemarau ke musim hujan dan tiga bulan peralihan musim hujan ke musim kemarau). Karakteristik curah hujan di Kawasan Karst Maros ditandai dengan bulan Agustus dengan curah hujan terendah sekitar 46,40 mm. Bulan Agustus merupakan bulan dengan curah hujan terendah hanya sebesar 46,40 mm, tetapi bulan sebelumnya, yakni bulan Juli sebesar 94,10 mm, sedangkan satu bulan setelahnya, yakni bulan September sebesar 70,00 mm. Artinya, pergantian bulan di Kawasan Karst Maros ditandai dengan bertambahnya curah hujan rata-rata sebesar dua kali lipat dari bulan sebelumnya. Ini menjadi menarik, bahwa peralihan dari musim kemarau ke musim hujan ditandai dengan curah hujan yang semakin membesar, begitu juga sebaliknya perubahan transisi dari musim hujan ke musim kemarau juga hampir mengalami penurunan dua kali dari curah hujan sebelumnya. Akibatnya, prediksi ketersediaan air di Kawasan Karst Maros dapat dilakukan dengan mudah untuk melakukan antisipasi pada bulan Agustus di mana akan terjadi penurunan debit air di Kawasan Karst Maros. Ini menjadi penting, karena pada bagian hilir dari Kawasan Karst Maros adalah kawasan pertanian, di mana Kabupaten Maros merupakan lumbung pangan nasional yang menyuplai beras bagi penduduk pulau-pulau di Indonesia, terutama Pulau Kalimantan, Pulau Maluku, dan Papua.

2. Perubahan Sifat Hujan Kawasan Karst Maros

a. Sifat Hujan Priode I (1985-1999)

Hasil pengolahan data curah hujan selama 15 tahun (1985-1999) atau priode pertama, maka sifat curah hujan klasifikasi Oldeman berdasarkan kategori bulan Kawasan Karst Maros dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Sifat Curah Hujan Berdasarkan Kategori Bulan Periode I (1985-1999).

| Bulan | Curah hujan rata-rata | Karakteristik |
|-------|-----------------------|---------------|
| Jan | 699,9 | Bulan basah |
| Peb | 579,3 | Bulan basah |
| Mar | 410,7 | Bulan basah |
| Apr | 305,6 | Bulan basah |
| Mei | 185,7 | Bulan lembab |
| Jun | 81,6 | Bulan kering |
| Jul | 82,1 | Bulan kering |
| Ags | 32,3 | Bulan kering |
| Sep | 52,5 | Bulan kering |
| Okt | 174,1 | Bulan lembab |
| Nov | 353,5 | Bulan basah |
| Des | 613,7 | Bulan basah |

Sumber: Data primer terolah, 2016

Pada Tabel 5.1, di atas menunjukkan bahwa karakteristik curah hujan kawasan karst Maros periode I (1985-1999), memiliki enam bulan basah, dua bulan lembab dan empat bulan kering, dimana bulan Nopember hingga April termasuk kategori bulan basah, Mei dan Oktober termasuk kategori bulan lembab sedangkan bulan Juni hingga September termasuk kategori bulan kering, dengan tipe curah hujan C₂. Persentase sifat hujan 50,0% bulan basah, 17,0% bulan lembab, dan 33,0% bulan kering.

Hasil pengolahan data curah hujan, maka sifat curah hujan klasifikasi *Schmidt Ferguson* Kawasan Karst Maros periode I (1985-1999) dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Sifat Curah Hujan Priode I (1985-1999)

| Tahun | BB | BL | BK |
|--------------|------------|-----------|-----------|
| 1985 | 8 | 2 | 2 |
| 1986 | 7 | 2 | 3 |
| 1987 | 6 | 1 | 5 |
| 1988 | 9 | 3 | - |
| 1989 | 9 | 1 | 2 |
| 1990 | 7 | 1 | 4 |
| 1991 | 7 | - | 5 |
| 1992 | 9 | 1 | 2 |
| 1993 | 7 | 2 | 3 |
| 1994 | 7 | - | 5 |
| 1995 | 10 | - | 2 |
| 1996 | 8 | 2 | 2 |
| 1997 | 7 | - | 5 |
| 1998 | 11 | 1 | - |
| 1999 | 9 | - | 3 |
| Rerata | 8,1 | 1,6 | 3,3 |
| Nilai Q | 0,41 | | |
| Tipe | C | | |
| Sifat | Agak Basah | | |

Berdasarkan Tabel 5.5, di atas terlihat bahwa sifat curah hujan kawasan karst Maros berada pada golongan curah hujan tipe C dengan sifat hujan agak basah. Nilai Q yang diperoleh sebesar 0,41. Persentase sifat hujan 67,5% bulan basah, 13,3% bulan lembab, dan 19,2% bulan kering.

b. Sifat Hujan Priode II (2000-2014)

Hasil pengolahan curah hujan selama 15 tahun (2000-2014) priode kedua berdasarkan klasifikasi Oldeman berdasarkan kategori bulan Kawasan Karst Maros dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Sifat Curah Hujan Berdasarkan Kategori Bulan
Priode II (2000-2014).

| Bulan | Curah hujan rata-rata | Karakteristik |
|-------|-----------------------|---------------|
| Jan | 954,9 | Bulan basah |
| Peb | 692,9 | Bulan basah |
| Mar | 493,6 | Bulan basah |
| Apr | 364,5 | Bulan basah |
| Mei | 251,6 | Bulan basah |
| Jun | 162,4 | Bulan lembab |
| Jul | 106,0 | Bulan lembab |
| Ags | 57,9 | Bulan kering |
| Sep | 87,6 | Bulan kering |
| Okt | 155,9 | Bulan lembab |
| Nov | 364,4 | Bulan basah |
| Des | 817,7 | Bulan basah |

Pada Tabel 5.3, menunjukkan bahwa karakteristik curah hujan kawasan karst Maros periode II (2000-2014), memiliki tujuh bulan basah, tiga bulan lembab dan dua bulan kering, dimana bulan Nopember hingga April termasuk kategori bulan basah, Juni, Juli dan Oktober termasuk kategori bulan lembab sedangkan bulan Agustus dan September termasuk kategori bulan kering, dengan tipe curah hujan B2. Persentase sifat hujan 58,3% bulan basah, 25,0% bulan lembab, dan 16,7% bulan kering.

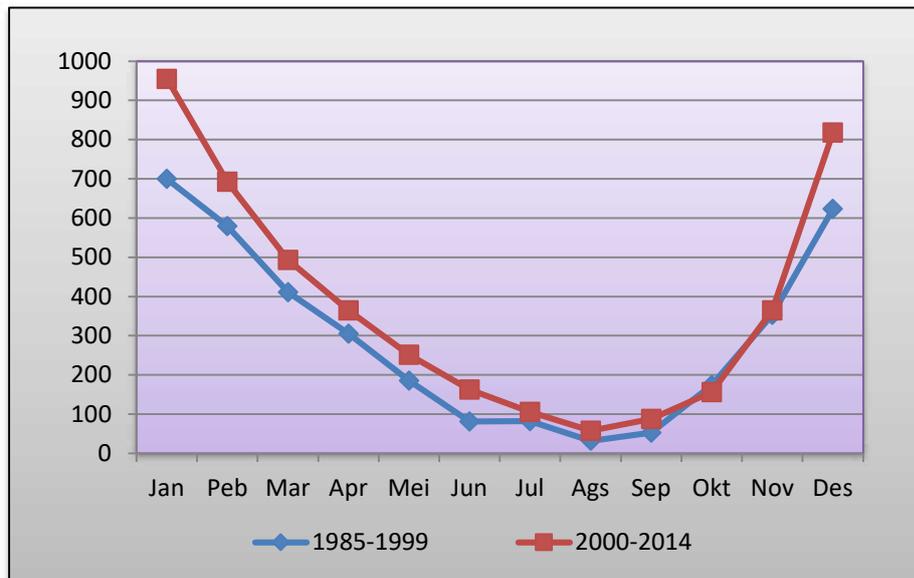
Hasil pengolahan curah hujan selama 15 tahun (2000-2014) priode kedua, maka sifat curah hujan klasifikasi Schmidt Ferguson Kawasan Karst Maros dapat dilihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Sifat Curah Hujan Priode II (2000-2014)

| Tahun | BB | BL | BK |
|----------------|--------------|------------|------------|
| 2000 | 9 | 1 | 2 |
| 2001 | 10 | - | 2 |
| 2002 | 7 | 1 | 4 |
| 2003 | 8 | 2 | 2 |
| 2004 | 7 | 1 | 4 |
| 2005 | 8 | - | 4 |
| 2006 | 8 | - | 4 |
| 2007 | 8 | 1 | 3 |
| 2008 | 8 | - | 4 |
| 2009 | 10 | 1 | 1 |
| 2010 | 12 | - | - |
| 2011 | 8 | 1 | 3 |
| 2012 | 9 | - | 3 |
| 2013 | 10 | 1 | 1 |
| 2014 | 8 | - | 4 |
| Rerata | 8,7 | 1,1 | 2,9 |
| Nilai Q | 0,32 | | |
| Tipe | B | | |
| Sifat | Basah | | |

Berdasarkan Tabel 5.4 di atas, terlihat bahwa curah hujan Kawasan Karst Maros berada pada golongan curah hujan tipe B dengan sifat hujan basah. nilai Q sebesar 0,32, Persentase sifat hujan 72,5% bulan basah, 9,2% bulan lembab, dan 24,3% bulan kering.

Analisis curah hujan dibagi menjadi dua periode dengan jumlah perbandingan data curah hujan masing-masing 15 tahun yaitu periode I (1985-1999) dan periode II (2000-2014). Berdasarkan hasil analisis perbandingan periode I dan periode II maka diperoleh grafik seperti pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Grafik Curah Hujan untuk Perbandingan Priode I (1985-1999) dengan Priode II (2000-2014)

Berdasarkan Gambar 5.2 diatas menunjukkan bahwa kecendrungan curah hujan pada dua priode di Kawasan Karst Maros mempunyai pola yang sama. Tetapi harga yang berbeda. Untuk priode 15 tahun kedua (2000-2014) lebih tinggi dari pada priode 15 tahun pertama (1985-1999). Terjadi peningkatan curah hujan pada priode kedua. Priode I puncak tertinggi terjadi pada bulan Januari dengan nilai rata-rata sekitar 699,9 mm dan puncak terendah terjadi pada bulan Agustus dengan nilai rata-rata sekitar 32,3 mm. Sedangkan pada priode II puncak tertinggi terjadi pada bulan Januari dengan nilai nilai rata-rata sekitar 954,9 mm dan puncak terendah terjadi pada bulan Agustus dengan nilai rata-rata sekitar 57,9 mm. Kedua priode ini tetap memperlihatkan puncak curah hujan berada pada bulan yang sama, yakni bulan Desember dan bulan Januari. Begitu pula untuk curah hujan yang terendah, yakni pada bulan Agustus.

Hasil pengolahan curah hujan, maka sifat hujan klasifikasi Oldeman periode I (1985-1999) memiliki 6 bulan basah berturut-turut dalam setahun dan memiliki 4 bulan kering berturut-turut, dengan tipe curah hujan C₃ dengan ketentuan mengalami jumlah bulan basah dalam setahun berturut-turut 5-6 bulan dan jumlah bulan kering 4-6 bulan dengan persentase sifat hujan 50,0% bulan basah, 33,0% bulan kering, dan 17,0% bulan lembab. Sementara hasil pengelolaan

sifat hujan klasifikasi Schmidt Ferguson diperoleh nilai Q yang sebesar 0,41, berada pada golongan curah hujan tipe C dengan sifat hujan agak basah. Persentasi sifat hujan 67,5 % bulan basah, 19,2% bulan kering dan 13,3% bulan lembab. Hasil klasifikasi sifat hujan bulanan menunjukkan secara pola spasial relatif sama, hal ini dapat dilihat penentuan tipe curah hujan memiliki tipe yang sama yaitu tipe C.

Hasil pengolahan sifat hujan klasifikasi Oldeman periode II (2000-2014) memiliki 7 bulan basah berturut-turut dalam setahun dan memiliki 2 bulan kering berturut-turut, tipe curah hujan yang didapatkan adalah B₂ dengan ketentuan mengalami jumlah bulan basah dalam setahun berturut-turut 7-9 bulan dan jumlah bulan kering 2-3 bulan. Persentase sifat hujan yang diperoleh 58,3% bulan basah, 16,7% bulan kering dan 25,0% bulan lembab. Ini menunjukkan bahwa Kawasan Karst Maros mempunyai tanah dengan kecenderungan agak basah, sehingga cocok dengan flora yang bersesuaian dengan kondisi tanah yang agak lembab. Akibatnya adalah beberapa tumbuhan anggrek dengan nilai ekonomi tinggi dijumpai di Kawasan Karst Maros. Kawasan Karst Maros mempunyai vegetasi berupa semak belukar, jenis kayu-kayuan antara lain terdiri dari Uru (*Elmerillia* sp), *Casuaria* sp, *Duabanga moluccana*, *Vatica* sp, *Pangium edule*, termasuk tegakan murni *Eucalyptus deglupta*. Pada hutan pegunungan bawah dijumpai *Litsea* sp, *Agathis philippinensis*, berbagai jenis bambu dan *Ficus Sumatrana*. Flora jenis ini berkembang baik karena berada di area hutan lindung Karaengta dan Pattunuang Kabupaten Maros (Departemen Kehutanan, 2008).

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, maka curah hujan harian, bulanan, tahunan, periode 1985-2014 bervariasi. Dari tiga stasiun curah hujan yang diamati dalam penelitian ini, maka stasiun curah hujan Pakelli yang mempunyai rata-rata curah hujan tahunan yang lebih tinggi, yakni 948,7 mm. Ketiga stasiun curah hujan mencatat curah hujan terendah pada bulan Agustus dan mempunyai pola hujan muson. Pola hujan muson ditandai dengan terdapatnya curah hujan yang berbentuk V dengan sisi kiri dan sisi kanan yang simetris. Ketiga stasiun curah hujan memberikan rata-rata curah hujan di Kawasan Karst Maros 30 tahun terakhir bervariasi. Rata-rata curah hujan bulanan sebesar

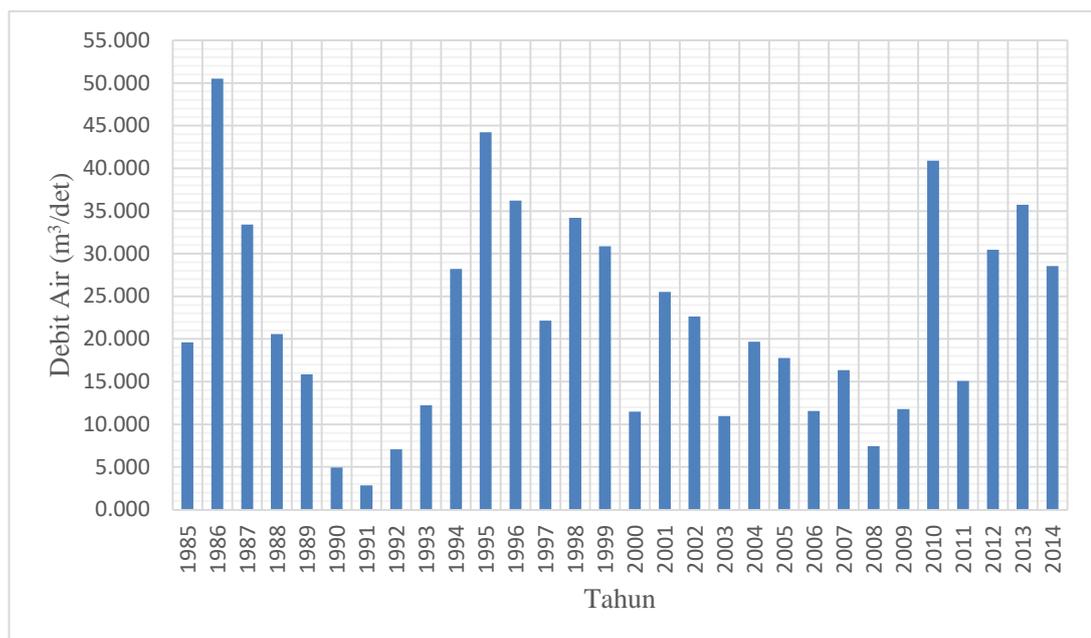
337,02 mm. Ini berarti, bahwa curah hujan rata-rata sama dengan curah hujan yang terjadi pada bulan April, Mei dan Nopember setiap tahun. Berdasarkan teori klimatolog ketentuan musim kemarau apabila curah hujan <60 mm perbulan, masa peralihan 60-100 mm perbulan, dan musim penghujan >100 mm perbulan. Sementara hasil pengelolaan rata-rata curah hujan 30 tahun (Gambar 5.4) terlihat bahwa beberapa curah hujan pada musim kemarau berada diatas 60 mm perbulannya. Hal ini disebabkan karena di beberapa tahun terjadi fenomena kemarau basah.

3. Ketersediaan Air Sungai Bawah Tanah di Kawasan Karst Maros

Ketersediaan air di Kawasan Karst Maros diperoleh dengan melakukan analisis data debit air PSDA Propinsi Sulawesi Selatan yang berturut-turut dikemukakan seperti berikut.

- a. Profil Debit Air di Kawasan Karst Maros bulan Januari selama 30 tahun (1985-2014)

Analisis data debit air yang dilakukan terhadap 30 tahun (1985-2014) untuk bulan Januari, maka diperoleh hasil seperti Gambar 5.3.

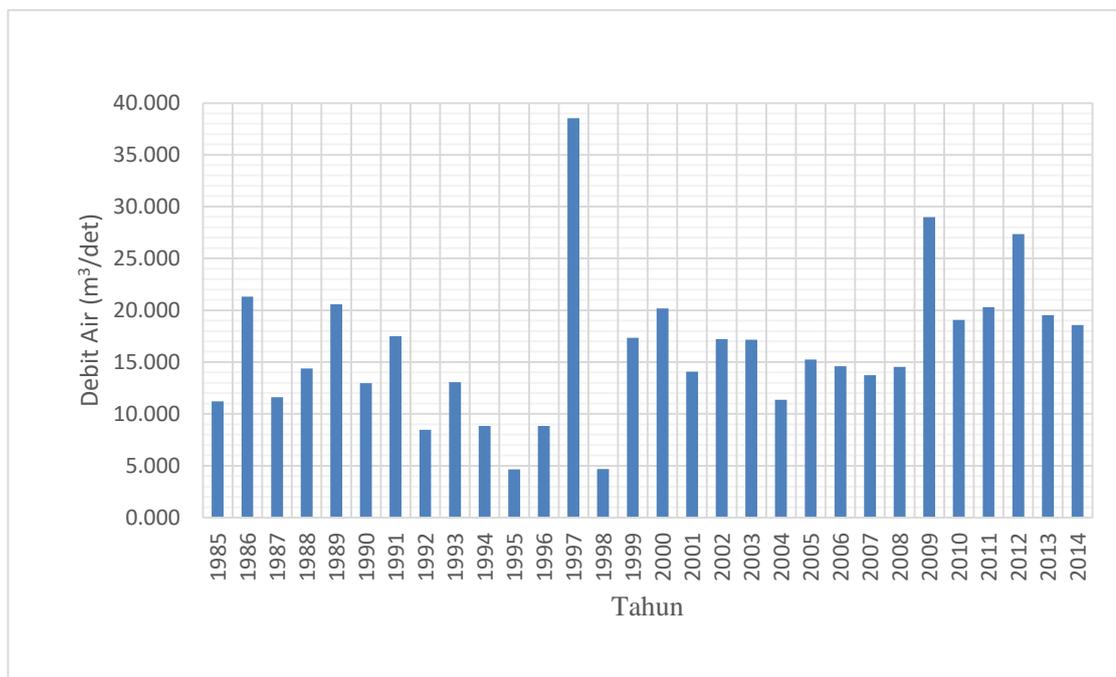


Gambar 5.3 Profil Ketersediaan Air Bulan Januari selama 30 tahun (1985-2014) di Kawasan Karst Maros

Dari Gambar 5.3 terlihat, bahwa selama 30 tahun, maka debit air bulan Januari pada tahun 1985, 1988, 2004, 2005, 2007 dan 2011 mempunyai debit sekitar 20 m³/detik. Untuk tahun 1990, 1991, 1992, dan tahun 2008 sekitar 5 m³/detik, dengan bulan Januari tahun 1991 paling rendah hanya sekitar 2,50 m³/detik. Ketersediaan debit air tertinggi terdeteksi pada bulan Januari 1985 dengan 50 m³/detik, sedangkan Januari tahun 1995 dan 2010 mempunyai debit air yang relatif sama sekitar 45,5 m³/detik. Untuk 3 tahun terakhir, yakni tahun 2012, 2013 dan 2014 berada pada kisaran 35,5 m³/detik.

b. Profil Debit Air di Kawasan Karst Maros bulan Pebruari selama 30 tahun (1985-2014)

Analisis data debit air yang dilakukan terhadap 30 tahun (1985-2014) untuk bulan Pebruari, maka diperoleh hasil seperti Gambar 5.4.



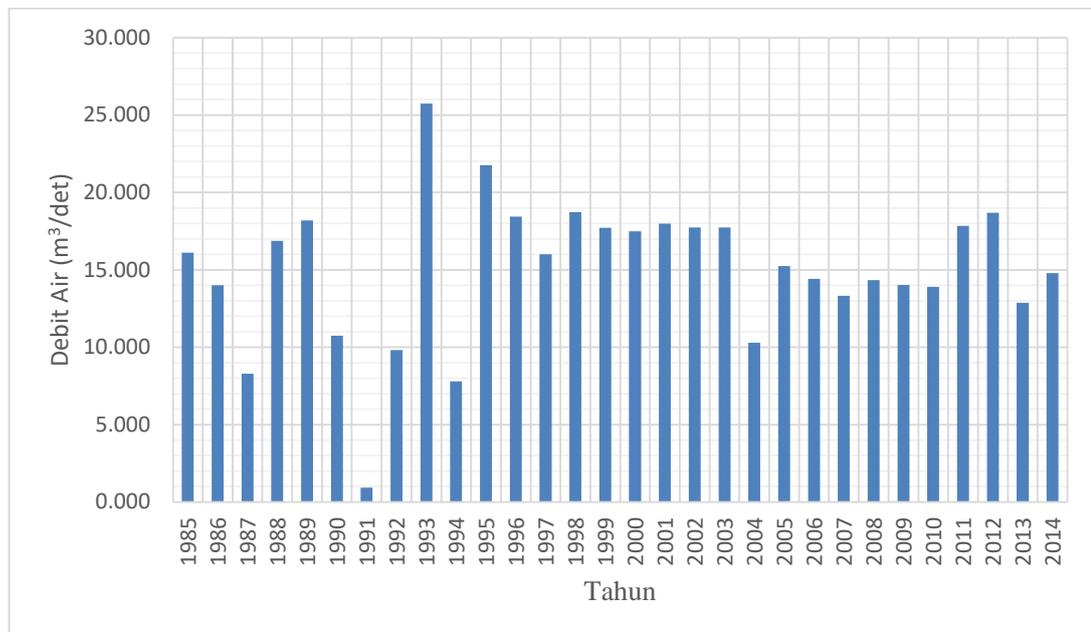
Gambar 5.4 Profil Ketersediaan Air Bulan Pebruari selama 30 tahun (1985-2014) di Kawasan Karst Maros

Dari Gambar 5.4 terlihat, bahwa selama 30 tahun, maka debit air bulan Pebruari pada tahun 1985, 1987, dan tahun 1992 mempunyai debit sekitar 10

m³/detik. Untuk tahun 1995 dan tahun 1998 adalah tahun yang paling rendah ketersediaan air, sekitar 5,0 m³/detik. Ketersediaan debit air tertinggi terdeteksi pada bulan Januari 1997 sekitar 40 m³/detik, sedangkan Pebruari tahun 2009 dan 2013 mempunyai debit air yang relatif sama sekitar 30 m³/detik. Untuk 5 tahun terakhir, yakni tahun 2010, 2011, 2012, 2013 dan 2014 berada pada kisaran 20 m³/detik, kecuali tahun 2012 sekitar 29 m³/detik.

c. Profil Debit Air di Kawasan Karst Maros bulan Maret selama 30 tahun (1985-2014)

Analisis data debit air yang dilakukan terhadap 30 tahun (1985-2014) untuk bulan Maret, maka diperoleh hasil seperti Gambar 5.5.

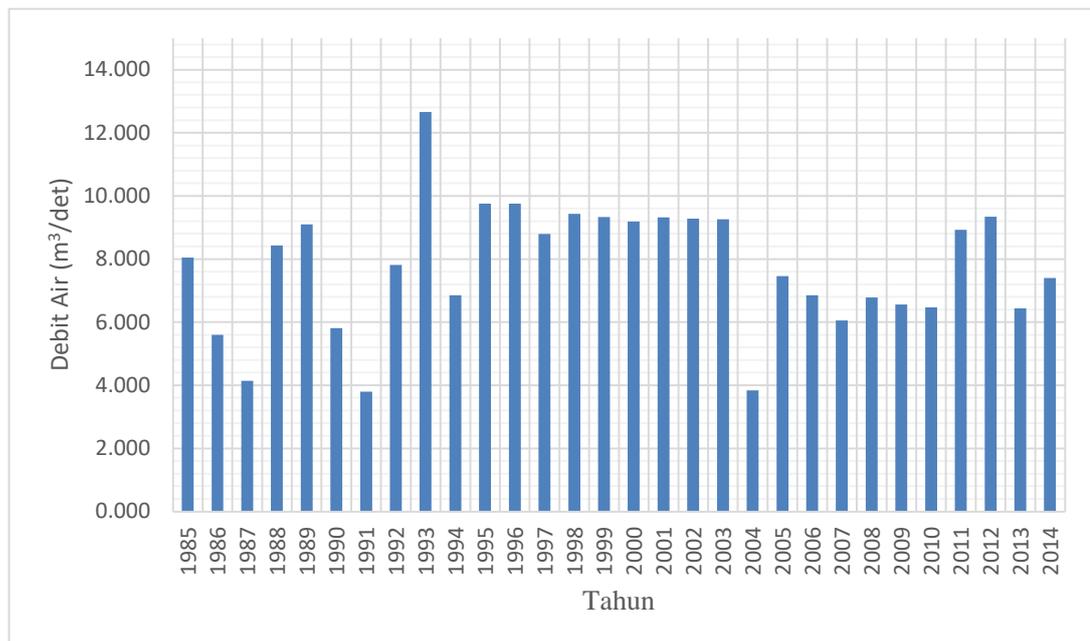


Gambar 5.5 Profil Ketersediaan Air Bulan Maret selama 30 tahun (1985-2014) di Kawasan Karst Maros

Dari Gambar 5.5 terlihat, bahwa selama 30 tahun, maka debit air bulan Maret pada tahun 1985 sampai 2014 mempunyai debit sekitar 16 m³/detik, kecuali pada tahun 1993 yang merupakan tahun dengan ketersediaan debit air paling tinggi sekitar 25 m³/detik. Tahun 1991 mempunyai debit air paling rendah dengan kisaran sekitar 1,0 m³/detik. Sedangkan bulan Maret tahun 1985, 1994, dan tahun 2004 sekitar 10 m³/detik. Untuk 2 tahun terakhir, yakni tahun 2013 dan 2014 berada pada kisaran 15,0 m³/detik.

d. Profil Debit Air di Kawasan Karst Maros bulan April selama 30 tahun (1985-2014)

Analisis data debit air yang dilakukan terhadap 30 tahun (1985-2014) untuk bulan April, maka diperoleh hasil seperti Gambar 5.6.

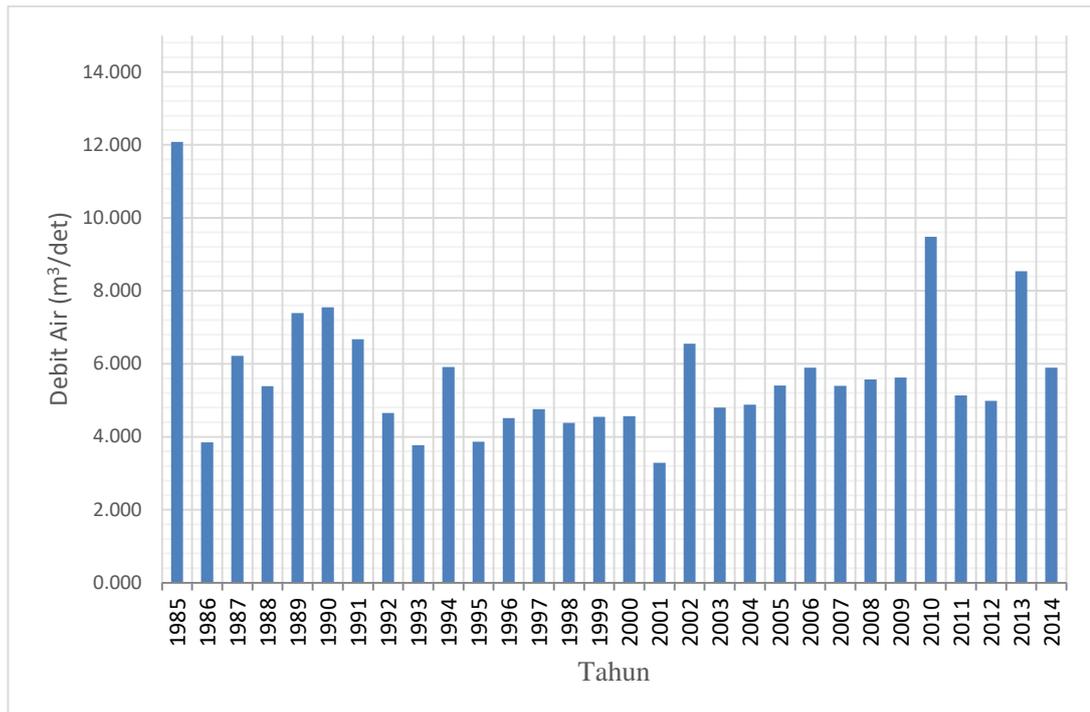


Gambar 5.6 Profil Ketersediaan Air Bulan April selama 30 tahun (1985-2014) di Kawasan Karst Maros

Dari Gambar 5.6 terlihat, bahwa selama 30 tahun, maka debit air bulan April pada tahun 1985, 1988, 1989, 1992, 1994, 2005 sampai 2014 berada pada kisaran 8,00 m³/detik. Kecuali tahun 2011 dan 2012 mempunyai debit sekitar 9,0 m³/detik. Untuk tahun 1995 sampai April 2003 debit air di kisaran sekitar 9,0 m³/detik. Tahun 1987, 1991, dan tahun 2004 merupakan tahun dengan debit terendah sekitar 4,0 m³/detik. Untuk 2 tahun terakhir, yakni tahun 2013 dan 2014 berada pada kisaran 8,0 m³/detik.

e. Profil Debit Air di Kawasan Karst Maros bulan Mei selama 30 tahun (1985-2014)

Analisis data debit air yang dilakukan terhadap 30 tahun (1985-2014) untuk bulan Mei, maka diperoleh hasil seperti Gambar 5.7.

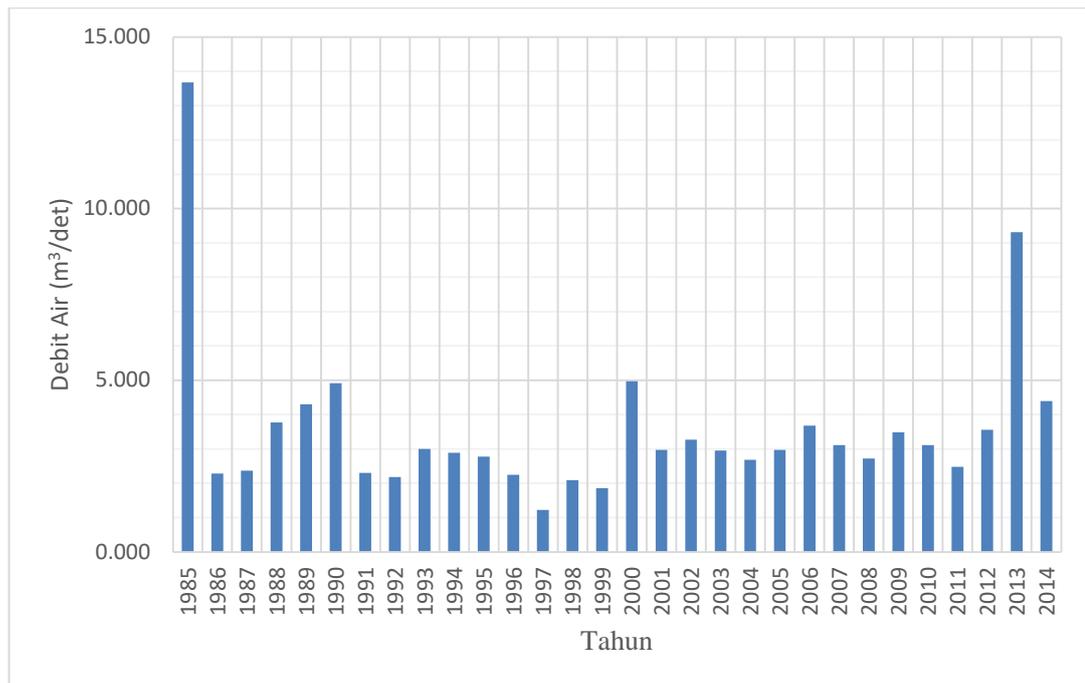


Gambar 5.7 Profil Ketersediaan Air Bulan Mei selama 30 tahun (1985-2014) di Kawasan Karst Maros

Dari Gambar 5.7 terlihat, bahwa selama 30 tahun, maka debit air bulan Mei pada tahun 1985, 1988, 2004, 2005, 2007 dan 2011 mempunyai debit sekitar 20 m³/detik. Untuk tahun 1990, 1991, 1992, dan tahun 2008 sekitar 5 m³/detik, dengan bulan Januari tahun 1991 paling rendah hanya sekitar 2,50 m³/detik. Ketersediaan debit air tertinggi terdeteksi pada bulan Januari 1985 dengan 50 m³/detik, sedangkan Januari tahun 1995 dan 2010 mempunyai debit air yang relatif sama sekitar 45,5 m³/detik. Untuk 3 tahun terakhir, yakni tahun 2012, 2013 dan 2014 berada pada kisaran 35,5 m³/detik.

f. Profil Debit Air di Kawasan Karst Maros bulan Juni selama 30 tahun (1985-2014)

Analisis data debit air yang dilakukan terhadap 30 tahun (1985-2014) untuk bulan Juni, maka diperoleh hasil seperti Gambar 5.8.

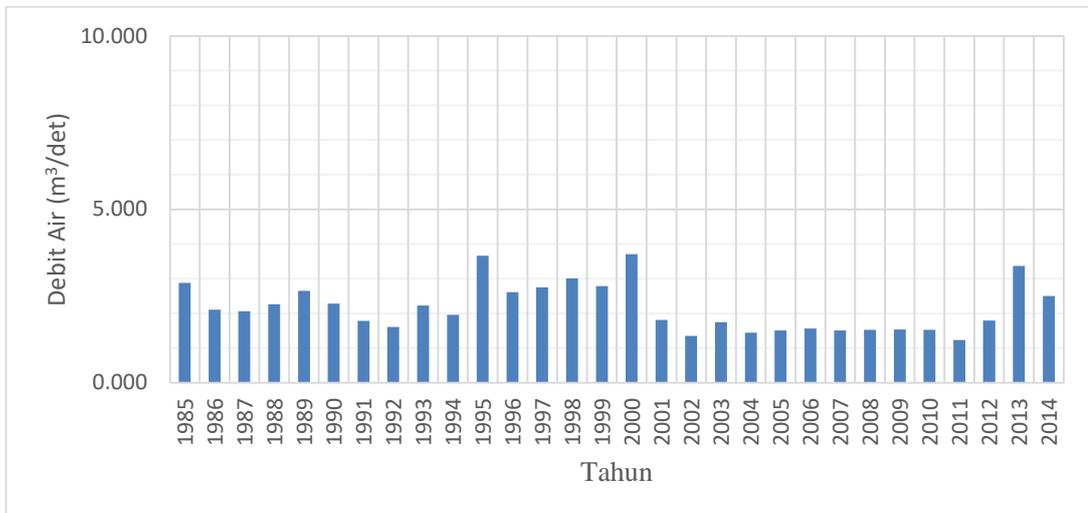


Gambar 5.8 Profil Ketersediaan Air Bulan Juni selama 30 tahun (1985-2014) di Kawasan Karst Maros

Dari Gambar 5.8 terlihat, bahwa selama 30 tahun, maka debit air bulan Juni pada tahun 1990, 2000, dan 2014 mempunyai debit sekitar 5,0 m³/detik. Untuk tahun 2001 sampai tahun 2012 sekitar 4,0 m³/detik, dengan bulan Juni tahun 1997 paling rendah hanya sekitar 1,00 m³/detik. Ketersediaan debit air tertinggi terdeteksi pada bulan Juni 1985 dengan kisaran 13,5 m³/detik. Setelah mengalami peningkatan pada tahun 2013 sekitar 10,0 m³/detik, maka pada tahun 2014 mengalami penurunan sampai harga sekitar 5,0 m³/detik.

g. Profil Debit Air di Kawasan Karst Maros bulan Juli selama 30 tahun (1985-2014)

Analisis data debit air yang dilakukan terhadap 30 tahun (1985-2014) untuk bulan Juli, maka diperoleh hasil seperti Gambar 5.9.

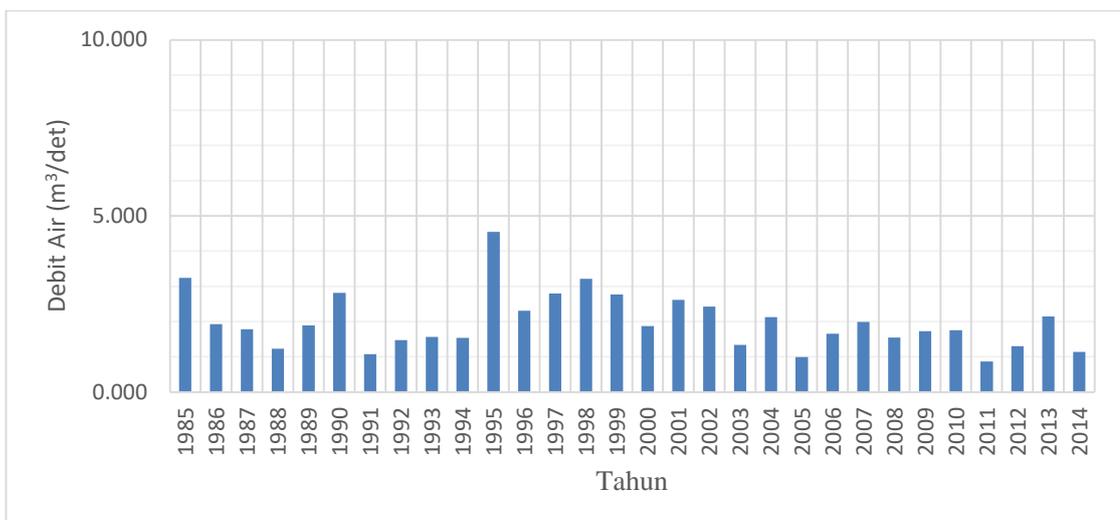


Gambar 5.9 Profil Ketersediaan Air Bulan Juli selama 30 tahun (1985-2014) di Kawasan Karst Maros

Dari Gambar 5.9 terlihat, bahwa selama 30 tahun, maka debit air bulan Juli terus mengalami penurunan sampai mencapai sekitar 2,5 m³/detik. Debit air pada tahun 2001-2012 mempunyai debit sekitar 1,50 m³/detik. Untuk tahun 1995 dan 2000 adalah debit air paling tinggi yakni sekitar 3,50 m³/detik. Ketersediaan debit air pada tahun 2014 berada pada kisaran 3,0 m³/detik.

h. Profil Debit Air di Kawasan Karst Maros bulan Agustus selama 30 tahun (1985-2014)

Analisis data debit air yang dilakukan terhadap 30 tahun (1985-2014) untuk bulan Agustus, maka diperoleh hasil seperti Gambar 5.10.

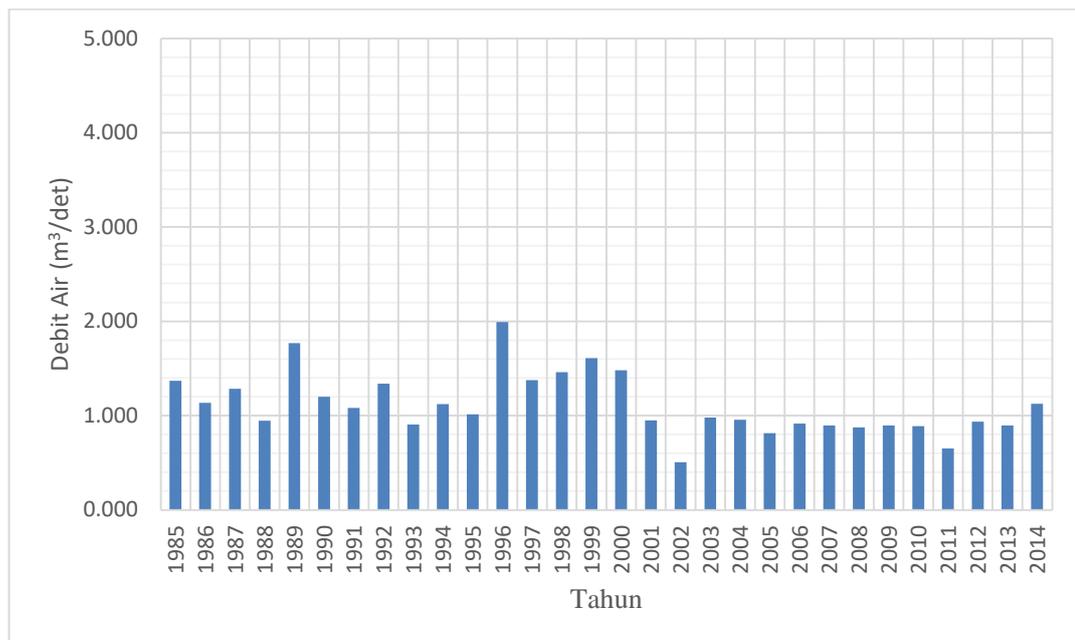


Gambar 5.10 Profil Ketersediaan Air Bulan Agustus selama 30 tahun (1985-2014) di Kawasan Karst Maros

Dari Gambar 5.10 terlihat, bahwa selama 30 tahun setelah bulan Juli, maka debit air bulan Agustus mengalami fluktuasi dengan jumlah debit air paling besar pada tahun 1995 sekitar 4,50 m³/detik. Untuk tahun 1985, 1990, dan 1998 sekitar 3,0 m³/detik, dengan bulan Agustus tahun 1991, 2005 dan tahun 2011 paling rendah hanya sekitar 1,00 m³/detik. Untuk tahun terakhir, yakni 2014 berada pada kisaran 1,0 m³/detik.

i. Profil Debit Air di Kawasan Karst Maros bulan September selama 30 tahun (1985-2014)

Analisis data debit air yang dilakukan terhadap 30 tahun (1985-2014) untuk bulan September, maka diperoleh hasil seperti Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Profil Ketersediaan Air Bulan September selama 30 tahun (1985-2014) di Kawasan Karst Maros

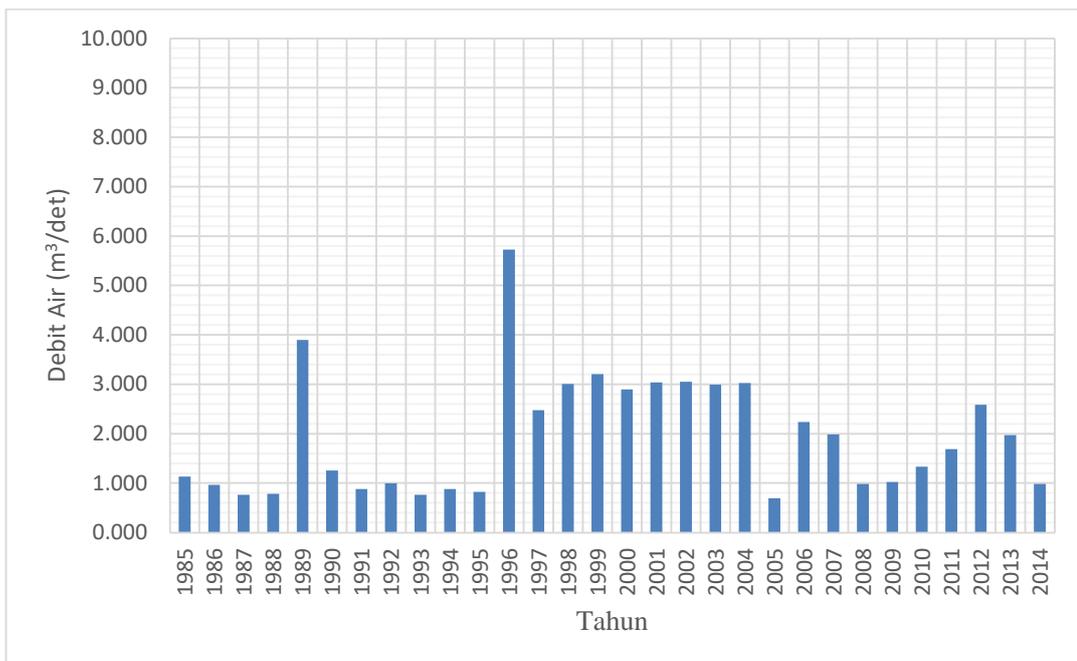
Dari Gambar 5.11 terlihat, bahwa selama 30 tahun, setelah bulan Agustus mengalami fluktuasi, maka dapat dikatakan bahwa pada bulan September stagnan pada kisaran sekitar 1,0 m³/detik. Hanya pada tahun 1996 paling tinggi dengan harga sekitar 2,0 m³/detik, dengan bulan Januari tahun 2002 paling rendah hanya sekitar 0,50 m³/detik. Ketersediaan debit air tertinggi terdeteksi pada bulan Januari 1985 dengan 50 m³/detik, sedangkan Januari tahun 1995 dan 2010 mempunyai debit air yang relatif sama sekitar 45,5 m³/detik. Pada tahun terakhir,

yakni tahun 2014 ketersediaan air berada pada kisaran 1,0 m³/detik sama dengan bulan sebelumnya.

j. Profil Debit Air di Kawasan Karst Maros bulan Oktober selama 30 tahun (1985-2014)

Analisis data debit air yang dilakukan terhadap 30 tahun (1985-2014) untuk bulan Oktober, maka diperoleh hasil seperti Gambar 5.12.

Dari Gambar 5.12 terlihat, bahwa selama 30 tahun, setelah bulan Juli sampai September hanya paling tinggi sekitar 5,0 m³/detik, maka debit air bulan Oktober mulai berfluktuasi dari 1,0 m³/detik sampai 6,0 m³/detik. Pada tahun 1997-2004 debit air sekitar 3,0 m³/detik.



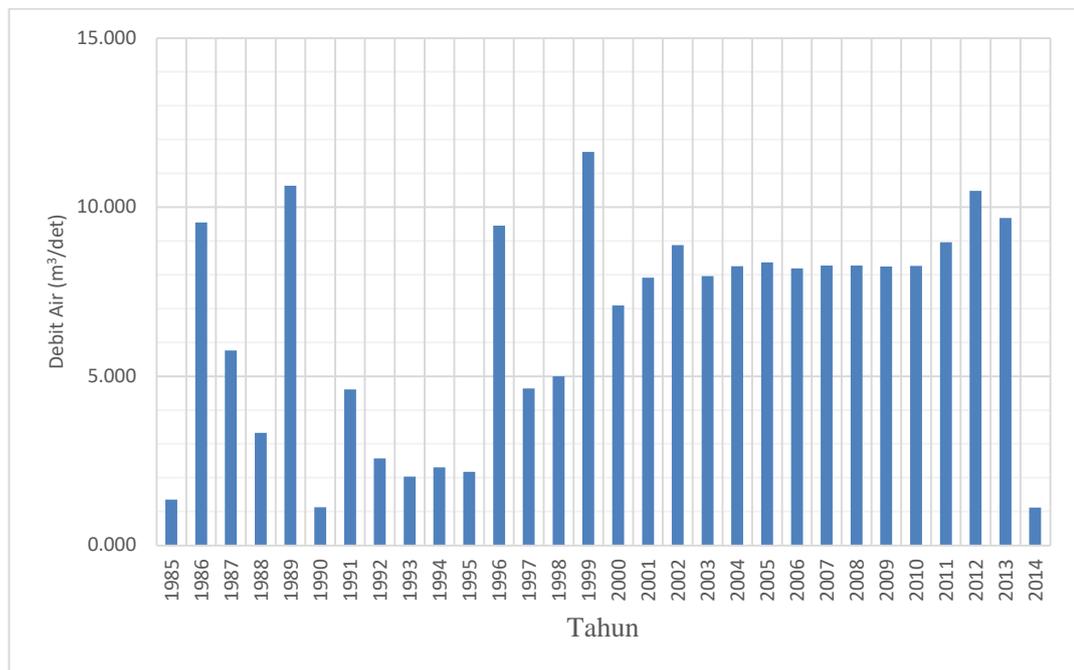
Gambar 5.12 Profil Ketersediaan Air Bulan Oktober selama 30 tahun (1985-2014) di Kawasan Karst Maros

Untuk tahun 1996 sekitar 6,0 m³/detik, sebagai puncak debit air tertinggi dan terendah sekitar 1,0 m³/detik pada tahun 1985-1995, pengecualian pada tahun 1989. Daari Gambar 5.12, terlihat bahwa pada bulan Oktober ini terdapat kelangkaan air yang berlangsung selama 10 tahun, yang kemudian tahun 1996 naik tertinggidan kemudian stagnan 1997-2004 debit air sekitar 3,0 m³/detik.

Untuk tahun terakhir, yakni tahun tahun 2014 kembali turun pada kisaran 1,0 m³/detik.

k. Profil Debit Air di Kawasan Karst Maros bulan Nopember selama 30 tahun (1985-2014)

Analisis data debit air yang dilakukan terhadap 30 tahun (1985-2014) untuk bulan Nopember, maka diperoleh hasil seperti Gambar 5.13.

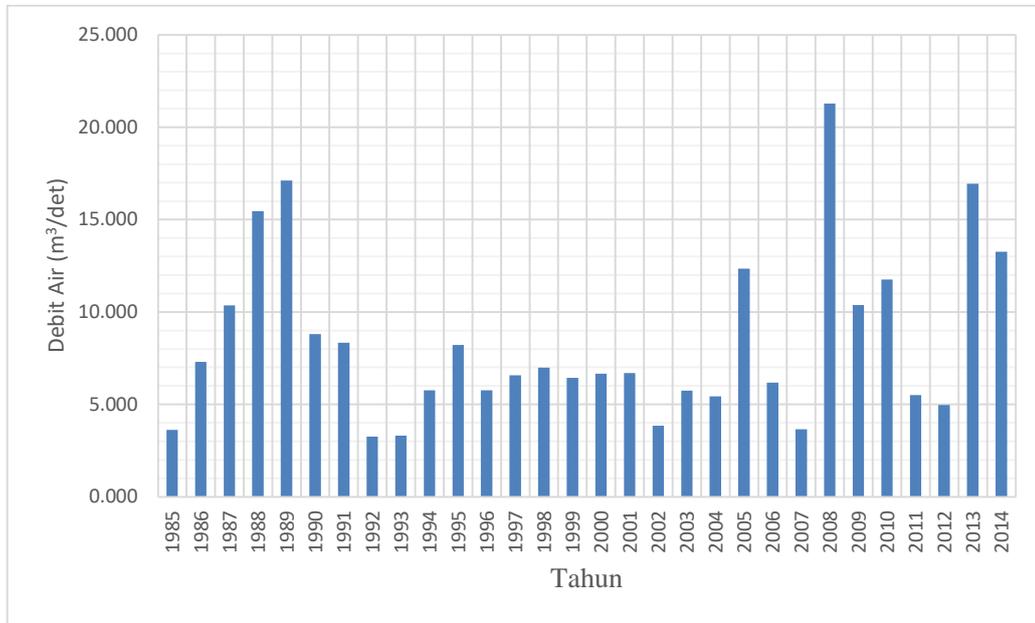


Gambar 5.13 Profil Ketersediaan Air Bulan Nopember selama 30 tahun (1985-2014) di Kawasan Karst Maros

Dari Gambar 5.13 terlihat, bahwa selama 30 tahun, maka debit air bulan Nopember pada tahun 2000-2013 mengalami kenaikan hingga mencapai sekitar 8,0 m³/detik. Untuk tahun 1986, 1989, 1996, dan tahun 1999 sekitar 10,0 m³/detik, dengan bulan Nopember tahun 1999 paling tinggi sekitar 11,00 m³/detik. Ketersediaan debit air terendah terdeteksi pada bulan Nopember 1985, 1990, dan tahun 2014 sekitar 1,0 m³/detik.

l. Profil Debit Air di Kawasan Karst Maros bulan Desember selama 30 tahun (1985-2014)

Analisis data debit air yang dilakukan terhadap 30 tahun (1985-2014) untuk bulan Desember, maka diperoleh hasil seperti Gambar 5.14.



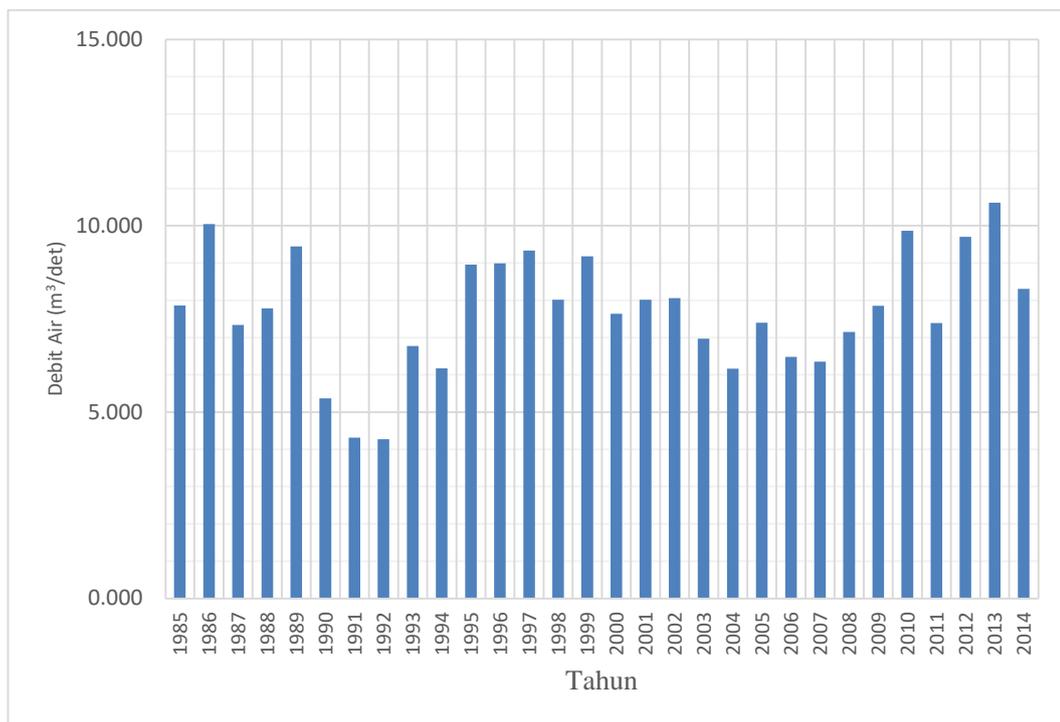
Gambar 5.14 Profil Ketersediaan Air Bulan Desember selama 30 tahun (1985-2014) di Kawasan Karst Maros

Dari Gambar 5.14 terlihat, bahwa selama 30 tahun pada bulan Desember terjadi fluktuatif yang sangat berarti. Terlihat bahwa debit air bulan Desember tahun 2008 berada pada kisaran 22,5 m³/detik. Begitu juga pada bulan Desember tahun 1989 dan 2013 berada pada kisaran 16,0 m³/detik. Debit air pada tahun 1994-2004, sekitar 6,0 m³/detik dengan pengecualian pada tahun 2002 yang hanya sekitar 4,0 m³/detik. Debit air terendah tercatat pada tahun 1985, 1992, 1993 2002 dan tahun 2007 sekitar 4,0 m³/detik. Untuk tahun 2014 setelah beberapa bulan sebelumnya hanya sekitar 1,0 m³/detik, maka naik menjadi 14,0 m³/detik.

m. Debit Air Rata-Rata di Kawasan Karst Maros selama 30 tahun (1985-2014)

Analisis debit air rata-rata selama 30 tahun (1985-2014) diperlihatkan seperti Gambar 5.15 d bawah. Berdasarkan Gambar 5.15 menunjukkan, bahwa selama 30 tahun debit air di Kawasan Karst Maros tidak terlalu fluktuatif. Debit air berada pada selang 4,0 m³/detik sampai 11,0 m³/detik. Debit air terbesar pada tahun 1986, 1989, 2010, 2011 dan tahun 2013 sekitar 10,0 m³/detik dan terendah

<5,00 m³/detik, pada tahun 1991 dan 1992. Selama rentang 30 tahun, maka debit air rata-rata di Kawasan Karst maros sekitar 6,50 m³/detik. Tahun 2000 sampai 2009 debit air berada pada kisaran 7,50 m³/detik. Tahun 1995, 1996 dan tahun 1997 debit air berada pada kisaran sekitar 9,0 m³/detik. Tahun 2014 debit air rata-rata berada pada kisaran 7,0 m³/detik.

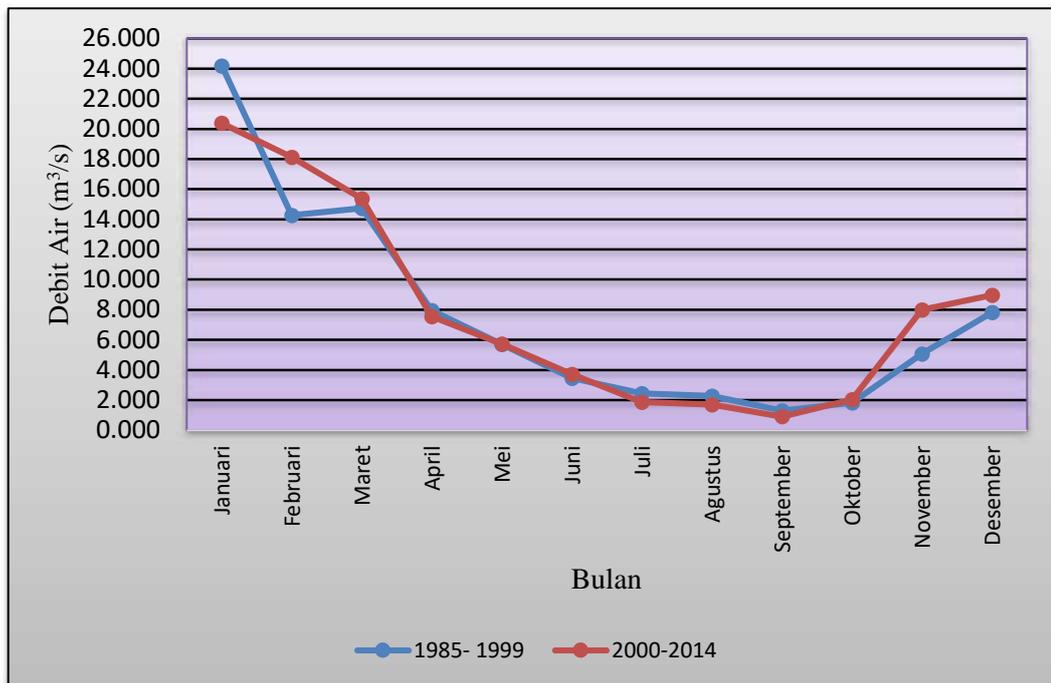


Gambar 5.15 Analisis Debit Air Rata-Rata selama 30 tahun (1985-2014) di Kawasan Karst Maros

Dari data debit air selama 30 tahun (1985-2014) perlu dilakukan analisis untuk rentang 15 tahun untuk melihat pridisasi ketersediaan air di Kawasan Karst Maros. Untuk itu, dilakukan analisis debit air dengan dua periode, yakni periode I (1985-1999) dan periode II (2000-2014). Berdasarkan hasil analisis tersebut diperoleh profile ketersediaan air dengan grafik seperti pada Gambar 5.16.

Gambar 5.16 menunjukkan, bahwa grafik debit air cenderung dengan pola yang sama. Artinya, keberadaan debit air selama interval waktu 15 tahun menunjukkan pola yang sama. Kedua periode berada pada titik tertinggi pada bulan

Januari ($10,0 \text{ m}^3/\text{detik}$), terendah pada bulan September ($1,0 \text{ m}^3/\text{detik}$). Dari bulan Januari debit air semakin menurun dan sampai titik terendah di bulan September. Setelah bulan September, debit air cenderung bertambah sampai bulan Desember ($8,0 \text{ m}^3/\text{detik}$). Debit air pada priode I fluktuasinya sangat tajam pada bulan Januari sampai bulan April, begitu juga kecenderungan menaiknya debit air pada tiga bulan akhir setiap tahun.



Gambar 5.16 Profil Debit Air di Kawasan Karst untuk Priode I (1985-1999) dan Priode II (2000- 2014)

4. Karakteristik Gua di Kawasan Karst Maros

Dari hasil penelusuran dokumen, maka Gua di Kawasan Karst Maros beserta artefak prasejarah yang ditemukan dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5.5 Gua dan Artefak Prasejarah di Kawasan Karst Maros

| No | Nama Gua | Artefak |
|----|----------|---------|
| 1 | Gua Ara | 5,6,7 |

| | | |
|----|--------------------|-------------|
| 2 | Gua Awal | 7 |
| 3 | Gua Batu Ejaya | 2,3,6,7 |
| 4 | Gua Bola Batu | 2,3,4,6 |
| 5 | Gua cadang | 4,7 |
| 6 | Gua Leang Balisao | 2,4 |
| 7 | Gua Leang Burung 1 | 4,5,6,7 |
| 8 | Gua Leang Burung 2 | 1 |
| 9 | Gua Leang Cekondo | 2,4 |
| 10 | Gua Leang Karrasa | 1,7 |
| 11 | Gua Leang Panisi | 1 |
| 12 | Gua Leang Pattae | 2,3,4,5,7 |
| 13 | Gua Leang Saripa | 2,3,4,5,6 |
| 14 | Gua Leang Tomatua | 2,4,6 |
| 15 | Gua Leang Uleleba | 2,4 |
| 16 | Gua Panganreang | 1,2,3,4,6,7 |
| 17 | Gua Ulu Leang | 2,3,4,5,6,7 |
| 18 | Gua Sumpang Bitu | 2,3,4,5,6 |

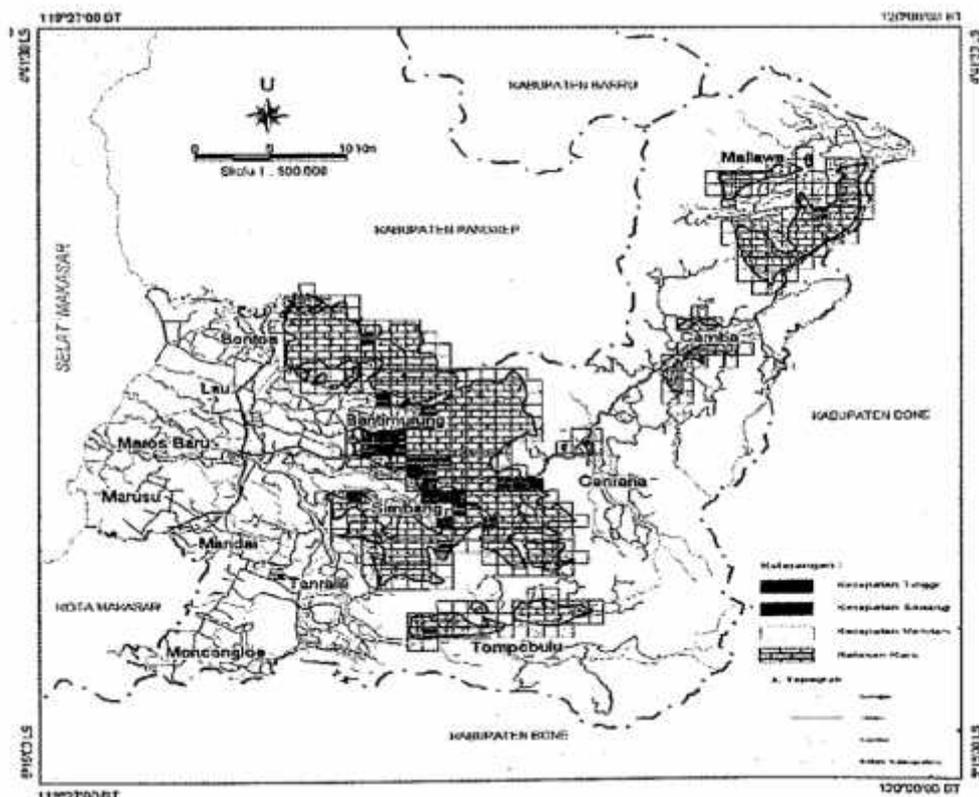
Keterangan: 1= serpih bilah yang kasar dan besar;
2= serpih bilah;
3= mikrolit;
4= mata panah berpangkat bundar;
5= mata panah bergigi dan bersayap;
6= lancipan muduk;
7= gerabah;

Sumber: Laporan Ekspedisi Maros dalam Achmad, 2006

Kawasan Karst Maros terdapat sekitar 268 gua dengan *stalaktit*, *stalakmit* dan ornamen gua lainnya yang indah, merupakan habitat fauna langka dan situs prasejarah yang terlindungi. Beberapa bentuk ornamen gua sebagian besar masih berproses membentuk kristal, dan sebagian kecil lainnya sudah tahap proses kristalisasi. Ukuran-ukuran butir kristal inilah yang menarik untuk dikaji lebih lanjut karena dapat dijadikan indikasi terjadinya proses fisika dalam gua, salah

satunya adalah keberadaan air sungai bawah tanah. Sebagaimana gua di tempat lainnya di Indonesia, gua di kawasan karst Maros bukan hanya menyimpan keunikan yang beragam, tetapi juga digunakan sebagai tempat peribadatan bagi masyarakat di sekitarnya pada masa lampau. Bentuk dan artefak yang begitu rupa mengandung makna yang sangat dalam dari segi penghambaan.

Untuk sebaran Gua di Kawasan Karst Maros dapat dilihat seperti pada Gambar 5.17.



Gambar 5.17 Peta kerapatan gua di Kawasan Karst Maros
(Sumber: Daryanto&Oktariadi, 2009)

Untuk bantaran Sungai Bantimurung terdapat dua gua yang tidak mempunyai artefak, yakni Gua Batu dan Gua Mimpi. Kedua gua ini mengapit Sungai Bantimurung. Gua Batu berada di sisi kirinya dan Gua Mimpi di sebelah kanan. Gua Batu mempunyai lantai yang cukup kering, tidak berair dan kedalamannya sekitar 25 m dari pintu gua. Hanya pada bagian tertentu dari bagian langit-langitnya yang meneteskan air. Sedangkan Gua mimpi cukup besar karena panjangnya sekitar 800 m dengan waktu tempuh sekitar 30 menit dari pintu masuk

gua. Lantainya basah dan langit-langitnya penuh dengan ornamen. Begitu juga dengan dinding gua mempunyai ornamen yang indah dan masih berproses baik untuk membentuk *stalagnit*, *stalagtit* maupun *drapery* dan *canopy*.

Dari Gambar 5.17, nampak bahwa yakni kerapatan tinggi ($> 5 \text{ gua/km}^2$), kerapatan sedang ($2-5 \text{ gua/km}^2$), dan kerapatan rendah ($< 2 \text{ gua/km}^2$) (Daryanto dan Oktariadi, 2009). Kerapatan tinggi berada di Bantimurung dan Simbang, di mana daerah ini kawasan karst berada. Beberapa gua yang ada di Kawasan Karst Maros mempunyai lorong-lorong dan berkaitan dengan sistem hidrologi karst. Jenis lorong tersebut (Ophus, 2008), yakni: 1) lorong *fhareatik* dimana kondisi lorong masih sepenuhnya ditutupi oleh air dan pada umumnya memiliki dinding gua yang relatif halus, 2) lorong *vadose*, yaitu lorong yang sebagiannya dialiri air, terjadi pembentukan ornamen biasanya baru terbentuk pada bagian atap gua, dan 3) lorong *fosile*, yaitu lorong kering atau sudah tidak dialiri air lagi, kemungkinan adanya perubahan pola aliran air bawah tanah, sehingga pembentukan ornamen sudah mencapai nol.

Air perkolasi dapat dilihat dari fluktuasi suhu yang konstan sepanjang hari bahkan sepanjang tahun, sedangkan air *vadose* berfluktuasi dengan suhu diluar gua. Air *vadose* pada umumnya keruh karena material yang berasal dari luar gua ikut hanyut kedalam alirannya seperti lumpur, pasir dan kerikil. Sedangkan pada aliran perkolasi cukup jernih karena proses perembesan, sehingga air tersebut tersaring pada pori-pori batu gamping (*limestone*). Pada saat hujan, gua yang dialiri oleh air *vadose* akan lebih cepat bertambah debitnya dan ketika hujan berhenti serentak debit airnya juga menurun sampai level air sebelum hujan. Berbeda dengan air perkolasi, ketika diluar gua terjadi hujan lebat, debit air bertambah secara perlahan-lahan tidak secepat aliran *vadose* dan ketika hujan berhenti debit air juga akan turun secara perlahan-lahan (Ophus, 2008).

Sungai bawah tanah yang terbesar adalah sistem Gua Salukang Kallang dengan sungai Bantimurung sebagai sungai permukaannya. Sungai Bantimurung mempunyai air terjun setinggi $\pm 10 \text{ m}$ yang sudah dikembangkan sebagai kawasan pariwisata. Sungai Bantimurung yang oleh pemerintah setempat dijadikan sebagai sumber kebutuhan air untuk rumah tangga dikelola oleh Perusahaan Daerah Air

Minum (PDAM) Kabupaten Maros. Pemanfaatan sumberdaya air ini meliputi sumber irigasi persawahan, lokasi ekowisata dan permandian.

Dari apa yang dikemukakan di atas, maka Gua di Kawasan Karst Maros, seperti pada umumnya Gua karst di Indonesia mempunyai fungsi sebagai penyimpan dan penahan air. Air yang tersimpan akan ke luar secara perlahan-lahan sebagai sungai permukaan yang kadang dijumpai dalam bentuk kontinyu dan diskontinyu. Untuk itu, Tabel 5.6 memperlihatkan fungsi hidrologi Gua di Kawasan Karst Maros.

Tabel 5.6 Fungsi Hidrologi Gua di Kawasan Karst Maros

| Kawasan | Nama Gua | Panjang | Keterangan |
|--------------------|-----------------------|----------|---------------------|
| TWA Bantimurung | Gua Anjing | 60 m | |
| | Gua Bantimurung | 150 m | |
| | Gua Anggawati 1 | 170 m | |
| | Gua Towakala | 80 m | |
| | Gua Baharuddin | 137 m | |
| CA Bantimurung | Gua Mimpi | 1.415 m | |
| | Gua Lubang Air | 90 m | |
| | Gua Lubang Kelu | 90 m | |
| | Gua Buttu | 500 m | |
| | Gua Nasir | 800 m | |
| TWA Gua Pattunuang | Gua Anggarwati 2 | 1.000 m | |
| | Gua Restaurant | 1.400 m | |
| | Gua de Lapisaine | 300 m | |
| | Gua Patunungang 1 | 500 m | |
| | Gua Patunungang 2 | 500 m | |
| | Gua Sambueja 1 | 300 m | |
| | Gua Sambueja 2 | 1.400 m | |
| | Gua Kado | 1.400 m | |
| | Gua Jaria | 900 m | |
| | Gua Auxmain | 600 m | |
| CA Karaengta | Gua Salukang Kallang | 12.463 m | |
| | Gua Tanette Panjang | 9.700 m | Tinggi dinding 25 m |
| | Gua Gunung Batu | 400 m | |
| | Gua Artaga | 1.900 m | |
| | Gua Lubang Gula Merah | 3.900 m | |
| | Gua Saripa | 1.736 m | |
| | Gua Pangea 1 | 300 m | |
| | Gua Pangea 1 | 500 m | |

| | | | |
|--|----------------|---------|--|
| | Gua Pangea 1 | 1.000 m | |
| | Gua Monyet | 112 m | |
| | Gua Batu Merah | 749 m | |
| | Gua Kabut | 1.095 m | |

Sumber: (Departemen Kehutanan,2008)

a. Karakteristik Gua Salukang Kallang Kawasan Karts Maros

Gua Salukang Kallang yang terletak di Desa Samangki Kecamatan Simbang Kabupaten Maros walaupun mulut gua sebagai pintu masuk berada di Desa Labuaja Kecamatan Cenrana Kabupaten Maros yang merupakan tetangga dari Desa Samangki. Mulut gua tersebut memiliki lebar sekitar 8 m dan ketinggian sekitar 5 m seperti Gambar 5.17 berikut. Lorong yang terdapat di dalam gua memiliki lebar yang bervariasi mulai dari 2 m sampai 15 m dan ketinggian langit-langit/atap gua yang bervariasi pula mulai dari 70 cm sampai 30 m dengan panjang lorong gua yang bisa dijangkau yaitu sekitar 983 meter dari mulut gua.



Gambar 5.18 Mulut Gua Salukang Kallang

Berdasarkan dari hasil pengamatan di lapangan, karakteristik gua di Kawasan Karst Maros di bagi menjadi 4 yaitu : sungai bawah permukaan, fauna gua, flora gua dan ornamen-ornamen gua. Beberapa ornamen gua yang ditemukan di dalam Gua Salukang Kallang yaitu sebagai berikut:

1) Stalaktit

Stalaktit terbentuk karena pengendapan mineral di atap gua. Air yang mengandung kalsium karbonat muncul di atap gua kemudian menggantung

sebelum jatuh ke lantai gua. Selama menggantung tersebut, CO₂ menguap ke atmosfer gua, larutannya menjadi sangat jenuh air dan bahan mineralnya yang sangat sedikit jumlahnya akan tertinggal melingkar dengan ukuran sama dengan tetesannya. Ciri khas stalaktit ini yaitu berbentuk kerucut yang menggantung di atap/langit-langit gua dengan ukuran bervariasi hingga sekitar 15 cm, seperti yang diungkapkan pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Karakteristik Ornamen *Stalaktit* Gua Salukang Kallang

| Jarak dari mulut gua (meter) | Jarak dari sungai (meter) | Kelembaban (%) | Suhu (°C) | Rembesan air pada ornamen | Warna ornamen |
|------------------------------|---------------------------|----------------|-----------|---------------------------|-------------------------|
| 200 | 8,5 | 99 | 24,9 | - | Putih kekuningan |
| 400 | 7 | 97 | 25,2 | - | Putih coklat kekuningan |
| 600 | 1,5 | 97 | 25,0 | - | Putih kekuningan |
| 800 | 5 | 97 | 25,0 | ada | Coklat kekuningan |
| 983 | 1,8 | 97 | 25,2 | ada | Putih kekuningan |

2) Stalagmit

Stalagmit yaitu ornamen gua yang merupakan paasangan dari stalaktit yang berada di lantai gua. Sebagian tetesan air yang berasal dari atap gua menetes sampai ke lantai dan meninggalkan senyawa kalsium karbonat dalam bentuk stalagmit. Tetesan yang jatuh ke bawah lantai gua terus mengendapkan material dan membangun suatu gundukan ornamen. Ciri khas dari stalagmit ini yaitu berbentuk gundukan di lantai gua dengan ukuran bervariasi antar 5 cm sampai 15 cm. Tabel 5.8 merupakan tabel karakteristik ornamen gua yaitu stalagmit pada jarak tertentu, dimana pada setiap stalagmit tersebut tidak terdapat rembesan air dan perbedaan warna dari setiap sampel tidak terlalu mencolok yaitu di dominasi oleh warna putih kecoklatan.

Tabel 5.8 Karakteristik Ornamen *Stalagmit* Gua Salukang Kallang

| Jarak dari mulut gua (meter) | Jarak dari sungai (meter) | Kelembaban (%) | Suhu (°C) | Rembesan air pada ornamen | Warna ornamen |
|------------------------------|---------------------------|----------------|-----------|---------------------------|------------------|
| 200 | 8,0 | 99 | 24,9 | - | Putih kecoklatan |

| | | | | | |
|-----|-----|----|------|---|-------------------------|
| 400 | 6,0 | 97 | 25,2 | - | Putih kekuningan |
| 600 | 1,0 | 97 | 25,0 | - | Putih coklat kekuningan |
| 800 | 5,0 | 97 | 25,0 | - | Putih kecoklatan |
| 983 | 2,0 | 97 | 25,2 | - | Putih kekuningan |

3) Pilar

Pilar merupakan jenis ornamen yang terbentuk apabila stalaktit dan stalakmit bertemu. Ornamen ini memiliki bentuk menyerupai tiang yang menyangga atap gua dengan ukuran yang bervariasi hingga 50 cm. Tabel 5.9 merupakan tabel karakteristik ornamen gua yaitu pilar pada jarak tertentu, dimana pada setiap pilar tersebut tidak terdapat rembesan air dan perbedaan warna dari setiap sampel tidak terlalu mencolok yaitu didominasi oleh warna putih kecoklatan dan hanya pilar yang berada pada jarak sekitar 400 meter dari mulut gua memiliki warna putih kekuningan.

Tabel 5.9 Karakteristik Ornamen Pilar Gua Salukang Kallang

| Jarak dari mulut gua (meter) | Jarak dari sungai (meter) | Kelembaban (%) | Suhu (°C) | Rembesan air pada ornamen | Warna ornamen |
|------------------------------|---------------------------|----------------|-----------|---------------------------|------------------|
| 200 | 8,0 | 99 | 24,9 | - | Putih kecoklatan |
| 400 | 6,0 | 97 | 25,2 | - | Putih kekuningan |
| 600 | 1,0 | 97 | 25,0 | - | Putih kecoklatan |
| 800 | 5,5 | 97 | 25,0 | - | Putih kecoklatan |
| 983 | 3 | 97 | 25,2 | - | Putih kecoklatan |

4) *Flowstone*

Flowstone merupakan bentuk ornamen gua yang terbentuk dari milyaran tetesan air disebabkan oleh aliran air dan menyelubungi bongkahan batu. Dimana pendinginannya sangat lambat (dapat mencapai jutaan tahun) yang memungkinkan tumbuhnya kristal-kristal yang besar dan sempurna bentuknya.

Tabel 5.10 merupakan tabel karakteristik ornamen gua yaitu *flowstone* pada jarak tertentu, dimana pada setiap *flowstone* tersebut tidak terdapat rembesan air kecuali

pada jarak 983 dari mulut gua dan perbedaan warna dari setiap sampel tidak terlalu mencolok yaitu di dominasi oleh warna putih kecoklatan.

Tabel 5.10 Karakteristik Ornamen *Flowstone* Gua Salukang Kallang

| Jarak dari mulut gua (meter) | Jarak dari sungai (meter) | Kelembaban (%) | Suhu (°C) | Rembesan air pada ornamen | Warna ornamen |
|------------------------------|---------------------------|----------------|-----------|---------------------------|-------------------|
| 200 | 10,0 | 99 | 24,9 | - | Putih kecoklatan |
| 400 | 3,0 | 97 | 25,2 | - | Putih coklat |
| 600 | 3,0 | 97 | 25,0 | - | Putih kekuningan |
| 800 | 1,15 | 97 | 25,0 | - | Putih kecoklatan |
| 983 | 0,5 | 97 | 25,2 | ada | Kuning kecoklatan |

b. Karakteristik Gua Mimpi Kawasan Karst Maros

Ornamen gua adalah suatu bentukan yang terbentuk akibat pertumbuhan mineral hasil pelarutan batu gamping pada atap, dinding ataupun lantai gua. Berdasarkan pengamatan langsung di lapangan, untuk mengidentifikasi ornamen Gua Mimpi di bagi atas 3 lokasi yaitu zona I yaitu pada jarak 250 m, zona ke II yaitu 500 m, dan zona ke III pada jarak 750 m.

Gua mimpi terletak tidak jauh dari tempat permandian alam Bantimurung terletak di sebelah selatan permandian, untuk sampai ke lokasi dibutuhkan waktu sekitar 1,5 jam berjalan kaki, medannya agak berat melewati jalan rintisan dengan kemiringan/elevasi yang bervariasi mulai dari 30^o – 60^o, sebagian besar medannya mendaki (panjang kira-kira 1,5 km dan hanya sedikit jalanan yang rata). Mulut gua mimpi sebagai pintu masuk mempunyai diameter sekitar 6 m dengan tinggi langit-langit sekitar 7 m dan kedalaman gua sekitar 786 m, dengan kelembaban gua yang cukup tinggi dan suhu sekitar 27,5^o C. Di dalam gua terdapat ruang yang panjang berbentuk seperti terowongan dengan panjang 786 m lebar bervariasi

mulai dari 5 m sampai 10 m dengan ketinggian langit-langit antara 10-20 m,

| No | Ornamen Gua | Dimensi | | Warna | Ukuran Butir | Ciri Khas | Keke- rasan |
|----|-------------|---------------------|-------------------|--------|--------------|---------------|----------------|
| | | Panja ng (cm) | Leba r (cm) | | | | |
| 1 | Stalaktit | 86 | 10 | Coklat | Sedang | Tidak terlalu | Sedang |

seperti yang diperlihatkan pada Tabel 5.1, Tabel 5.12 dan Tabel 5.13 berikut.

Tabel 5.11 Karakteristik Ornamen Gua Mimpi (Zona I)
Kawasan Karst Maros

| | | | | | | | |
|----|-----------|-----|-----|-----------------|--------|-----------------------|-------------|
| | | | | putih | | kerucut | |
| 2 | Stalaktit | 53 | 8 | Coklat putih | Sedang | Tidak terlalu kerucut | Sedang |
| 3 | Stalaktit | 88 | 10 | Coklat | Halus | Kerucut | Kuat |
| 4 | Stalaktit | 51 | 10 | Coklat putih | Sedang | Tidak terlalu kerucut | Sedang |
| 5 | Stalaktit | 36 | 6 | Coklat | Halus | Tidak terlalu kerucut | Kuat |
| 6 | Stalaktit | 82 | 12 | Coklat | Halus | Kerucut | Kuat |
| 7 | Stalaktit | 61 | 11 | Coklat | Sedang | Tidak terlalu kerucut | Kuat |
| 8 | Stalaktit | 67 | 7 | Coklat Putih | Kasar | Tidak terlalu kerucut | Sedang |
| 9 | Stalaktit | 36 | 7 | Coklat | Kasar | Kerucut | Kuat |
| 10 | Stalaktit | 47 | 11 | Coklat | Sedang | Kerucut | Kuat |
| 11 | Pilar | 130 | 10 | Coklat | Sedang | Tiang | Kuat |
| 12 | Stalakmit | 65 | 9 | Coklat Putih | Halus | Tidak terlalu kerucut | lemah/rapuh |
| 13 | Pilar | 240 | 50 | Coklat | Halus | Tiang | sedang |
| 14 | Flowstone | 110 | 300 | kuning keemasan | Sedang | Tidak terlalu bulat | kuat |
| 15 | Stalakmit | 74 | 19 | abu-abu, coklat | Sedang | Tidak terlalu bulat | sedang |

Sumber: Data Primer Terolah (2016)

Dari Tabel 5.11 terlihat bahwa ornamen yang mendominasi zonasi I didominasi oleh stalaktit dengan warna coklat, coklat putih, bergranuler halus sampai kasar dengan kekerasan sedang sampai kuat. Ini menunjukkan, bahwa warna coklat keputihan masih terjadi proses mineralisasi pada ornamen tersebut sehingga rapuh dan masih dapat dibuka mineralnya. Berbeda dengan stalaktit yang berwarna coklat cenderung mempunyai kekerasan yang kuat karena proses mineralisasi dapat dikatakan berhenti.

Tabel 5.12 Karakteristik Ornamen Gua Mimpi (Zona II)
Kawasan Karst Maros

| No | Ornamen Gua | Dimensi | | Warna | Ukuran Butir | Ciri Khas | Keke- rasan |
|----|-------------|----------------------|--------------------|-------|--------------|-----------|----------------|
| | | Panja- ng (cm) | Leba- r (cm) | | | | |
| | | | | | | | |

| | | | | | | | |
|----|-----------|-----|----|--------------------|--------|-----------------------------------|--------|
| 1 | Stalaktit | 105 | 20 | coklat hitam | halus | Tidak terlalu kerucut/menggantung | sedang |
| 2 | Stalaktit | 87 | 14 | coklat hitam | halus | Tidak kerucut | rapuh |
| 3 | Stalaktit | 101 | 13 | Coklat putih | kasar | Tidak Kerucut | kuat |
| 4 | Stalaktit | 40 | 6 | Coklat | sedang | Tidak terlalu kerucut | kuat |
| 5 | Stalaktit | 47 | 10 | Coklat | sedang | Tidak terlalu kerucut | kuat |
| 6 | Pilar | 59 | 7 | Coklat hitam | sedang | Tiang | kuat |
| 7 | Pilar | 54 | 8 | coklat hitam | sedang | Tiang | kuat |
| 8 | Flowstone | 75 | 36 | abu-abu, mengkilap | halus | Bulat | kuat |
| 9 | Stalakmit | 44 | 10 | hitam, coklat | halus | Tidak bulat | Rapuh |
| 10 | Stalakmit | 54 | 22 | coklat, hitam | halus | tidak bulat | sedang |
| 11 | Stalaktit | 56 | 15 | Coklat | kasar | Kerucut | kuat |
| 12 | Stalakmit | 32 | 7 | Coklat | halus | Tidak bulat | kuat |
| 13 | Stalaktit | 37 | 8 | Coklat | halus | tidak bulat | sedang |
| 14 | Stalaktit | 50 | 10 | Coklat | sedang | Bulat | kuat |
| 15 | Stalakmit | 100 | 34 | coklat putih | halus | Bulat | rapuh |

Sumber: Data Primer Terolah (2016)

Dari Tabel 5.12 terlihat bahwa ornamen yang mendominasi zonasi II didominasi oleh stalaktit dengan warna coklat, coklat hitam, bergranuler halus sampai kasar dengan kekerasan sedang sampai dominasi kuat. Ini menunjukkan, bahwa warna coklat hitam cenderung mempunyai kekerasan yang kuat karena proses mineralisasi dapat dikatakan berhenti. Mineral dengan tekstur sedang malahan halus mengindikasikan masih terjadinya proses mineralisasi pada ornamen tersebut.

Tabel 5.13 Karakteristik Ornamen Gua Mimpi (zona III) di Kawasan Karst Maros

| No | Ornamen Gua | Dimensi | | Warna | Ukuran Butir | Ciri Khas | Keke- rasan |
|----|-------------|---------------------|-------------------|---------------------------|--------------|------------------|----------------|
| | | Panj ang (cm) | Leb ar (cm) | | | | |
| 1 | Stalakmit | 99 | 26 | putih coklat | Halus | Tidak bulat | rapuh |
| 2 | Stalakmit | 34 | 19 | putih coklat | Halus | Tidak bulat | rapuh |
| 3 | Stalakmit | 29 | 13 | coklat putih | Halus | bulat | rapuh |
| 4 | Stalakmit | 51 | 19 | coklat putih | Halus | tidak bulat | rapuh |
| 5 | Stalakmit | 41 | 13 | coklat putih | Halus | Bulat | rapuh |
| 6 | Stalakmit | 38 | 10 | Coklat putih | Halus | tidak bulat | rapuh |
| 7 | Helektit | 48 | 33 | Coklat putih | Halus | tidak bulat | kuat |
| 8 | Helektit | 44 | 9 | coklat abu-abu | Halus | tidak bulat | kuat |
| 9 | Helektit | 45 | 11 | coklat abu-abu | Halus | tidak bulat | kuat |
| 10 | Helektit | 34 | 13 | abu2,kun ing coklat | halus | Tidak bulat | rapuh |
| 11 | Flowstone | 36 | 42 | coklat putih | halus | Tidak bulat | kuat |
| 12 | Helektit | 97 | 53 | coklat putih | halus | tidak bulat | kuat |
| 13 | Stalaktit | 128 | 12 | coklat | sedang | Kerucut | kuat |
| 14 | Stalaktit | 89 | 12 | coklat | sedang | tidak kerucut | kuat |
| 15 | Pilar | 217 | 16 | coklat putih | kasar | Tiang | kuat |
| 16 | Stalaktit | 58 | 8 | putih coklat | sedang | Kerucut | kuat |
| 17 | Stalaktit | 61 | 8 | putih coklat | sedang | Kerucut | kuat |
| 18 | Pilar | 65 | 9 | coklat putih | halus | Tiang | kuat |
| 19 | Stalaktit | 56 | 12 | coklat | halus | Kerucut | kuat |
| 20 | Pilar | 120 | 6 | coklat putih | halus | tiang | kuat |

| | | | | | | | |
|----|-----------|-----|----|--------------|-------|-------------|-------|
| 21 | Stalaktit | 194 | 21 | coklat putih | halus | Kerucut | kuat |
| 22 | Stalaktit | 32 | 9 | putih coklat | halus | tidak bulat | rapuh |
| 23 | Stalaktit | 80 | 14 | coklat | halus | Kerucut | kuat |
| 24 | Helektit | 41 | 12 | putih coklat | kasar | Kerucut | kuat |
| 25 | Helektit | 44 | 11 | putih coklat | halus | Kerucut | Kuat |

Sumber: Data Primer Terolah (2016)

Dari Tabel 5.13 terlihat bahwa ornamen yang mendominasi zonasi I didominasi oleh stalaktit dengan warna coklat, coklat putih, bergranuler halus sampai kasar dengan kekerasan sedang sampai kuat. Ini menunjukkan, bahwa warna coklat keputihan masih terjadi proses mineralisasi pada ornamen tersebut sehingga rapuh dan masih dapat dibuka mineralnya. Berbeda dengan stalaktit yang berwarna coklat cenderung mempunyai kekerasan yang kuat karena proses mineralisasi dapat dikatakan berhenti.

B. Pembahasan Penelitian

Curah hujan selama 30 tahun (1985-2014) di Kawasan Karst Maros menunjukkan perlunya dilakukan manajemen pengelolaan air. Artinya, dengan curah hujan yang tinggi pada bulan Nopember sampai bulan Maret (sekitar 5 bulan, yang disebut dengan musim hujan) dan curah hujan rendah pada bulan Juni sampai bulan September (sekitar 4 bulan, yang disebut dengan musim kemarau), maka perlu dilakukan tabungan air pada musim hujan yang akan dimanfaatkan pada musim kemarau. Manajemen pengelolaan air ini akan membantu pemangku kepentingan untuk melakukan adaptasi terhadap pergeseran atau perubahan musim tanam bagi petani, atau distribusi air pada musim kemarau. Distribusi air di daerah sekitar Kawasan Karst Maros bukan hanya untuk kepentingan sektor pertanian, tetapi juga pemanfaatan air dari Kawasan Karst Maros untuk sektor pariwisata dan PDAM.

Dari hasil perbandingan curah hujan periode I (1985-1999) dengan periode II (2000-2014), mengalami peningkatan. Di mana hasil penentuan sifat hujan periode pertama adalah agak basah sementara hasil penentuan sifat hujan periode II adalah basah. Hal ini juga dapat dilihat paada grafik perbandingan curah hujan antara periode I dan periode II (Gambar 5.5) terjadi peningkatan curah hujan, sehingga dimungkinkan untuk dilakukan adaptasi terhadap peningkatan curah hujan. Dari hasil perbandingan ini, baik priode I maupun priode II menunjukkan, bahwa selama 30 tahun terakhir (1985-2014) Kawasan Karst Maros tidak mengalami masa kering. Kedua priode menunjukkan bahwa Kawasan Karst Maros cenderung memperoleh curah hujan yang banyak, sehingga memungkinkan proses sirkulasi air berjalan dengan baik. Kawasan Karst Maros belum terdampak pada gejala El-Nino, sehingga vegetasi cenderung terpelihara baik pada Kawasan Karst Maros. Akibatnya, sebahagian besar dari Kawasan Karst Maros masih tertutup dengan vegetasi hutan yang melindungi flora, fauna dan sumberdaya hayati lainnya tertap terpelihara baik/ Kawasan Karst Maros masih dapat dijadikan kawasan penyanggah lingkungan bagi kawasan di sekitarnya.

Potensi hidrologi wilayah karst merupakan daerah cadangan air. Sumber air yang terdapat di kawasan karst dimanfaatkan untuk menjamin ketersediaan air minum, pengairan budidaya perikanan, rekreasi, industri dan sebagainya. Akuifer dan pola drainase di daerah batu gamping mempunyai ciri yang berbeda dengan daerah bukan batu gamping. Kawasan karst terdiri dari batu gamping yang sangat porous, sehingga air sangat mudah meresap dan lewat diantaranya. Karena itu, di dalamnya sering kali dijumpai air dalam jumlah yang cukup besar, baik yang terdapat dalam celah, rekahan dan ruang bawah tanah (gua), maupun yang mengalir sebagai sungai bawah tanah dan keluar sebagai mata air. Air didaerah permukaan tertampung di antara bukit-bukit yang membentuk telaga yang disebut *lokva*. Dasar *lokva* umumnya dialasi dengan lapisan yang kedap air berupa *terrarossa*. Karena air pada akuifer karst bergerak melalui celah, maka kecepatan geraknya lebih cepat dibandingkan dengan air pada media antar pori. Karena batu gamping mudah larut, maka air yang mengalir akan melarutkan batuan yang dilaluinya. Oleh karena itu air di akuifer karst selain mempunyai kesodahan yang

tinggi, kekeruhannya juga sangat tinggi. Aliran air pada akuifer batu gamping mengalir sekaligus melarutkan bidang perlapisan, rekahan dan patahan. Kebanyakan aliran air yang mengalir melalui rekahan dan bidang perlapisan memiliki *hydraulic conductivity* yang besar. Aliran air yang masuk akan segera lolos mengalir hingga ke aliran dasar (*baseflow*).

Aliran air ini akan mengalami tekanan dari segala arah. Tekanan ini akan mengakibatkan air akibat gaya gravitasi pada saat tertentu akan tertahan dan tertampung. Medium kawasan karst yang pada awalnya sangat keras lama kelamaan akan melunak. Akibatnya, aliran air (fluida) akan mengalami perubahan secara perlahan-lahan (Arsyad, *et al*, 2016). Perubahan ini akan mengganggu kekuatan medium dan terjadi kerentangan pada area tertentu. Kerentanan yang diakibatkan oleh kumpulan air dalam bentuk *polje* atau *uvala* jika terjadi terus menerus akan memungkinkan terjadinya Gua. Proses ini berlangsung lama dan perlahan namun pasti. Kawasan karst yang terdiri dari batuan gamping akan mudah bertransformasi jika mengalami tekanan. Gua-gua yang terbentuk cenderung digunakan oleh warga di sekitar kawasan karst sebagai tempat khusus dan sakral. Dari penelusuran yang dilakukan di Kawasan Karst Maros, ternyata fungsi gua adalah; 1) tempat penambangan mineral (kalsit/gamping, guano), tempat perburuan (walet, seriti, kelelawar); 2) obyek wisata alam dan minat khusus; 3) obyek sosial budaya (legenda, mistik), gudang air tanah sepanjang tahun; 4) laboratorium ilmiah yang peka, lengkap dan langka; 5) indikator perubahan lingkungan paling sensitif dan 6) fasilitas penyangga mikro ekosistem yang sangat peka dan vital bagi kehidupan makro ekosistem di luar gua. Batu gamping bersifat *porous* atau berpori sehingga ketika air hujan mengenainya akan langsung jatuh melewati celah-celah pada lapisan batuan vertikal dan horizontal. Air akan jatuh ke bawah permukaan tanah kemudian terakumulasi dalam suatu pola aliran tertentu membentuk aliran sungai dan sebagian berasal dari sungai di luar gua saat musim hujan kemudian tertampung di dalam gua sehingga mineral pada batu gamping yang didominasi oleh kalsit (CaCO_3) lebih banyak terbawa.

Penggunaan sumberdaya air di Kawasan Karst Maros mempengaruhi potensi sumberdaya air lainnya berupa potensi air permukaan yang keberadaannya

juga dipengaruhi oleh sungai bawah tanah. Sektor pertanian, pariwisata dan PDAM memerlukan jumlah air tertentu untuk tetap terpenuhinya kebutuhan air bagi warga masyarakat yang membutuhkan. Ketergantungan masyarakat terhadap Kawasan Karst Maros dapat menumbuhkan partisipasi aktif masyarakat untuk memelihara dan menjaga kelestarian Kawasan Karst Maros. Partisipasi ini akan menumbuhkan kebutuhan saling ketergantungan dalam ekosistem karst.

Kawasan Karst Maros sebagai kawasan penyanggah lingkungan di sekitar kawasan, terutama Kabupaten Bone, Kabupaten Maros, Kota Makassar dan kabupaten lainnya di Sulawesi Selatan sangat rentan terhadap tekanan yang terjadi, baik pada mediumnya maupun pada sifat lingkungan lainnya. Penelitian yang dilakukan oleh Arsyad (2015) menunjukkan, bahwa sifat fisik medium Kawasan Karst Maros berupa tanah lempung dan tanah kapur mempunyai harga porositas yang tinggi, permeabilitas medium termasuk sulit meloloskan air sedangkan *degree of saturation* (Sr) untuk menyimpan air sungai bawah tanah yang tinggi. Artinya, Kawasan Karst Maros. Untuk itu, Kawasan Karst Maros sebagai tandon air akan tetap terpelihara walaupun di lingkungan sekitarnya terutama di kawasan tambang mulai mengalami degradasi lahan yang secara terus menerus mengalami tekanan dari penambang, baik modern maupun tradisional.

Kawasan Karst Maros dengan kekayaan sumberdaya alam yang dimilikinya hendaknya tetap dilestarikan. Kawasan Karst Maros bukan hanya sebagai penyanggah ekosistem bagi kawasan sekitarnya, tetapi juga karena sirkulasi air bermula dari tempat ini. Kawasan Karst Maros merupakan tempat penduduk sekitarnya menggantungkan harapan masa depan anak cucu dan tempat terpenuhinya kebutuhan manusia, baik langsung maupun tidak langsung. Karst adalah laboratorium dan ekosistem yang perlu dijaga kelestariannya. Karst adalah suatu bentang yang umumnya dibentuk oleh batu gamping, yang dicirikan oleh hadirnya cekungan-cekungan tertutup, kubah-kubah, gua-gua dengan berbagai ukuran, aliran permukaan yang terganggu, serta sistem pengasatan bawah permukaan.

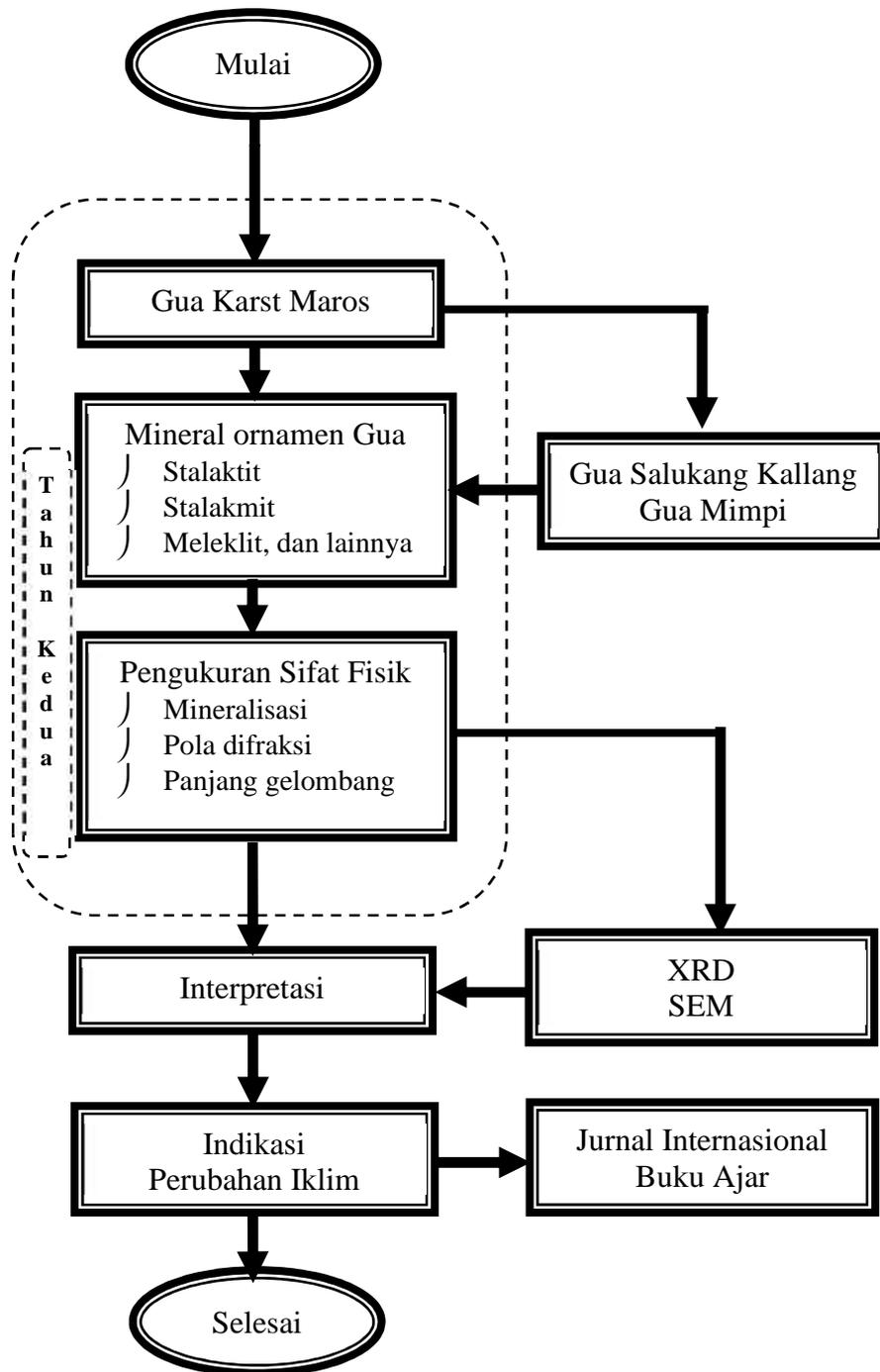
BAB VI

RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA

Seperti yang dikemukakan pada rumusan masalah, bahwa dalam penelitian ini terdapat 4 (empat) rumusan masalah yang di mana 3 (tiga) diantaranya terjawab pada tahun pertama penelitian. Untuk rumusan masalah terakhir yakni Bagaimana mineral ornamen gua di Kawasan Karst Maros memberikan informasi tentang terjadinya perubahan iklim? Akan dijawab pada tahun kedua penelitian.

Untuk menganalisis terjadinya perubahan iklim dengan mineral ornamen gua di Kawasan Karst Maros sebagai indikator utama, maka dilakukan langkah-langkah seperti berikut:

1. Melakukan pemetaan terhadap gua yang ada di kawasan Karst Maros terutama untuk Gua Salukang Kallang dan Gua Mimpi.
2. Melakukan pengukuran dan identifikasi struktur Gua.
3. Mengidentifikasi ornamen gua yang akan dijadikan sampel.
4. Membuat klasifikasi untuk ornamen gua yang berupa stalagnit, stalagtit dan ornamen lainnya.
5. Pengambilan sampel ornamen gua.
6. Sampel yang diperoleh dari karst dikeringkan secara alami, lalu dilakukan preparasi sampel pada kaca preparat. Untuk sampel yang tidak sesuai dengan kaca preparat maka sampel terlebih dahulu digerus sehingga diperoleh butiran yang lebih halus. Setelah sampel sudah siap, maka dilakukan karakterisasi sampel pada alat SEM-EDS (*Scanning Electron Microscopy–Electron Dispersive Spectroscopy*) guna mengetahui topografi/morfologi sampel dengan menggunakan alat SEM Vega3 Tescan.
7. Dengan cara yang sama seperti diatas, sampel disiapkan pada kaca preparat untuk selanjutnya dilakukan karakterisasi difraksi sinar-x untuk mengetahui struktur kristal yang terkandung di dalam sampel dengan menggunakan alat karakterisasi XRD (*X-Ray Diffraction*) merk Rigaku Miniflex II.



Gambar 6.1 Diagram Alir Penelitian Tahun Kedua

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang dilakukan, maka kesimpulan penelitian adalah:

1. Profil curah hujan di Kawasan Karst Maros selama 30 tahun (periode tahun 1985-2014) mempunyai pola curah hujan monsun dengan dua puncak curah hujan pada sebelah kiri yakni bulan Nopember dan bulan Desember, dua puncak curah hujan pada sebelah kanan, yakni bulan Januari dan Bulan Pebruari. Curah hujan pada bulan April dan bulan Nopember relatif sama, yakni sebesar 400,00 mm. Puncak curah hujan terjadi pada bulan Desember (717,30 mm) dan bulan Januari sekitar (827,40 mm). Di mana pada bulan Juni, Juli dan Agustus terjadi musim kemarau, sementara untuk bulan Desember, Januari dan Pebruari merupakan musim penghujan. Sedangkan enam bulan sisanya merupakan daerah peralihan atau pancaroba (tiga bulan peralihan musim kemarau ke musim hujan dan tiga bulan peralihan musim hujan ke musim kemarau). Karakteristik curah hujan di Kawasan Karst Maros ditandai dengan bulan Agustus dengan curah hujan terendah sekitar 46,40 mm. Bulan Agustus merupakan bulan dengan curah hujan terendah hanya sebesar 46,40 mm.
2. Besarnya ketersediaan air sungai 30 tahun debit air di Kawasan Karst Maros pada selang 4,0 m³/detik sampai 11,0 m³/detik dengan rata-rata sekitar 6,50 m³/detik. Ketersediaan debit air ini mengakibatkan perlunya penyesuaian terhadap penggunaan air bagi masyarakat di Kawasan Karst Maros.
3. Karakteristik Gua di Kawasan Karst Maros mempunyai keunikan dan fungsi yang unik. Terdapat 268 gua dan sebagian besar diantaranya mempunyai artefak. Gua di Kawasan Karst mempunyai fungsi hidrologi yang menyimpan air di dalamnya dengan debit air yang berbeda. Dua Gua yang berada di bantaran Sungai Bantimurung, yakni Gua Salukang Kallang dan Gua Mimpi mempunyai ornamen berupa *stalagnit*, *stalagmite*, *pilar*, *helektit*,

dan *flowstone*. Ornamen ini menunjukkan terjadinya proses pembentukan mineral yang berbeda. Mineral yang terbentuk ada yang masih mudah dan ada pula yang sudah stagnan pembentukannya dari segi warna penampakannya. Mineral ini dapat dijadikan sebagai indikasi perubahan iklim.

B. Saran

Dari kesimpulan penelitian yang diperoleh, maka saran dalam penelitian ini ditujukan kepada:

1. Pemerintah Kabupaten Maros dan Pemerintah Propinsi Sulawesi Selatan agar melakukan manajemen air, terutama untuk pemanfaatannya di bagian hilir. Perlu dilakukan distribusi air yang rapi dan terencana terutama untuk bulan Juli, Agustus, September dan Oktober. Pemanfaatan di sektor pertanian, pariwisata dan PDAM hendaknya dilakukan secara hati-hati dan terorganisir untuk mengantisipasi kelangkaan air.
2. Pemerintah Kabupaten Maros khususnya Kementerian Pekerjaan Umum untuk melakukan rehabilitasi sungai Bantimurung karena ternyata pada bulan Agustus dan bulan September, terjadi krisis air. Hendaknya melakukan antisipasi dan adaptasi terhadap ketersediaan air di Kawasan Karst Maros. PSDA Kabupaten Maros diminta untuk melakukan manajemen air dengan saksama agar keterlimpahan air pada musim penghujan dijadikan “Bank Air”. Pada saat musim kemarau dijadikan bahan baku untuk mengatasi keterbatasan air di Kawasan Karst Maros. Ini menjadi penting, karena ketersediaan di Kawasan Karst Maros terutama digunakan di sektor pariwisata, pertanian dan PDAM.
3. Kepada Pemkab Maros untuk lebih tegas kepada para penambang atau perusahaan pertambangan agar tetap menaati zone tambang yang sudah ditetapkan. Ini menjadi penting, karena Kawasan Karst Maros merupakan bahagian integral dari Kawasan Babul Karaengta yang merupakan hutan lindung agar keberadaannya tetap terjaga sebagai penyangga ekosistem kawasan karst.

4. Peneliti lebih lanjut menganalisis mineral yang terbentuk apakah dapat dijadikan sebagai indikasi perubahan iklim.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, M., Nasrul Ihsan, dan Vistarani Arini Tiwow., 2016. Analysis of Subsurface Materials Based On The Price Of Medium Permeability In The Karst Region Pangkep., Journal HFI Indonesia: Jakarta
- Arsyad, M. Nasrul Ihsan, dan Vistarani Arini Tiwow., 2016. Estimation of Underground River Water Availability Based on Rainfall in The Maros Karst Region South Sulawesi., AIP Conf .Proc. 1708.070003. Conference Proceedings:. Scitation.aip.org
- Arsyad, M. (2002). *Pengetahuan Tentang Bumi*. Makassar: State Makassar University Press.
- Buttler, R. (1992). *Palaeomagnetism: Magnetic domain to Geologic Terranes*. Boston: Blackwell Scientific Publications.
- Departemen Kehutanan., 2008. Rencana Pengelolaan Jangka Panjang Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung Periode 2008 – 2027 Kabupaten Maros dan Pangkep Provinsi Sulawesi Selatan. Balai Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung: Maros
- Einsiedl, F. (2004). Flow System Dynamics and Water Storage of a Fissured-Porous Karst Aquifer Characterized by Artificial and Environmental Tracers.GSF-National Research Centre for Environment and Health. Institute for Groundwater Ecology. *Jurnal of Hidrology* , D.85674.
- Hadriah, Muhammad Arsyad dan Pariabti Palloan. (2012). 2012. Studi Tentang Profil Gua Mimpi Bantimurung Di Kawasan Karst Maros. *Jurnal Pendiikan dan Sains Fisika* , 23-30.
- Hikespi, 1991. Pedoman Identifikasi dan Inventarisasi Keunikan alam (Gua). Departemen Kehutanan. Direktorat Jenderal PHPA. Jakarta
- Juanda, D. (2006). *Hidrogeologi Kawasan Gunungapi dan Karst di Indonesia (Pidato Guru Besar ITB)*. Bandung: ITB Bandung.
- Kappler, J. 2003. *Water Resources Management of an Underground River in a karst area in Gunung Kidul, Seminar and Lecture*, Surakarta, UNS. <http://www.bae.uky.edu/sworkman/AEN438G/aquifer/aquifer.html>. Diakses pada tanggal 27 Juni 2011.
- Mae, I. J. (2012, juni). Karst Maros-Pangkep, Eksplorasi Turun Temurun Kepentingan Elit.

- Mudzakir. (2011). *Bantimurung Objek Wisata Terbaik di Sulawesi Selatan*. Makassar: Sekolah Manajemen Perhotelan IHS.
- O. Ozdemir, D. D. (1993). Kristalografi: Transision Valley. *Geophysical Research Letters* , 1671-1674.
- Oktariadi, A. D. (2009, September). Klasifikasi Kawasan Karst Maros Sulawesi Selatan untuk Menentukan Kawasan Lindung dan Budaya. *Volume 19 No.2* , pp. 67-81.
- Rahmadi, C. dan Yayuk R. Suhardjono., Arthropoda Gua di Nusakambangan Cilacap Jawa Tengah. *Jurnal Fauna Tropika Zoo Indonesia*. Vol 16, No. 1, Bogor.
- Steiner, M. J. (2007). *Climate Change, The Physical Science Basis. Summary for Policymaker* . USA: IPCC.
- Suprianto, A. 2014. Pendataan Sungai Bawah Tanah di Gua Bagus-Jebrot untuk Sumber Daya Air Kawasan Karst. ArtikelBD5D2014pdf. Malang: Universitas Negeri Malang
- Susandi, A. (2006). *Laporan Interim Penyusun Pola Investasi dalam Rangka Peningkatan Partisipasi Swasta dan Koperasi dalam Pengembangan Energi Terbarukan*. Bandung: ITB Bandung.
- Suyono, S. 1997. *Hidrologi Dasar*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Tjasyono HK, B. 2004. *Klimatologi*. Bandung. ITB
- Wardani, P. I. (2008). Morfometri Ornamen Gua (Speleothem) di Kawasan Kars Buniayu, Sukabumi, Jawa Barat. *digital_123217-GEO-041-08-Morfometri Ornamen-Literatur* , 13.
- Williams, D. F. (1989). *Karst Geomorphology and Hydrology*. London: Chapman and Hall.
- Yunginer, R. 2010. Penentuan Umur Stalagmit Provinsi Gorontalo Sebagai Proxy Data Paleoklimat. *Jurnal Saintek* Vol. 5 No.1. UNG Gorontalo

LAMPIRAN

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS NEGERI MAKASSAR (UNM)
LEMBAGA PENELITIAN

Menara Pusat UNM Lt. 10 Jalan A. Pongrango Pettareng, Makassar
Telepon: 869834 - 869854 - 860468 Fax: 868794 - 868879

Laman: www.unm.ac.id Email: lembagapenelitian@yahoo.co.id

- Pusat Keperawatan dan Lingkungan Hidup
- Pusat Makanan Tradisional dan Ilmu Kesehatan
- Pusat Pemberdayaan Perempuan
- Pusat Pengembangan Ilmu Pendidikan
- Pusat Bahasa dan Sastra Anak Sulawesi
- Pusat Formula dan Olah Raga

**SURAT PERJANJIAN PENUGASAN PELAKSANAAN
PENELITIAN FUNDAMENTAL USULAN BARU
TAHUN ANGGARAN 2016
NOMOR : 193/UN36.9/PL/2016**

Pada hari ini Kamis tanggal Sepuluh bulan Maret tahun Dua ribu enam belas, kami yang bertanda tangan di bawah ini:

1. Prof. Dr. H. Jufri, M.Pd

Sebagai Ketua Lembaga Penelitian Universitas Negeri Makassar yang berkedudukan di Makassar dalam hal ini bertindak untuk dan atas nama Ketua Lembaga Penelitian Universitas Negeri Makassar, untuk selanjutnya disebut **PIHAK PERTAMA**

2. Dr. Muhammad Arsyad, M.T

Dosen FMIPA Universitas Negeri Makassar dalam hal ini bertindak untuk dan atas nama tim peneliti seperti tercantum dalam proposal penelitian selaku Ketua Pelaksana Penelitian selanjutnya disebut **PIHAK KEDUA**

PIHAK PERTAMA dan **PIHAK KEDUA** secara bersama-sama bersepakat mengikatkan diri dalam suatu Perjanjian Penugasan Pelaksanaan Penelitian Fundamental Usulan Baru T.A. 2016 dengan ketentuan dan syarat-syarat yang diatur dalam pasal-pasal berikut:

Pasal 1

PIHAK PERTAMA memberi tugas kepada **PIHAK KEDUA**, dan **PIHAK KEDUA** menerima tugas tersebut untuk melaksanakan Penelitian dengan judul:

ANALISIS MINERAL ORNAMEN GUA KAWASAN KARST MAROS SEBAGAI INDIKASI PERUBAHAN IKLIM

Pasal 2

- 1) **PIHAK PERTAMA** memberikan dana penelitian sebagaimana dimaksud pada Pasal 1 sebesar **Rp.50.000.000 (Lima puluh juta rupiah)** berdasarkan Surat Perjanjian Pelaksanaan Hibah Penelitian Tahun 2016 Nomor: 050/SP2H/PL/DRPM/II/2016, dan Surat Keputusan Rektor Universitas Negeri Makassar Nomor: 995/UN36/PL/2016 tanggal 26 Februari 2016 yang dibebankan kepada DIPA DRPM Kemenristek Dikti Nomor: 042.06-0/2016, tanggal 7 Desember 2015.

3) Pembayaran biaya penelitian akan dibayarkan secara bertahap ke rekening **PIHAK KEDUA** dengan ketentuan sebagai berikut:

- a) Pembayaran Tahap Pertama sebesar 70% dari total bantuan dana kegiatan yaitu $70\% \times \text{Rp } 50.000.000 = \text{Rp } 35.000.000$ (Tiga puluh lima juta rupiah) setelah surat perjanjian pelaksanaan penelitian ini ditandatangani oleh kedua pihak.
- b) Pembayaran Tahap Kedua/Interaktor sebesar 30% dari total bantuan dana kegiatan yaitu $30\% \times \text{Rp } 50.000.000 = \text{Rp } 15.000.000$ (Lima belas juta rupiah) dibayarkan setelah **PIHAK KEDUA** menyerahkan hardcopy Laporan Kemajuan Pelaksanaan Penugasan Penelitian Fundamental Usulan Baru Tahun Anggaran 2016 dan Rekapitulasi Laporan Penggunaan Anggaran 70% yang telah dilaksanakan kepada **PIHAK PERTAMA** dan mengunggah soft copynya ke SIMLITABMAS paling lambat tanggal 15 Juli 2016.
- c) **PIHAK KEDUA** wajib menyerahkan Laporan Kemajuan Laporan Akhir Pelaksanaan Penelitian dan Rekapitulasi Laporan Penggunaan Anggaran 70% dan 100%.
- d) **PIHAK KEDUA** bertanggungjawab mutlak dalam pembelanjaan dana tersebut pada ayat (1) sesuai dengan proposal kegiatan yang telah disetujui dan berkewajiban untuk menyimpan semua bukti-bukti pengeluaran sesuai dengan jumlah dana yang diberikan oleh **PIHAK PERTAMA**.
- e) **PIHAK KEDUA** berkewajiban mengembalikan sisa dana yang tidak ditelanjakan ke Kas Negara.
- f) **PIHAK KEDUA** berkewajiban menyampaikan foto copy bukti pengembalian Dana ke Kas Negara yang telah divalidasi oleh KPPN setempat kepada **PIHAK PERTAMA**.

Pasal 3

1) Dana kegiatan penugasan pelaksanaan Penelitian Fundamental Usulan Baru TA. 2016 sebagaimana dimaksud pada pasal 2 ayat (1,2) dibayarkan kepada **PIHAK KEDUA**:

Nama pada Rekening : **DRS. MUHAMMAD ARSYAD, MT.**

Nomor Rekening : **3582-01-028529-53-2 (Bank BRI)**

2) **PIHAK PERTAMA** tidak bertanggungjawab atas keterlambatan dan/atau tidak terbayarnya sejumlah dana sebagaimana dimaksud dalam pasal 2 ayat (1) yang disebabkan karena kesalahan **PIHAK KEDUA** dalam menyampaikan data peneliti, nama bank, nomor rekening, dan persyaratan lainnya yang tidak sesuai dengan ketentuan.

3) **PIHAK PERTAMA** berkewajiban mengorganisir dan memfasilitasi:

a) Seminar Penelitian.

b) Monitoring dan Evaluasi (Money) Internal Perguruan Tinggi terhadap kemajuan pelaksanaan Program Hibah Penelitian Tahun Anggaran 2016 sesuai fungsi dan peran Lembaga Penelitian Universitas Negeri Makassar.

Pasal 4

-) **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk menindaklanjuti dan mengupayakan hasil Penelitian yang dilakukan untuk memperoleh paten dan/atau publikasi ilmiah untuk judul Penelitian sebagaimana dimaksud Pasal 1.
-) Perolehan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dimanfaatkan sebesar-besarnya untuk pelaksanaan tridharma perguruan tinggi.
-) **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk melaporkan perkembangan perolehan paten dan/atau publikasi ilmiah seperti yang dimaksud pada ayat (1) secara berkala kepada **PIHAK PERTAMA** pada setiap akhir Tahun Anggaran berjalan.
-) **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk:
 - a) Publikasi dalam jurnal ilmiah terakreditasi atau jurnal ilmiah bereputasi internasional;
 - b) Menghasilkan Produk IPTEKS-SOSBUD, HKI, Buku ajar dan lainnya (berupa metode, teknologi tepat guna, *blue print*, prototipe, sistem, kebijakan, model, rekayasa sosial) sebagai luaran tambahan;
 - c) Pembicara Kunci (*Keynote Speaker*) pada pertemuan ilmiah (Seminar/Simposium/Kongres);
 - d) Mencatat semua kegiatan pelaksanaan program pada Buku Catatan Harian Penelitian (*logbook*), mengisi kegiatan harian secara rutin, mengisi rekapitulasi laporan penggunaan anggaran 70% secara *online* di SIM-LITABMAS setelah surat perjanjian penugasan pelaksanaan penelitian ini ditandatangani sampai dengan 15 Juli 2016
 - e) Mengunggah *softcopy* laporan kemajuan secara *online* di SIM-LITABMAS dan menyerahkan laporan kemajuan paling lambat tanggal 15 Juli 2016 kepada **PIHAK PERTAMA**;
 - f) Mengikuti Monev Internal dan Monev Eksternal;
 - g) Melaksanakan pengisian catatan harian, rekapitulasi laporan penggunaan anggaran 30% tanggal 16 Juli s.d. 31 Oktober 2016 dan mengunggah *softcopy* laporan akhir, mengisi rekapitulasi laporan penggunaan anggaran 100% paling lambat tanggal 10 Nopember 2016 secara *online* di SIM-LITABMAS;
 - h) Mengunggah ke SIM-LITABMAS *softcopy* laporan tahunan atau laporan akhir dan Rekapitulasi Laporan Penggunaan Anggaran yang telah disahkan Lembaga Penelitian dalam format pdf (ukuran file maksimum 5 MB), berikut *softcopy* luaran penelitian atau dokumen bukti luaran;
 - i) Menyerahkan *hardcopy* Laporan Akhir dan Rekapitulasi Laporan Penggunaan Anggaran paling lambat tanggal 10 Nopember 2016 kepada **PIHAK PERTAMA**;
 - i) Membayar pajak sesuai ketentuan perundang-undangan yang berlaku.

Pasal 5

- (1) Penelitian ini dilaksanakan selama 8 bulan (**Maret s.d. Oktober**) dan berakhir tanggal **31 Oktober 2016**, terhitung dari tanggal yang tercantum dalam surat perjanjian pelaksanaan.
- (2) Apabila **PIHAK KEDUA** dengan suatu alasan tidak dapat menyelesaikan pelaksanaan perjanjian ini, maka **PIHAK KEDUA** wajib menunjuk pengganti ketua pelaksana yang merupakan salah satu anggota tim.
- (3) Apabila batas waktu habisnya penelitian ini **PIHAK KEDUA** belum menyerahkan hasil pekerjaan seluruhnya kepada **PIHAK PERTAMA**, maka **PIHAK KEDUA** dikenakan denda sebesar 1‰ (satu permil) setiap hari keterlambatan sampai setinggi-tingginya 5% (lima persen) dari nilai surat perjanjian penugasan pelaksanaan penelitian, terhitung dari tanggal jatuh tempo yang telah ditetapkan sampai dengan berakhirnya pembayaran dana penelitian.
- (4) Apabila **PIHAK KEDUA** tidak menyerahkan laporan hasil penelitiannya sampai batas waktu yang telah ditetapkan pada kontrak kerja ini dalam akhir tahun anggaran yang sedang berjalan dan batas waktu proses pencairan biayanya telah berakhir, maka seluruh biaya yang bersangkutan yang belum sempat dicairkan, dinyatakan hangus (tidak dapat dicairkan kembali).
- (5) Kelalaian yang menyebabkan tidak selesainya penelitian sehingga luaran yang dijanjikan dalam proposal sebagaimana dimaksud pada Pasal 4 tidak terpenuhi menjadi tanggung jawab **PIHAK KEDUA**.

Pasal 6

- (1) **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk menjamin bahwa penelitian dengan judul sebagaimana disebut pada pasal 1 bukan plagiat atau duplikasi penelitian. Jika ternyata bahwa penelitian yang dilakukan adalah plagiat atau duplikasi penelitian, maka **PIHAK KEDUA** bersedia dibatalkan penelitiannya oleh **PIHAK PERTAMA** dan **PIHAK KEDUA** berkewajiban mengembalikan semua dana yang diterima ke Kas Negara.
- (2) Apabila **PIHAK KEDUA** tidak dapat melaksanakan tugas sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 maka harus mengembalikan dana yang telah diterimanya ke Kas Negara.

Pasal 7

- 1) **PIHAK KEDUA** harus menyerahkan *hardcopy* laporan hasil penelitian sebanyak 6 (enam) eksemplar dan 1 (satu) buah *soft copy*.

(2) Laporan hasil penelitian dalam bentuk "hard copy" tersebut harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

1. Bentuk/ukuran kertas kuarto.
2. Warna sampul muka abu-abu.
3. Dibawah bagian kulit ditulis:

Dibiayai oleh:

DIPA DRPM Kemenristek Dikti Nomor : 042.06-0/2016,
berdasarkan Surat Perjanjian Pelaksanaan Hibah Penelitian Tahun 2016
Nomor: 050/SP2H/PL/DRPM/III/2016, dan Surat Keputusan Rektor Universitas
Negeri Makassar Nomor :995/UN36/PL/2016,
tanggal 26 Februari 2016.

(3) *Softcopy* laporan hasil Penelitian sebagaimana tersebut pada ayat (2) harus diunggah ke SIM-LITABMAS oleh PIHAK KEDUA.

(4) PIHAK KEDUA juga diharuskan untuk mengirimkan 1 (satu) eksemplar laporan hasil penelitian "hard copy" langsung kepada :

1. Perpustakaan Perguruan Tinggi yang bersangkutan;
2. Fakultas masing-masing peneliti.

Pasal 8

Hal-hal dan/atau segala sesuatu yang berkenaan dengan kewajiban pajak berupa:

1. Pembelian barang dan jasa PPN 10% PPh 22 1,5%
2. Belanja honorarium PPh Pasal 21:
 - a. 5% bagi yang memiliki NPWP untuk golongan III, dan 6% bagi yang tidak memiliki NPWP.
 - b. Untuk golongan IV sebesar 15%.
3. Dan Pajak – Pajak lain sesuai ketentuan yang berlaku.
4. Pajak-pajak tersebut dibayarkan oleh PIHAK KEDUA ke Kas Negara sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Pasal 9

1) Hak Kekayaan Intelektual yang dihasilkan dari pelaksanaan program Penelitian tersebut diatur dan dikelola sesuai dengan peraturan dan perundang-undangan yang berlaku.

2) Hasil Penugasan Penelitian berupa peralatan dan/atau alat yang dibeli dari kegiatan penelitian ini adalah milik negara yang dapat dihibahkan kepada Lembaga Penelitian UNM melalui Surat Keterangan Hibah.

Pasal 10

- (1) Apabila terjadi perselisihan antara **PIHAK PERTAMA** dan **PIHAK KEDUA** dalam pelaksanaan perjanjian ini akan dilakukan penyelesaian secara musyawarah dan memilih pengadilan negeri apabila tidak tercapai penyelesaian secara musyawarah.
- (2) Hal-hal yang belum diatur dalam perjanjian ini diatur kemudian oleh kedua belah pihak secara musyawarah.

Pasal 11

Surat Perjanjian Penugasan Penelitian Fundamental Usulan Baru T.A. 2016 ini dibuat rangkap 3 (tiga), dua diantaranya bermaterai cukup sesuai dengan ketentuan yang berlaku, dan biaya materainya dibebankan kepada **PIHAK KEDUA**.

PIHAK PERTAMA

Prof. Dr. H. Jufri, M.Pd
NIP. 19591231 198503 1 016

PIHAK KEDUA

Dr. Muhammad Arsyad, M.T
NIP. 19640828 199003 1 001

Menyetujui
Rektor

Prof. Dr. H. Arismunandar, M.Pd
NIP. 19620714 198702 1 001