

LAPORAN TAHUN  
TERAKHIR

PENELITIAN DASAR UNGGULAN PERGURUAN TINGGI



**Analisis Mineral Ornamen Gua Karst Maros Sebagai Indikasi Perubahan Iklim  
Tahun Ke 2 Dari Rencana 2 Tahun**

**TIM PENGUSUL :**

**Dr. Muhammad Arsyad, MT NIDN 0028086402**

**Nasrul Ihsan, S.Si. M.Si NIDN 0014047303**

**Sulistawaty, S.Si., M.Si., MT NIDN 0016107902**

Dibiayai oleh

Direktori Penguatan Riset dan Pengembangan

DRIPA- 042.06.1.401516/2017, Tanggal 24

Sesuai Surat Addendum Kontrak Penelitian PIR-PI

Nomor 1774/ UN36.9/PL/2017 Tanggal 24

**UNIVERSITAS NEGERI MAKASSAR**

**OKTOBER 2017**

**LAPORAN TAHUN  
TERAKHIR**

**PENELITIAN DASAR UNGGULAN PERGURUAN TINGGI**



**Analisis Mineral Ornamen Gua Karst Maros Sebagai Indikasi Perubahan Iklim  
Tahun Ke 2 Dari Rencana 2 Tahun**

**TIM PENGUSUL :**

**Dr. Muhammad Arsyad, MT NIDN 0028086402**

**Nasrul Ihsan, S.Si. M.Si NIDN 0014047303**

**Sulistiawaty, S.Si., M.Si., MT NIDN 0016107902**

**Dibiayai oleh:**

**DIPA Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan, Kemenristek Dikti**

**SP DIPA- 042.06.1.401516/ 2017, Tanggal 31 Agustus 2017**

**Sesuai Surat Addendum Kontrak Penelitian PDUPT**

**Nomor : 1774/ UN36.9/PL/2017 Tanggal 2 Oktober 2017**

**UNIVERSITAS NEGERI MAKASSAR**

**OKTOBER 2017**

## HALAMAN PENGESAHAN

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

**Peneliti/Pelaksana**  
Nama Lengkap : Dr 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 2 dari rencana 2 tahun  
Biaya Tahun Berjalan : Rp 69,744,000  
Biaya Keseluruhan : Rp 125,000,000

Mengetahui,  
Dekan FMIPA

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

Kota Makassar, 20 - 10 - 2017

Ketua,

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

Menyetujui,  
Ketua Lembaga Penelitian UNM Makassar

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

## PRAKATA

Puji syukur ke Hadirat Allah *Subhanahu Wata'ala*, karena hanya Berkah, limpahan Rahmat serta Karunia-Nya jua, sehingga penelitian dan laporan akhir penelitian ini dapat diselesaikan.

Laporan penelitian yang berjudul Analisis Mineral Ornamen Gua Kawasan Karst Maros Sebagai Indikasi Perubahan Iklim. Laporan ini disajikan dalam enam bab, yakni : Bab I merupakan bab pendahuluan, Bab II berisi tentang kajian pustaka yang relevan dengan penelitian yang dilakukan, Bab III merupakan Tujuan dan Manfaat yang dapat diperoleh dari hasil penelitian ini. Bab IV Metode Penelitian, Bab V menguraikan tentang hasil penelitian dan pembahasan yang dilakukan, dan Bab VI yang merupakan bab terakhir berisi kesimpulan penelitian dan saran-saran yang dikemukakan untuk penelitian lebih lanjut.

Disadari, bahwa laporan ini tidak akan terwujud jika sekiranya peneliti tidak memperoleh bantuan dari berbagai pihak terutama dari :

1. Kementerian Riset, Teknologi, Dan Pendidikan Tinggi atas bantuan dana yang diberikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana.
2. Rektor UNM Makassar yang telah memberikan arahan dalam pelaksanaan penelitian ini terutama tentang kawasan karst yang dijadikan kawasan konsesi atas kerjasama UNM Makassar dan Pemerintah Kabupaten Maros.
3. Ketua Lembaga Penelitian UNM Makassar yang telah berkenan menyetujui sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.
4. Dekan FMIPA UNM Makassar yang telah memberikan sumber dana dalam bentuk dana PNBPN, sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.
5. Gubernur Sulawesi Selatan cq Kepala Badan Koordinasi Penanaman Modal Daerah Provinsi Sulawesi Selatan dan jajarannya atas perkenannya memberikan izin dalam melaksanakan penelitian ini.
6. Kementerian Kehutanan dan Lingkungan Hidup dan Kepala Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Propinsi Sulawesi Selatan atas perkenannya memberikan izin dalam pelaksanaan penelitian ini.

7. Bupati Maros atas perkenaannya, sehingga penelitian ini terlaksana dengan baik.
8. Ketua Jurusan Fisika UNM Makassar bersama Dosen Jurusan Fisika yang telah memberikan bantuan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

Begitu juga kepada tim peneliti lainnya, saudara Nasrul Ihsan, S.Si, M.Si dan Sulistiawaty, S.Si, M.Si, MT serta mahasiswa Jurusan Fisika KBK Fisika Bumi (Rony Pranata, S.Si, Quraish Taslim, dan Maya Ristaderi) yang telah membantu dalam proses penelitian ini, terutama dalam pelaksanaan penelitian di Kawasan Karst Maros. Untuk itu, kepada mereka peneliti mengucapkan terima kasih.

Terima kasih kami sampaikan juga kepada semua pihak yang telah memberi bantuannya dan tidak sempat peneliti menyebutkan namanya satu per satu. Mudah-mudahan Allah memberikan pahala sesuai dengan jerih payah dan bantuan yang diberikan kepada peneliti, Amin.

**Makassar, Oktober 2016**

**Ketua Peneliti,**

**Muhammad Arsyad**

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

**Muhammad Arsyad<sup>1)</sup>, Nasrul Ihsan<sup>1)</sup>, dan Sulistiawaty<sup>1)</sup>**  
**Jurusan Fisika UNM Makassar**

**Abstrak**

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. Untuk itu, tujuan khusus penelitian ini adalah: (1) mengevaluasi profil curah hujan, (2) mensintesa ketersediaan air sungai bawah tanah, dan (3) mensintesa karakteristik Gua yang terdapat di Kawasan Karst Maros. Data Penelitian untuk menjawab rumusan masalah pertama adalah data Curah Hujan (CH) selama 30 tahun (1985-2014) diperoleh dari 3 stasiun yakni: (1) Stasiun CH Batubessi dengan posisi 5<sup>04</sup>' LS dan 119<sup>045</sup>'BT, (2) Stasiun CH Bontibonti dengan posisi 5<sup>00</sup>' LS dan 119<sup>042</sup>'BT, dan (3) Stasiun CH Pakelli dengan posisi 5<sup>04</sup>' LS dan 119<sup>045</sup>'BT. Rumusan masalah kedua adalah Data debit air (Q) selama 30 tahun (1985-2014) yang diperoleh dari PSDA Kementerian PU Propinsi Sulawesi Selatan. Rumusan masalah ketiga yaitu Data Gua adalah data dokumentasi, sedangkan ornamen Gua dilakukan pengamatan langsung di Kawasan Karst Maros, yakni Gua Salukang Kallang dan Gua Mimpi. Analisis Data yang digunakan adalah rata-rata, standar deviasi dan diagram yang semuanya diolah dengan MS Excell. Hasil penelitian menunjukkan bahwa CH di Kawasan Karst Maros selama 30 tahun Profil curah hujan di Kawasan Karst Maros priode tahun 1985-2014 mempunyai pola curah hujan monsun. 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. Ketersediaan air sungai 30 tahun debit air di Kawasan Karst Maros pada selang 4,0 m<sup>3</sup>/detik sampai 11,0 m<sup>3</sup>/detik dengan rata-rata sekitar 6,50 m<sup>3</sup>/detik. 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. 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 ini dapat dijadikan sebagai indikasi perubahan iklim.

**Kata kunci: curah hujan, debit air, ornamen gua, mineral dan perubahan iklim**

## **ANALYSIS OF MINERAL CAVES IN MAROS KARST AREA AS AN INDICATION OF CLIMATE CHANGE**

**Muhammad Arsyad<sup>1)</sup>, Nasrul Ihsan<sup>1)</sup>, dan Sulistiawaty<sup>1)</sup>  
Physics Department UNM Makassar**

### **Abstract**

This research aims to evaluate the information obtained from caves as an indication of climate change. An indication of climate change related to the formation of caves is the history of the formation of the cave itself, rainfall and availability of water in the cave. For that, the specific purpose of the research are: (1) evaluate the profile of rainfall, (2) synthesizes underground river water availability, and (3) synthesizes the characteristics of caves in the Karst region of Maros. Research Data where to answer the problem formulation, the first problem formulation is Rainfall data (CH) for 30 years (1985-2014) were obtained from 3 stations namely: (1) Station CH Batubessi to the position 504 'LS and 119045'BT, (2) Station CH Bontibonti to the position 500 'LS and 119042'BT, and (3) Station CH Pakelli to the position 504' LS and 119045'BT. The second problem is the formulation of water discharge data (Q) for 30 years (1985-2014) obtained from the Ministry of Public Works NRM South Sulawesi Province. The third problem formulation, namely Gua Data is data documentation, while the cave ornaments made direct observations in Maros Karst, the Salukang Kallang Cave and Mimpì Cave. Analysis data used to calculate the average, standard deviation and diagrams are all processed with MS Excel. The results showed that in Maros Karst for 30 years rainfall profile from 1985 to 2014 year period has a pattern of monsoon rainfall. Characteristics of rainfall in Maros Karst in August where the month with the lowest rainfall amounted only 46.40 mm. 30 years the availability of river water discharge in Maros Karst from interval 4.0 m<sup>3</sup> / s to 11.0 m<sup>3</sup> / sec with an average about 6.50 m<sup>3</sup> / sec. Caves in Maros Karst has a unique functions. There are 268 caves and most of them have artifacts. Caves in the karst region has a hydrological functions that store water in it with different water discharge. Salukang Kallang Cave and Mimpì Cave has ornaments in the form of stalagnite, stalagmite, pillar, helektit, and flowstone. This ornament shows the process of the formation in different minerals. This mineral can be used as an indication of climate change.

**Key words: rainfall, water discharge, cave ornament, mineral and climate change**

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

**Muhammad Arsyad<sup>1)</sup>, Nasrul Ihsan<sup>1)</sup>, dan Sulistiawaty<sup>1)</sup>**  
**Jurusan Fisika UNM Makassar**

**Abstrak**

Telah dilakukan penelitian tahun kedua yang secara umum bertujuan untuk mengevaluasi informasi yang diperoleh dari ornamen Gua sebagai indikasi perubahan iklim. Untuk itu, tujuan khusus penelitian ini adalah: (1) mensintesa karakteristik ornamen Gua, berupa stalaktit, stalagmit, dan lainnya, dan (2) menganalisis terjadinya perubahan iklim dengan mineral ornamen Gua, di Taman Nasional Bulusaraung Bantimurung Kawasan Karst Maros sebagai indikator utama. Penelitian ini 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. Data penelitian berupa jumlah ornamen Gua Mimpi (*stalaktit*, *stalagmite*, *pilar*, dan *flowstone*). dan karakterisasi mineral dengan menggunakan SEM-ADS dan XRD. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik ornamen Gua Mimpi berupa *stalaknit*, *stalakmit*, *pilar*, *helektit*, dan *flowstone* tersebar merata sepanjang 750 m di lorong Gua.. Karakteristik dari ornamen Gua Mimpi berupa *stalaknit*, *stalakmit*, *pilar*, *helektit*, dan *flowstone* tersusun dari jenis mineral yang berbeda dan komposisi yang juga berbeda. Stalaktit dengan komposisi kimia oksida yang paling tinggi adalah Calcium CaO sebesar 42,44 wt% dan komposisi senyawa kimia yang paling rendah adalah Pottasium ( $K_2O$ ) sebesar 1,73 wt%. Sedangkan stalakmit dengan komposisi kimia yang paling tinggi adalah Calcium CaO sebesar 59.05 wt% dan komposisi senyawa kimia yang paling rendah adalah Iron (FeO) 0,12 wt%.

**Kata kunci: karakteristik Gua Mimpi, ornamen Gua, mineral, SEM-ADS, XRD dan perubahan iklim**



# **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 masimal dilestarikan oleh penda 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

penelitian ini dilakukan dengan judul **“Analisis Mineral Ornamen Gua Kawasan Karst Maros sebagai Indikasi Perubahan Iklim.”**

## **B. Rumusan Masalah**

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

1. Bagaimana karakteristik ornamen gua, berupa stalaktit, stalagmit, dan lainnya di Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung Kawasan Karst Maros?
2. Bagaimana mineral ornamen gua di Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung Kawasan Karst Maros memberikan informasi tentang terjadinya perubahan iklim?

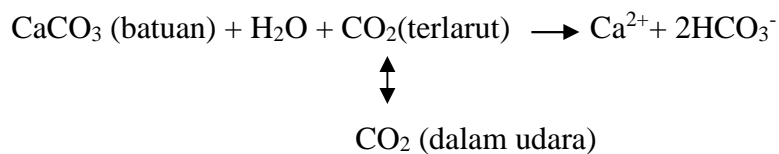
## BAB II

### 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 CO<sub>2</sub> di dalam air dan membentuk H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Larutan H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> kemudian dapat terurai menjadi H<sup>+</sup> dan HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Ion H<sup>+</sup> inilah yang selanjutnya menguraikan CaCO<sub>3</sub> menjadi Ca<sup>2+</sup> dan HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. 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 terbentuk dari proses pelapukan batugamping mempunyai porositas dan permeabilitas 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 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  $\pm 40.000$  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. Di tengah 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  $\text{CO}_2$  dari pada udara sekitarnya. Proses untuk mencapai keseimbangan,  $\text{CO}_2$  menguap dari tetesan air tersebut. Hal ini menyebabkan berkurangnya jumlah asam karbonat,



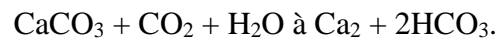
yang artinya kemampuan melarutkan kalsit menjadi berkurang. Akibatnya air tersebut menjadi jenuh kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ) dan kemudian mengendap.

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. Di tengah kegelapan abadi proses pengendapan berlangsung hingga membentuk ornamen-ornamen gua (*speleothem*).



Gambar 2.1 Stalaktit Gua Mimpi  
TN Babul Kawasan Karst Maros  
(Arsyad, 2017)

Stalaktit (Gambar 2.1) adalah ornamen Gua yang tumbuh dan terbentuk dari tetesan air dari atap gua mengandung kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ). Mengkristal, dari tiap tetes air akan menambah tebal endapan yang membentuk kerucut menggantung dilangit-langit gua. Reaksi kimia pada proses pelarutan batu gamping:



Gambar 2.2 Stalakmit Gua Mimpi  
TN Babul Kawasan Karst Maros  
(Arsyad, 2017)

Stalagmit (Gambar 2.2) terbentuk akibat proses pelapukan kimiawi secara karbonasi di daerah karst (kapur). Kalsit menjadi kalsium bikarbonat karena bereaksi dengan air. Jika stalaktit berlubang dan lebih runcing, maka stalagmit tidak berlubang dan berlapis-lapis akibat tetesan air yang tersedimentasi di lantai



Gambar 2.3 Pilar Gua Mimpi  
TN Babul Kawasan Karst Maros  
(Arsyad, 2017)

Pilar (Gambar 2.3) adalah ornamen Gua yang merupakan hasil pertemuan endapan antara stalaktit dan stalakmit yang akhirnya membentuk tiang dan menghubungkan stalaktit dan stalakmit menjadi satu. Pilar kadang merupakan penyangga Gua karena bentuknya menyerupai tiang sehingga disebut pilar.



Gambar 2.4 *Flowstone* Gua Mimpi  
TN Babul Kawasan Karst Maros  
(Arsyad, 2017)

*Flowstone* (Gambar 2.4) adalah ornamen Gua dengan komposisi kalsit yang terdeposisi memiliki berbagai macam warna yaitu kuning keemasan dan abu-abu. Di mana pendinginannya sangat lambat (dapat mencapai jutaan tahun), yang memungkinkan tumbuhnya kristal-kristal yang besar dan sempurna bentuknya.

Sementara itu, aktivitas di dalam gua juga berpengaruh pada pengerasan substrat lantai gua, di samping keseimbangan energi di dalam gua (Rahmadi dan Suharjono, 2007). Ornamen Gua Mimpi yang dijumpai di Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung Kawasan Karst Maros pada umumnya adalah stalaktit, stalakmit, pilar, dan *flowstone* seperti pada Gambar 2.1 sampai Gambar 2.4.

Proses terbentuknya ornamen gua (*speleothem*) disebabkan karena air tanah yang menetes dari atap gua mengandung lebih banyak CO<sub>2</sub> daripada udara sekitarnya. Peraturan Menteri Energi tentang Pengelolaan Kawasan Karst (2000), ornamen gua

adalah bentukan alam hasil pengendapan ulang larutan jenuh kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) 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 ditiadakan. Medan magnetik yang diberikan pada material akan mengubah gerak orbital elektron yang menghasilkan magnetisasi yang kecil dan berlawanan terhadap medan magnetik tersebut. Respon 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 magnetic 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.

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. 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/km<sup>2</sup>), kerapatan mata air sedang (2-5 gua/km<sup>2</sup>), dan kerapatan mata air rendah ( $<2$  gua/km<sup>2</sup>) (Daryanto dan Oktariadi, 2009)

Di Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung Kawasan Karst Maros, terdapat 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 Heritage*) 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 (TN Babul) terletak di Sulawesi Selatan, seluas ±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 40°45'50" LS dan 109°20'00" BT sampai dengan 129°12'00" BT . Luas wilayah Kabupaten Maros adalah 1.619,12 km<sup>2</sup>. 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 Babul 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, di mana 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 Topografi terlihat aliran sungai yang mengalir lalu menghilang/terputus. Aliran tersebut biasa disebut *vadose stream*/arus vadose/sungai vadose atau aliran *allochthonous*.



(a)



(b)

Gambar 2.5 Air terjun Sungai Bantimurung yang merupakan primadona bagi pengunjung (Arsyad, 2017);  
(a) Air terjun pertama yang dijumpai dari pintu masuk  
(b) air terjun kedua yang merupakan pembatas antara air yang muncul dari celah batuan gua atau *resurcerge* aliran



Salah satu sungai permukaan yang muncul di Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung adalah sungai Bantimurung yang penampakannya seperti Gambar 2.5. 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 di dalam gua menjadi ribuan tetesan 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  $\text{CaCO}_3$ , karena air perkolasi meresap dan merembes secara perlahan ke dalam gua sehingga mineral pada batu gamping yang didominasi oleh *Calcite* ( $\text{CaCO}_3$ ) lebih banyak terbawa. Aliran vadose 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 ornament–ornament yang terdapat pada atap gua seperti : *SodaStraw*, *Stalagtite*, *Helektite*, *Deflected Stalagtite* dan berbagai ornamen yang menggantung diatap gua. Didinding gua terbentuk *Drapery*, *Canopy* dan dilantai terbentuk *Gourdam*, *Kalsit Floor*, *Rim Stone*, *Stalagmite* dan masih banyak lagi ornament 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.

## **E. Perubahan Iklim dan Kaitannya dengan Ornamen Gua di Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung Kawasan Karst Maros**

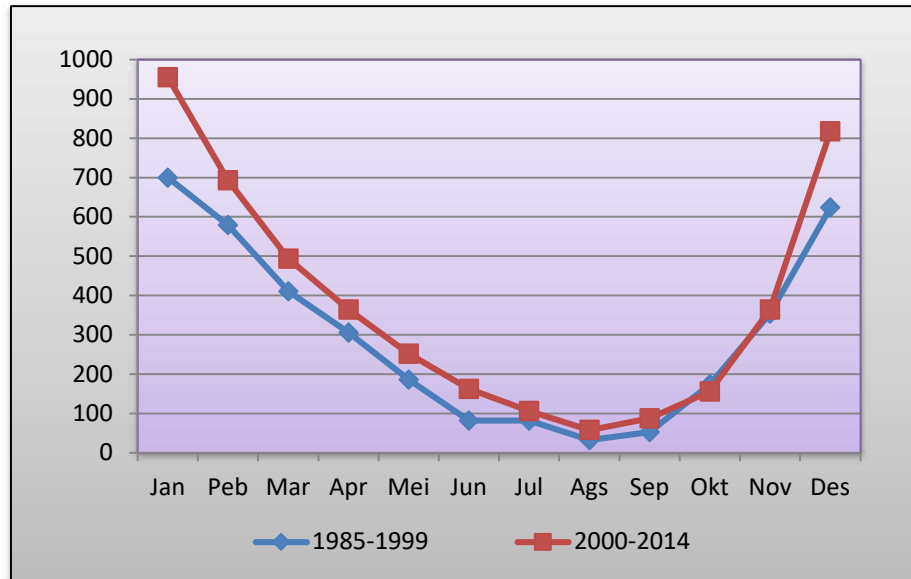
Iklim merupakan nilai rata-rata cuaca pada suatu wilayah pada periode yang panjang (lebih dari 30 tahun). Perubahan iklim (*climate change*) ialah perubahan suhu, tekanan udara, angin, curah hujan, dan kelembaban sebagai akibat dari pemanasan global, (Meiviana,2006). Menurut Baed and Widmann (2007), ada tiga hal yang dapat merubah neraca radiasi suatu wilayah, yang kemudian menyebabkan perubahan iklim, yakni: (1) berubahnya radiasi matahari yang masuk ke sistem bumi (karena berubahnya orbit bumi atau berubahnya proses pembentukan energi di dalam matahari), (2) berubahnya jumlah radiasi matahari yang dipantulkan keluar dari permukaan (*albedo*). dan (3) berubahnya radiasi gelombang panjang yang dipancarkan keluar dari atmosfer (yaitu dengan merubah konsentrasi gas-gas rumah kaca serta meningkatkan efek rumah kaca).

Beberapa observasi yang dilakukan oleh IPCC menggambarkan bahwa telah terjadi peningkatan konsentrasi gas-gas rumah kaca, (lihat tabel 1). Keberadaan gas-gas terutama CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> (gas methana), N<sub>2</sub>O (dinitro oksida), CFC<sub>12</sub> (*Clorofluorocarbon/freon*), HFC (*hydrofluorocarbon*), dan CF<sub>4</sub> di atmosfer dapat mengakibatkan pemanasan di bumi.

Komponen gas-gas tersebut mempunyai derajat kekuatan terhadap pemanasan global (*GWP: Global Warming Potential*) yang berbeda-beda. Pada era modern ini, potensi terbesar terhadap pemanasan global adalah N<sub>2</sub>O, CFC<sub>12</sub>, HFC, dan CF<sub>4</sub>. Gas N<sub>2</sub>O dihasilkan oleh pembakaran energi dan pabrik pupuk, CFC<sub>12</sub> berasal dari emisi industri kimia, HFC berasal dari industri, dan CF<sub>4</sub> berasal dari aktivitas manusia lainnya. Kondisi gas rumah kaca dan keberadaannya di atmosfer berupa *life time*, konsentrasi pada era Pra-Industri dan tahun 1994, *global warming potential* (GWP), dan sumber penghasilnya

Akibat proses tersebut, maka hujan dan pola curah hujan dapat berubah. Durasi antara musim hujan dengan musim kemarau tidak teratur dan waktunya sulit diprediksi. 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.

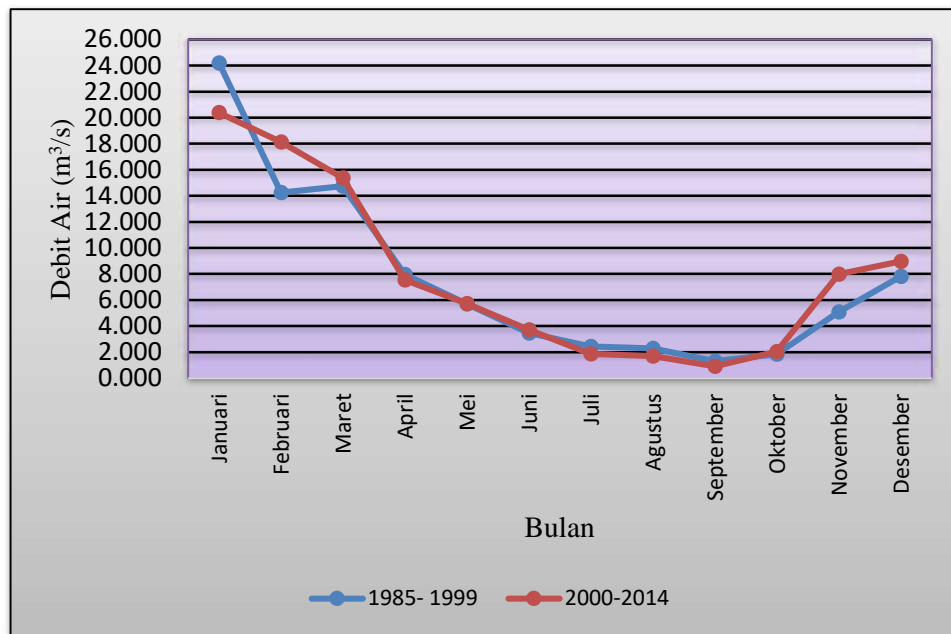


**Gambar 2.6** Grafik perbandingan Priode I (1985-1999) dengan Priode II (2000-2014) (Arsyad,2016)

Berdasarkan Gambar 2.6, menunjukkan bahwa kecendrungan curah hujan pada dua priode di Taman Nasional Babul 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 C<sub>3</sub> 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. Persentase sifat hujan 67,5 % bulan basah, 19,2% bulan kering dan 13,3% bulan lembab.

Dari data debit air selama 30 tahun (1985-2014) 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 2.7.



**Gambar 2.7** Profil Debit Air di Kawasan Karst untuk Priode I (1985-1999) dan Priode II (2000- 2014) (Arsyad, 2016).

Gambar 2.7 menunjukkan, bahwa grafik debit air cenderung dengan pola yang sama. Artinya, keberadaan debit air selama interval waktu 15 tahun menunjukkan pola yang sama. Kedua priode 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.

Secara umum, keadaan curah hujan dan ketersediaan debit air di Taman Nasional Babul Kawasan Karst Maros akan menentukan proses karstifikasi dan pada gilirannya akan menentukan keberadaan Gua. Gua Mimpi merupakan salah satu Gua yang berada di bantaran Sungai Bantimurung, sehingga pembentukan Gua akan menentukan sejarah pembentukan mineral ornament Gua.

Indikasi perubahan iklim untuk ornamen Gua telah dilakukan oleh Yunginger (2010) yang menggunakan *proxy data* lingkaran tahun pohon (*tree ring*) yang memiliki resolusi tahunan, walaupun data yang dihasilkan hanya mencapai ratusan tahun. Pembentukan mineral pada ornamen Gua terutama pada stalakmit dengan pembentuk utamanya adalah kalsit. Kalsit terlarut dalam air tetesan maupun air rembesan. Di samping itu, juga terbentuk mineral lain maupun zat organik yang memberikan warna pada lapisan-lapisan endapan gua. **Batuan Sedimen sebagai pembentuk Ornamen Gua**

Batuan Sedimen adalah batuan yang paling banyak tersingkap di permukaan bumi, kurang lebih 75% dari luas permukaan bumi, sedangkan batuan beku dan metamorf hanya tersingkap sekitar 25% dari luas permukaan bumi. Batuan sedimen mempunyai arti yang sangat penting untuk mengungkapkan karakteristik kehidupan organisme, karena sebagian besar aktivitas manusia terdapat di permukaan bumi. Fosil dapat pula dijumpai pada batuan sedimen dan mempunyai arti penting dalam menentukan umur batuan dan lingkungan pengendapan. Batuan Sedimen adalah

batuan yang terbentuk karena proses diagenesis dari material batuan lain yang sudah mengalami sedimentasi. Sedimentasi ini meliputi proses pelapukan, erosi, transportasi, dan deposisi. Proses pelapukan yang terjadi dapat berupa pelapukan fisik maupun kimia. Proses erosi dan transportasi dilakukan oleh media air dan angin. Proses deposisi dapat terjadi jika energi transport sudah tidak mampu mengangkut partikel tersebut.

Oleh karena keragaman pembentukan (geneses), (tekstur), komposisi dan penampilan batuan sedimen, maka dasar klasifikasinya pun bermacam-macam. Pengelompokan batuan sedimen yang ideal berdasarkan ukuran butir, bentuk dan komposisi material pembentukan. Pengelompokan yang sederhana dalam batuan sedimen adalah dua kelompok besar, yakni: 1) batuan sedimen klastik, dan 2) batuan sedimen nonklastik. Batuan sedimen klastik terbentuk dari fragmen-fragmen batuan lain. Batuan sedimen klastik (batuan sedimen detritus) dikelompokkan berdasarkan ukuran butir material komponen materialnya. Batuan sedimen klastik terdiri dari butiran-butiran besar disebut fragmen dan diikat oleh massa butiran-butiran yang lebih halus, disebut matriks. Batuan sedimen klastik yang dikelompokkan berdasarkan besar butir materialnya sebagai konglomerat, batu pasir, serpih, dan batu lempung.

Batuan sedimen nonklastik atau kimiawi dan organik terbentuk oleh proses kimia atau proses biologi. Batuan sedimen nonklastik yang banyak dijumpai adalah batuan gamping atau limestone. Terutama terdiri dari mineral kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) yang terjadi akibat proses kimia dan atau organik. Kalsium karbonat diambil oleh organisme di bawah air di mana hidup untuk membuat cangkangnya. Setelah organismenya mati tertinggal cangkangnya akan terkumpul di dasar laut. Lama-kelamaan membentuk endapan batu gamping yang terdiri dari cangkang dan pecahan-pecahannya (Arsyad.2002).

Proses diagenesis adalah proses yang menyebabkan perubahan pada sedimen selama terpendam dan terlitifikasikan. Litifikasi adalah proses perubahan material sedimen menjadi batuan sedimen yang kompak. Proses diagenesis merupakan

kompaksi yaitu pemadatan karena tekanan lapisan di atas atau proses sedimentasi yaitu perekatan bahan-bahan lepas tadi menjadi batuan keras oleh larutan-larutan kimia misalnya larutan kapur atau silisium. Sebagian batuan sedimen terbentuk di dalam samudera. Beberapa zat ini mengendap secara langsung oleh reaksi-reaksi kimia misalnya garam ( $\text{CaSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ). Adapula yang diendapkan dengan pertolongan jasad-jasad, baik tumbuhan maupun hewan.

Batuan sedimen dapat juga diidentifikasi berdasarkan tekstur permukaan atas tekstur kasar, sedang dan halus. Tekstur kasar, terjadi pada permukaan butir terlihat meruncing dan terasa tajam. Tekstur sedang, terjadi jika permukaan butirnya agak meruncing sampai agak rata. Tekstur ini terdapat pada butir dengan tingkat kebundaran meruncing tanggung hingga membulat tanggung. Sedangkan tekstur halus, terjadi jika pada permukaan butir sudah halus dan rata. Ini menunjukkan proses aberasi permukaan butir yang sudah lanjut pada saat mengalami transportasi. Dengan demikian butiran sedimen yang mempunyai tekstur permukaan halus terjadi pada kebundaran membulat sampai sangat membulat.

Ketika proses dari pengendapan suspensi dapat digambarkan oleh beban yang tergantung sebagai kecepatan dan turbulensi dari penurunan aliran dalam serangkaian langkah selama jangka waktu tertentu. Pada awalnya energi aliran cukup untuk mengangkut semua partikel dalam suspensi dan didepositkan sebagai lapisan pada bagian bawah sungai kemudian, energi aliran tetes bahkan lebih, dan menengah pasir berukuran partikel disimpan didasar kedua di bawah aliran ini. Akumulasi partikel sedimen di lapisan terpisah disebut stratifikasi. Stratifikasi merupakan salah satu karakteristik diagnostik batuan sedimen. (Ludman, 1982)

### **1. Mineral dan Pembentukan Mineral di Kawasan Karst**

Kawasan karst selalu diasosiasikan dengan ciri khas warna yang kemerah-merahan dan tanah liat (Durn, 2003; Merino and Banerjee, 2008; Muhs *et al.*, 2010). Ciri khas ini menunjukkan, bahwa kawasan karst banyak mengandung mineral yang berasal dari unsur-unsur pengiring dari unsur induk yang mengalami metamorphosis dalam pembentukannya. Proses pembentukan ini akan bergantung kepada sumber



sekitar dengan perbedaan dalam mode transportasi dan dalam kondisi pengendapan. Proses pengendapan ini akan mengakibatkan terjadinya proses perlapisan atau proses sedimentasi yang pada gilirannya akan membentuk batuan sedimen. Batuan sedimen diklasifikasikan menjadi tiga kelompok utama berdasarkan asal-usul komponen utama, yaitu klastik, biogenik, dan kimia.

Terbentuknya mineral ada dua cara yakni secara primer dan sekunder. Secara primer yaitu dari hasil pembekuan magma, hasil kristalisasi larutan, atau hasil metamorfisme. Secara sekunder yaitu hasil perubahan mineral yang telah ada sebelumnya. Proses pembentukan mineral secara sekunder akan terjadi sepanjang waktu selama syarat-syarat lingkungan terpenuhi. Proses sedimentasi di kawasan karst terus terjadi, sehingga proses mineralisasi juga terjadi sepanjang waktu. Penelitian yang dilakukan oleh Tao Tang (2002) dengan 10 sampel tanah dan profil sedimen dengan tiga sampling area pada daerah penambangan dengan menggunakan pH meter menunjukkan, bahwa terdapat 925 pH/ion meter dengan standard pH 4 sampai pH 7. Hasil penelitian ini menunjukkan, bahwa tanah di kawasan karst sangat basa dan rentan dengan perubahan lingkungan dan tekanan yang terjadi terutama proses ekskavasi yang dilakukan. Setiap getaran dari proses ekskavasi akan berdampak kepada struktur batuan di kawasan karst, sehingga mineral yang banyak terbentuk adalah proses sekunder.

## **2. Komposisi Mineral**

Mineral mempunyai komposisi kimia tertentu dan dalam perbandingan unsur-unsur kimia tertentu pula, seperti  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaCO}_3$ , dan sebagainya. Mineral yang terakhir terbentuk pada pendinginan magma adalah kuarsa. Komposisi beberapa mineral dapat bervariasi, akibat adanya pertukaran atau substitusi ion dalam struktur mineral. Kelompok mineral (umumnya dijumpai pada kelompok mineral berbentuk batuan) meskipun komposisi kimianya beragam tetapi struktur kristalnya sama. Hal ini dapat dijumpai pada intan dan arang. Struktur Kristal pada intan dan arang sama, tetapi komposisi kimianya berbeda. Komposisi kimia yang berbeda inilah yang akan

menghasilkan struktur dengan ikatan kimia yang sangat kuat pada intan dan sangat lemah pada arang.

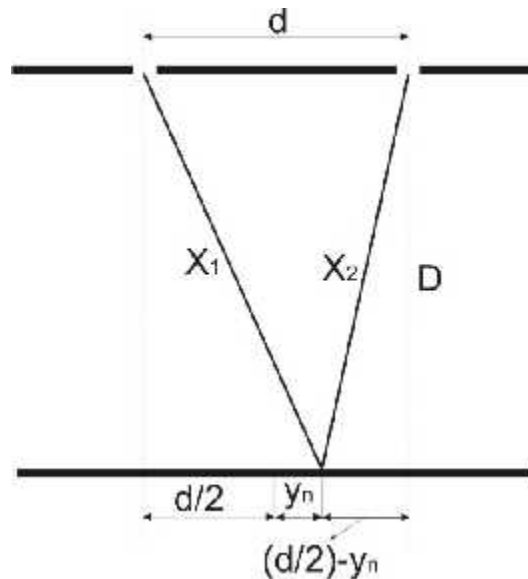
### **3. Scanning Electromagnetic Magnetometer (SEM) dan X Ray Diffractometer (XRD)**

Analisis struktur mikro dengan SEM dilakukan pada sampel yang telah dipoles atau sampel yang tidak dipoles (*fractured specimen*). Sampel yang digunakan di dalam penyelidikan SEM dipersiapkan dengan cara sebagai berikut: Sampel dipotong hingga berukuran kecil dan dipoles dengan mesin polish sampai sampel benar-benar halus permukaannya. Sampel yang telah dibersihkan dan dikeringkan kemudian dilapisi dengan emas untuk imaging atau lapisan karbon untuk analisis elemental dengan EDS.

XRD (*X-ray Diffraction*) merupakan alat yang digunakan untuk mengkarakterisasi struktur kristal, ukuran kristal dari suatu bahan padat. Semua bahan yang mengandung kristal tertentu ketika dianalisa menggunakan XRD akan memunculkan puncak-puncak yang spesifik. Sehingga kelemahan alat ini tidak dapat untuk mengkarakterisasi bahan yang bersifat amorf.

Sifat gelombang dapat diamati menghasilkan gejala interferensi dan difraksi. Gelombang bidang dilenturkan (difraksikan) oleh tiap-tiap celah, sehingga cahaya yang melewati tiap-tiap celah meliputi bidang layar yang lebih luas daripada geometri bayangan celah. Apabila hal ini terjadi intensitas cahaya pada jarak itu maksimum dan sebagai akibatnya, terjadi bayangan terang di layar pada jarak tersebut dan dikenal sebagai peristiwa interferensi maksimum (konstruktif). Interferensi maksimum terjadi pada titik di layar yang selisih jaraknya kedua celah sama dengan panjang gelombang cahaya. Artinya  $X_1$  dan  $X_2$  adalah jarak titik tersebut ke masing-masing celah, maka syarat bagi terjadinya interferensi maksimum adalah  $|X_1 - X_2| = n\lambda$ .

Untuk menentukan tempat-tempat interferensi maksimum pada layar dapat dilakukan dengan cara berikut. Misalkan  $d$  adalah jarak celah satu terhadap lainnya, dan  $D$  jarak kedua celah dengan layar. Jika  $y_n$  adalah jarak pusat layar ke maksimum ke- $n$  maka geometrinya seperti pada Gambar 2.8 berikut ini



**Gambar 2.8** Geometri percobaan dua celah (Krane, 2006)

Lintasan berkas cahaya pertama yang dilewati adalah:

$$X_1^2 = D^2 + \left(\frac{d}{2} + y_n\right)^2$$

Lintasan berkas cahaya kedua yang dilewati adalah:

$$X_2^2 = D^2 + \left(\frac{d}{2} - y_n\right)^2$$

dengan melakukan pengurangan lintasan pertama dan kedua, maka diperoleh beda lintasan, dan diperoleh

$$X_1^2 - X_2^2 = 2y_n d$$

dan

$$y_n = \frac{(X_1 + X_2)(X_1 - X_2)}{2d}$$

Dalam percobaan dengan gelombang cahaya,  $D$  berorde 1 m dan  $y_n$  serta  $d$  paling tinggi 1 mm, jadi  $X_1$  dan  $X_2$  sebanding dengan  $D$  sehingga  $X_1 + X_2 = 2D$ , sehingga

$$y_n = (X_1 - X_2) \frac{D}{d}$$

sehingga menjadi

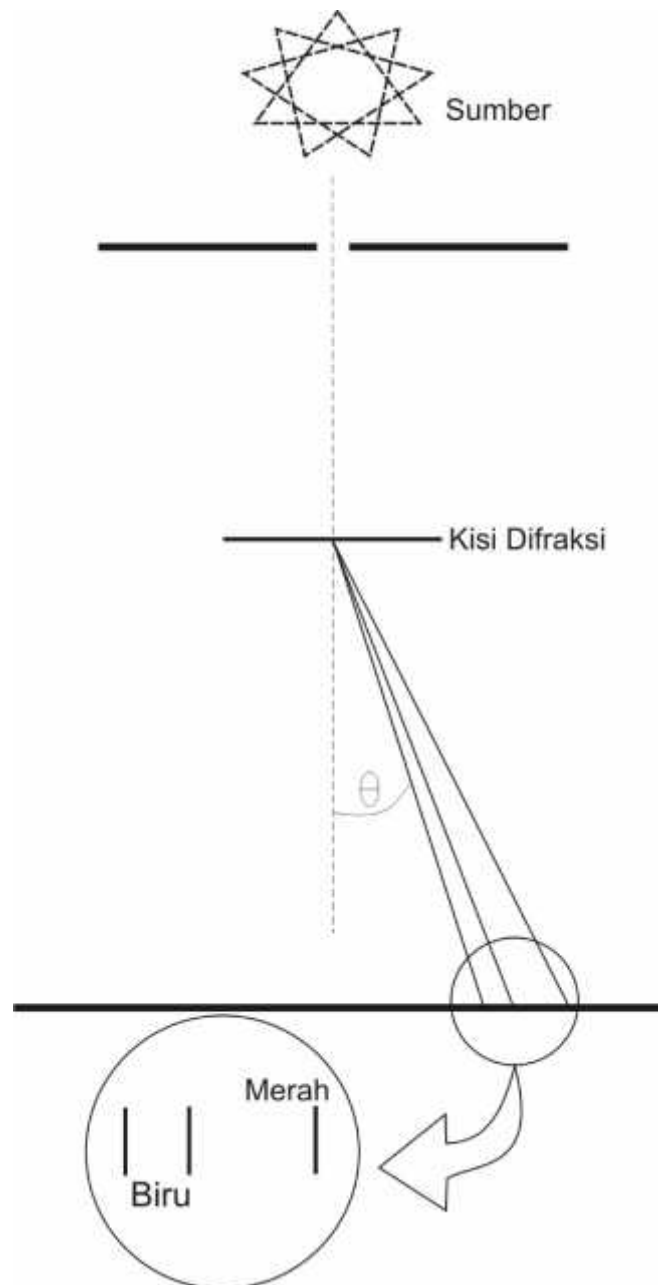
$$y_n = n \frac{\lambda D}{d}$$

Piranti lain untuk mengamati interferensi gelombang cahaya adalah kisi difraksi yaitu piranti penghalang bercelah banyak untuk menghasilkan interferensi gelombang cahaya. Pada Gambar 2.9 dilukiskan cara kerja piranti ini, maksimum-maksimum interferensi berkaitan dengan panjang gelombang berbeda yang muncul pada sudut  $\theta$  berbeda, menurut hubungan

$$d \sin \theta = n \lambda$$

$d$  adalah jarak antar celah  $n$  dan  $n$  bilangan urutan maksimum-maksimum interferensi ( $n = 1, 2, 3, \dots$ )

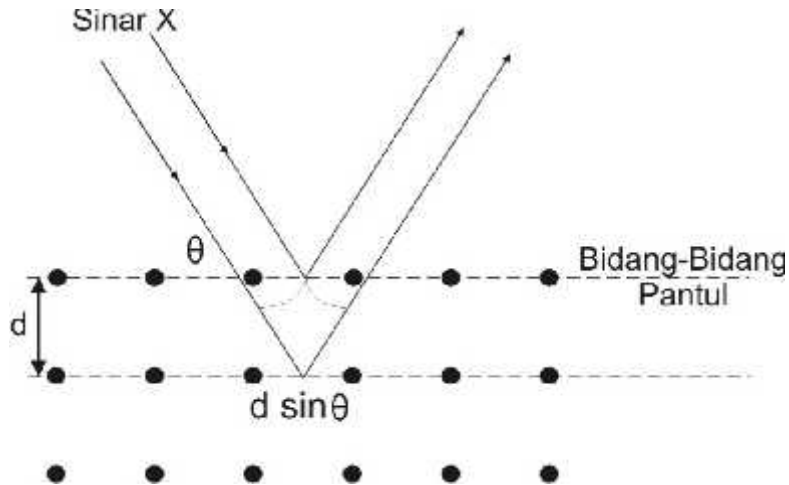
Keuntungan kisi difraksi terletak pada keunggulan resolusinya yang memungkinkan kita memperoleh pemisahan sempurna atas panjang-panjang gelombang yang berdekatan. Jadi, piranti ini sangat bermanfaat untuk mengukur panjang gelombang. Tetapi perlu diperhatikan bahwa untuk memperoleh nilai berarti dari sudut  $\theta$  misalnya  $\sin \theta$  dalam rentang 0,3 hingga 0,5,  $d$  haruslah dalam orde beberapa kali panjang gelombang. Untuk cahaya tampak, hal ini tidak sulit diwujudkan, tetapi untuk radiasi dengan panjang gelombang yang sangat pendek, tidaklah mungkin membuat kisi sekecil  $d$  itu. Sebagai contoh, bagi sinar-X dengan orde panjang gelombang 0,1 nm kita perlu membuat kisi yang jarak antar celahnya lebih kecil daripada 1 nm. Pemecahan masalah diatas telah diketahui sejak percobaan Laue dan Bragg yang menggunakan atom itu sendiri sebagai suatu kisi difraksi.



**Gambar 2.9** Penggunaan kisi difraksi untuk memilah cahaya ke dalam panjang gelombang penyusunnya (Krane, 2006)

Tinjau susunan atom yang diperlihatkan pada Gambar 2.10, yang mewakili sebagian kecil irisan dua dimensi kristal. Masing-masing atom ini akan memantulkan sinar X yang dijatuhkan pada Kristal ke semua arah, namun hanya pada satu arah

tertentu, “riak gelombang” yang dihambur akan berinterferensi sehingga menghasilkan suatu berkas terpantul. Dalam hal ini pantulannya dapat kita pandang terjadi pada suatu bidang yang digambarkan melalui barisaan atom – atom tersebut.



**Gambar 2.10** Suatu berkas sinar X di pantulkan dari sehimpunan bidang kristal berjarak-antara  $d$  (Krane, 2006)

Jika seberkas sinar mengenai bidang Kristal, maka sebagian dari berkas sinar ini akan dipantulkan dan sebagian dibiaskan, sehingga mengalami proses interferensi gelombang seperti pada Gambar 2.10. Dasar penggunaan dari difraksi sinar X untuk mempelajari kisi kristal adalah berdasarkan persamaan *Bragg*:

$$n = 2 d \sin \theta \quad (2-1)$$

di mana  $n = 1, 2, \dots$  dan seterusnya sebagai orde pembiasan yang terjadi

= panjang gelombang sinar- X yang digunakan

$d$  = jarak antara dua bidang kisi,

= sudut antara sinar datang dengan bidang normal

Berdasarkan persamaan (2-7), maka *Bragg* menjelaskan jika seberkas sinar-X dijatuhkan pada sampel kristal, maka bidang kristal itu akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dibiaskan dan akan ditangkap oleh detektor kemudian diterjemahkan sebagai sebuah puncak difraksi. Makin banyak bidang kristal yang terdapat dalam

sampel, makin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkannya. Tiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Penelitian yang dilakukan oleh Zak, *et al* (2007) dengan menggunakan XRD pada penelitian batuan sedimen *paleokarst* untuk menentukan residu batuan yang tidak dapat dilarutkan (*limestone sample slowly dissolved in ~1% HCl*) menunjukkan kuarsa sebagai mineral utama dan *hematite*, *goethite*, *muscovite* dan *kaolinite* sebagai komponen penyertanya..

## **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.

Secara umum penelitian ini ingin mengevaluasi informasi yang diperoleh dari ornamen gua sebagai indikasi perubahan iklim. Untuk itu, tujuan khusus penelitian ini menjawab rumusan masalah di atas seperti yang akan dipaparkan berikut:

1. Mensintesa karakteristik ornamen gua, berupa stalaktit, stalagmit, dan lainnya di Kawasan Karst Maros gua yang terdapat di Kawasan Karst Maros.
2. Menganalisis terjadinya perubahan iklim dengan mineral ornamen gua di Kawasan Karst Maros sebagai indikator utama.

#### **B. Manfaat**

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

##### 1. Pertanian

Hasil penelitian ini dapat digunakan di bidang pertanian untuk melakukan adaptasi terhadap waktu cocok tanam, terutama untuk jenis tanaman yang rentang terhadap musim. Beberapa jenis tanaman palawija perlu dilakukan kajian mendalam, terutama tanaman padi dan sejenisnya.

##### 2. Pariwisata

Hasil penelitian ini menunjukkan bulan dan waktu terjadinya debit air yang besar di Kawasan Karst Maros, sehingga pengunjung wisata dapat memperoleh informasi. Biro perjalanan juga dapat melakukan penyesuaian



terhadap promosi Bantimurung, sehingga dapat memberikan pelayanan maksimal kepada pengunjung wisata.

### 3. PDAM

Salah satu sumber air baku PDAM Kabupaten Maros adalah kawasan karst. Bulan Juli, September dan Oktober adalah bulan-bulan dengan debit air rendah, sehingga PDAM dapat melakukan adaptasi terhadap ketersediaan air di kawasan karst Maros Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung.

### C. Urgensi Penelitian

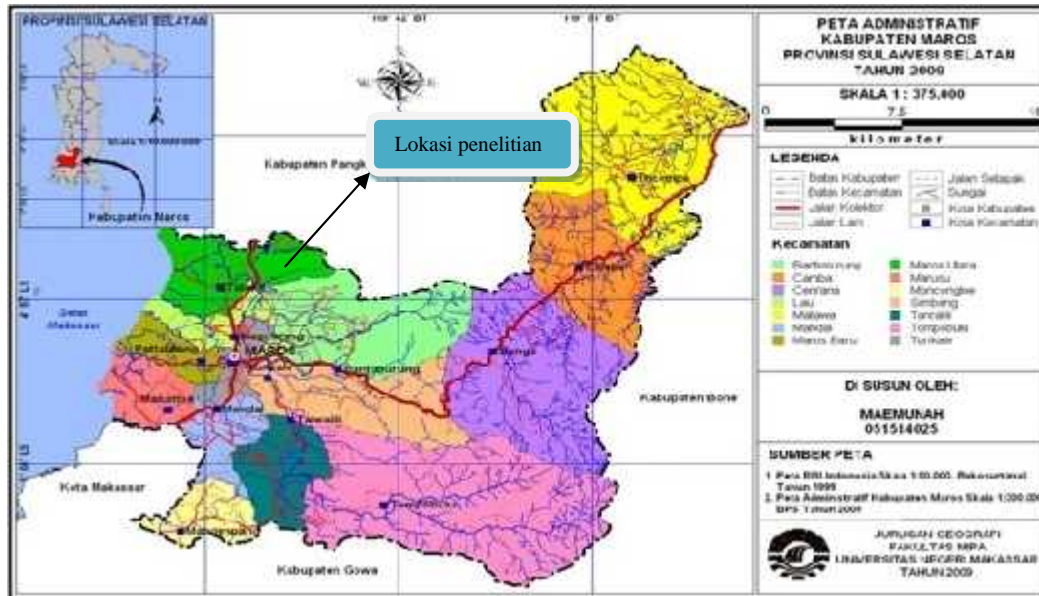
Penelitian ini menghasilkan suatu laporan hasil kajian tentang kondisi gua di Kawasan Karst Maros dengan ornamen yang dimilikinya sebagai informasi awal tentang perubahan iklim. Sehingga akan dapat membantu para pembuat keputusan dan pihak-pihak berwenang (pemerintah dan *stake holder* lainnya) untuk 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 artikel pada *International Seminar on Mathematics, Science, and Computer Science Education* yang dipublikasikan oleh *Faculty of Mathematics and Science Education* UPI Bandung dengan ISBN: 978-602-95549-4-6 dengan judul *Analysis of Characteristics and Clasification of Rainfall in the Maros Karst Region, South Sulawesi* pada halaman 57-62. Hasil penelitian juga dijadikan bahan penulisan buku Ilmu Kebumihan yang diterbitkan oleh Badan Penerbit UNM tahun 2016 pada bab Kawasan Karst Maros.

## BAB IV METODE PENELITIAN

### A. Lokasi Penelitian

Penelitian ini 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.



Gambar 4.1 Lokasi Penelitian

### B. Data dan Pengumpulan Data

Data primer dalam penelitian ini adalah data yang diperoleh dari karakterisasi mineral ornamen. Ornamen gua dalam penelitian ini terwakili masing-masing *stalaktit*, *stalagmite*, *pilar*, dan *flowstone*. Prosedur pengambilan sampel di Gua Mimpi dilakukan dengan melakukan presentasi di Kantor Lingkungan Hidup Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung (TN Babul) dan selanjutnya dilakukan pengambilan sampel ornamen Gua Mimpi yang sebelumnya dilakukan pengurusan surat izin.

Dalam melakukan identifikasi setiap ornamen di Gua Mimpi, maka dilakukan langkah-langkah seperti berikut.

1. Membagi 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  $\pm 750$  m jadi masing-masing zona 250, dimana gua mimpi juga memiliki 3 zona kehidupan gua.

2. Mengidentifikasi setiap ornamen-ornamen Gua Mimpi
3. Menjumlahkan stalakmit pada setiap bagian, termasuk dimensinya.
4. Menjumlahkan stalaktit pada setiap bagian, termasuk dimensinya.
5. Menjumlahkan helektit pada setiap bagian, termasuk dimensinya.
6. menjumlahkan flowstone pada setiap bagian, termasuk dimensinya.
7. Menjumlahkan pilar pada setiap bagian, termasuk dimensinya.

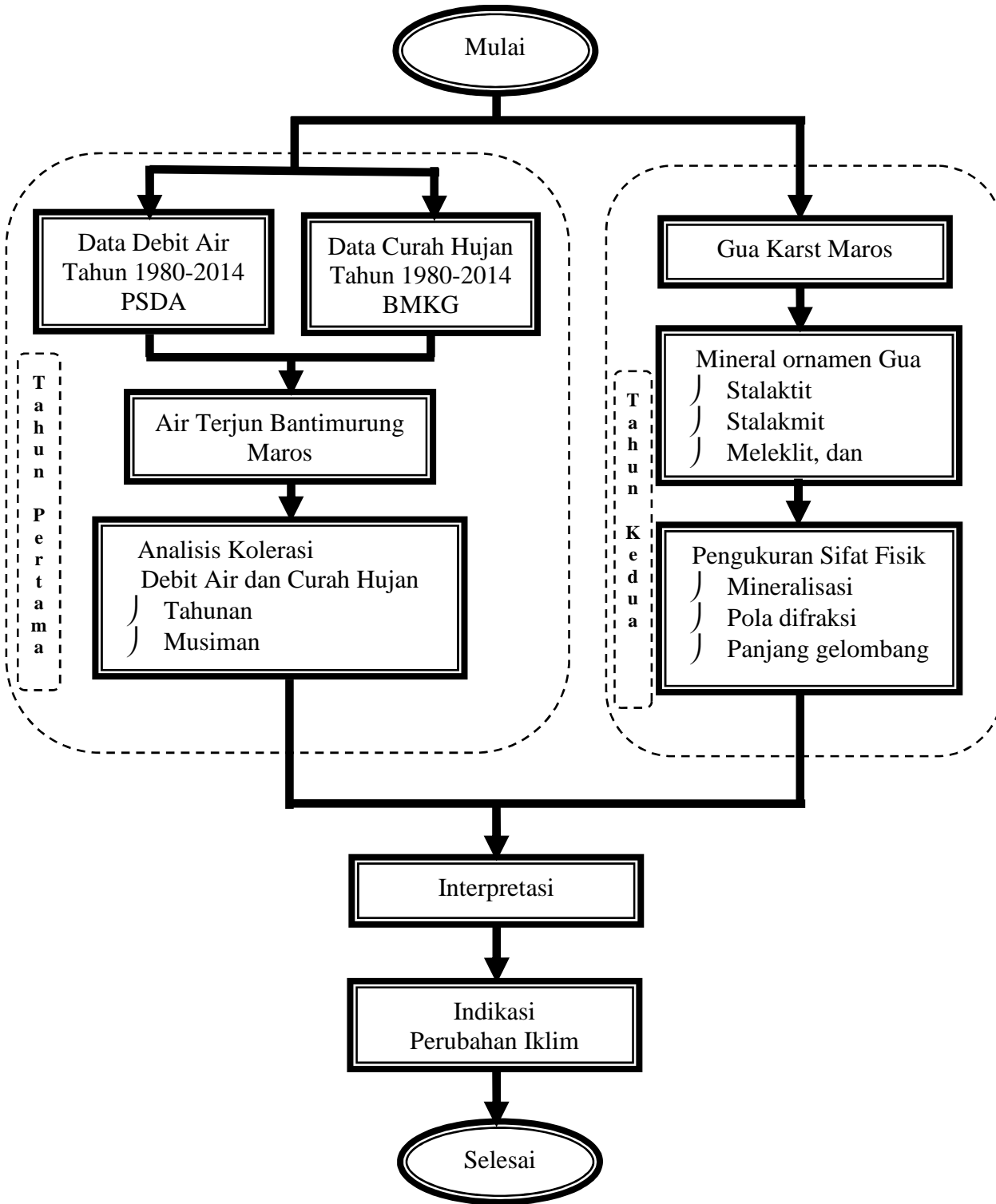
Hasil analisis tersebut akan dikonfirmasi dengan observasi langsung dengan menggunakan lup untuk mengamati ukuran (*size*) setiap mineral. Jika dalam pertumbuhan mineral tersebut terlihat dengan jelas ukuran mineral pada dua selang waktu yang berbeda tetapi tumbuh dan berkembang secara berdekatan, maka pertumbuhan itu ditentukan oleh jenis musim. Jenis musim yang dimaksud adalah musim penghujan dan musim kemarau.

### **C. Analisis Data**

Analisis Mineral Ornamen Gua Karst dilakukan langkah-langkah seperti berikut:

- a) 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 menganalisis topografi/morfologi sampel dengan menggunakan alat SEM Vega3 *Tescan*.
- b) Dengan cara yang sama seperti diatas, sampel disiapkan pada kaca preparat untuk selanjutnya dilakukan karakterisasi difraksi sinar-x untuk menganalisis struktur kristal yang terkandung di dalam sampel dengan menggunakan alat karakterisasi XRD (*X-Ray Diffraction*) merk Rigaku Miniflex II.

#### D. Diagram Alir Penelitian

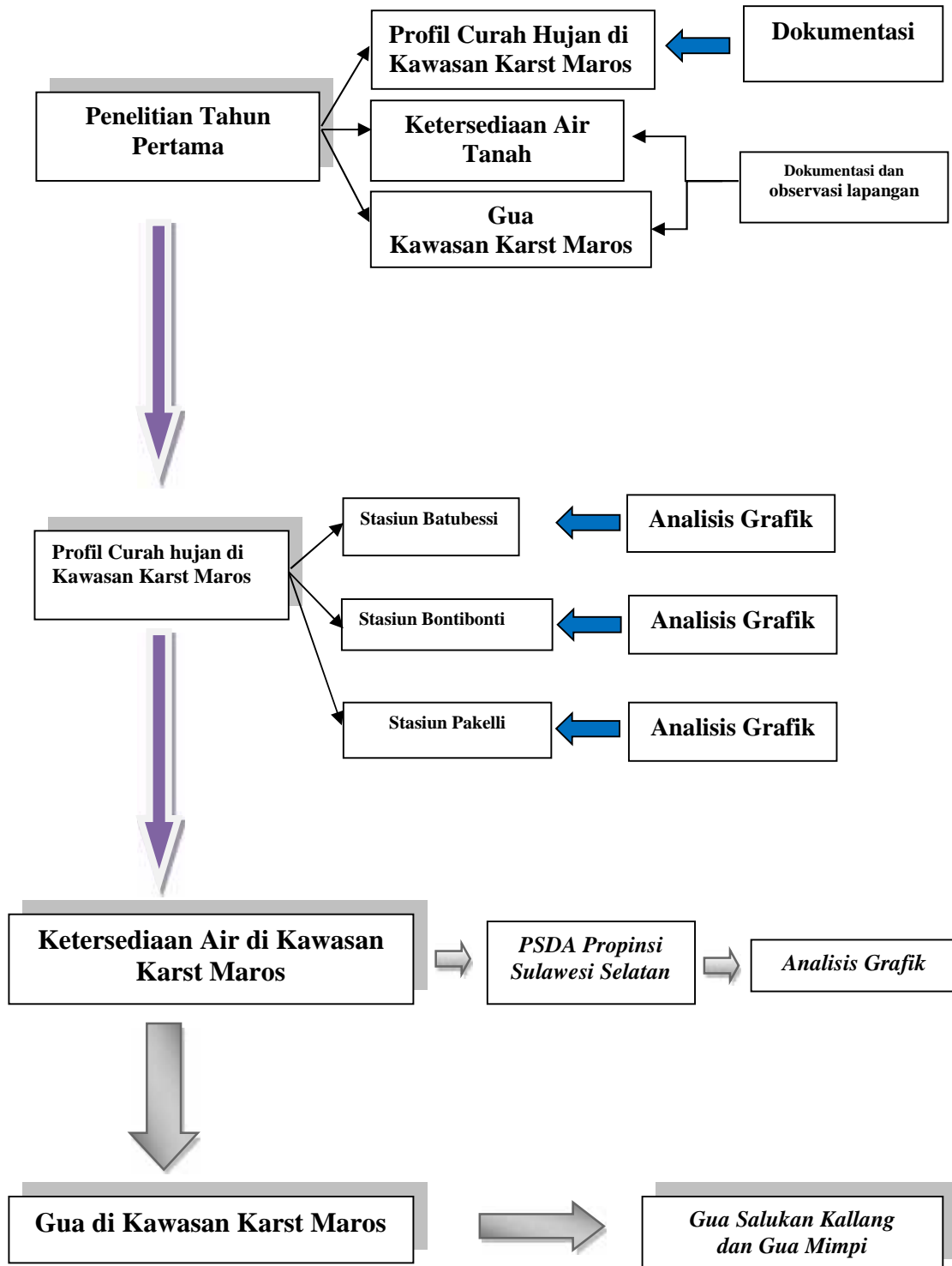


Gambar 4.2 Diagram Alir Penelitian

### 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.

#### E. Alur Penelitian pada Tahun I



Gambar 4.3 Alur Penelitian tahun I

## **BAB V**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **A. Hasil Penelitian**

##### **1. Karakteristik ornamen Gua Mimpi di Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung Kawasan Karst Maros**

Gua Mimpi terletak di sebelah selatan permandian alam Bantimurung Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung. Pejalan kaki membutuhkan waktu sekitar 1,5 jam, medannya agak berat melewati jalan rintisan dengan kemiringan/elevasi yang bervariasi mulai dari 30<sup>0</sup>– 60<sup>0</sup> 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 °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 seperti Gambar 5.1.



**Gambar 5.1** Mulut Gua Mimpi (Arsyad.2017)

Mulut Gua Mimpi pada Gambar 5.1, jika diambil gambarnya akan menghasilkan citra yang beragam, karena asupan cahaya yang masuk memiliki intensitas yang berbeda untuk setiap waktunya. Setelah menelusuri gua yang panjang itu dengan menggunakan lampu senter dan petromaks, maka *traveller* akan sampai pada ujung gua dengan melihat penampakan cahaya yang temaram. Cahaya yang muncul makin lama makin terang dan sampai pada Gambar 5.2.



**Gambar 5.2** Pintu keluar Gua Mimpi (Arsyad, 2017)

Gua mimpi memiliki banyak ornamen-ornamen gua yang menarik serta menakjubkan. Dipintu masuk dapat dilihat sebuah mahakarya nan elok dari Sang Pencipta berupa keindahan stalaktit, stalagmit, *flowstone*, pilar, dan helektit.

#### **a. Stalaktit**

Stalaktit adalah ornamen Gua yang tumbuh pada bagian langit-langit Gua. Proses pertumbuhan Stalaktit terjadi karena penetrasi air melalui celah setelah terjadi retakan medium dalam waktu yang lama. Proses ini membutuhkan gaya eksternal sebagai gaya pendorong berupa gaya gravitasi dan dalam batas tertentu sangat terbatas. Akibatnya dalam kondisi tertentu, jumlah partikel air yang melalui celah sangat terbatas dan pada akhirnya malahan berhenti pasokan tersebut, sehingga air tadi mengkilat berupa padatan. Perhatikan Gambar 5.3.





**Gambar 5.3** Stalaktit (Arsyad. 2017)

Pada Gambar 5.3 terlihat Stalaktit yang berwarna agak kecoklatan adalah jenis *speleothem* (mineral sekunder) yang menggantung dari langit-langit Gua kapur. Stalaktit termasuk dalam jenis batu tetes (*dripstone*). Stalaktit terbentuk dari pengendapan kalsium karbonat dan mineral lainnya, yang terendapkan pada larutan air bermineral. Batu kapur adalah batuan kalsium karbonat, yang dilarutkan oleh air mengandung karbon dioksida, sehingga membentuk larutan kalsium bikarbonat.

**b. Stalakmit**



**Gambar 5. 4** Stalakmit (Arsyad. 2017)

Pada Gambar 5.4, adalah Stalakmit yang berwarna coklat keputihan dengan butiran sedang (medium). Stalakmit adalah jenis *speleothem* (mineral sekunder) yang membentuk suatu gundukan di lantai Gua. Stalakmit terbentuk karena tetesan air dari atas langit-langit Gua yang mengandung mineral, dan secara terus-menerus jatuh ke lantai Gua. Tetesan yang jatuh ke bawah lantai Gua tersebut terus mengendapkan material, dan membangun suatu gundukan ornamen. Kemudian dia tumbuh sebagai bentuk silinder yang semakin tinggi. Radius pertumbuhannya dibatasi oleh tingkat tetesan karena sangat menurunnya tingkat jenuh air atau penguapan sempurna lapisan tipis embun yang tersebar di sekitar titik jatuhnya. Diameter yang seragam menunjukkan bahwa adanya kondisi yang konstan selama periode waktu yang panjang.

### c. Flowstone



**Gambar 5.5** *Flowstone* (Arsyad, dkk, 2017)

Pada Gambar 5.5 adalah *Flowstone* yang memiliki karakteristik berwarna coklat putih mengkilap dan berbentuk seperti air yang mengalir pada bebatuan dengan ukuran besar dan tinggi. *Flowstone* dengan komposisi kalsit yang terdeposisi memiliki berbagai macam warna yaitu kuning keemasan dan abu-abu. *Flowstone*

terbentuk dari milyaran tetesan air yang mengalir dan menyelubungi bongkahan batu. Di mana pendinginannya sangat lambat (dapat mencapai jutaan tahun), yang memungkinkan tumbuhnya kristal-kristal yang besar dan sempurna bentuknya. (Hadria.2012)

**d. Pilar**



**Gambar 5.6** Pilar (Arsyad. 2017)

Pada Gambar 5.6 terlihat Pilar berwarna coklat kehitaman dan memanjang merupakan hasil pertemuan endapan antara stalaktit dan stalakmit membentuk tiang yang akhirnya menghubungkan stalaktit dan stalakmit menjadi satu. Terlihat jelas bahwa pilar tersebut masih muda karena masih memiliki tetesan air serta warnanya yang masih mengkilap atau coklat.

#### e. Helektit



**Gambar 5.7** Helektit (Arsyad, 2017)

Pada Gambar 5.7 terlihat Helektit yang terbentuk dari tetesan air mengalir melalui alur kecil sebagai akibat gaya kapiler. Pembentukan dekorasi ini menyalahi gravitasi bumi. Dapat dilihat jelas helektit yang berukuran kecil dan tidak beraturan, bentuknya ada yang bercabang dan ada juga yang berpilin ke segala arah dengan warna coklat dan hitam. Memiliki bentuk seperti sirip ikan hiu yang disebut dengan *Draperies*.

## **2. Karakteristik Mineral Ornamen Gua di Taman Nasional Bulusaraung Bantimurung Kawasan Karst Maros sebagai Indikasi Perubahan Iklim**

Dari hasil penelusuran di lokasi penelitian, maka stalaktit Gua Mimpi terbentuk dari tetesan air dari atap Gua yang mengandung kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) membentuk kerucut menggantung di atas langit-langit Gua. Stalaktit Gua Mimpi ada yang masih tumbuh dan ada yang sudah stagnan pertumbuhannya. Stalakmit Gua Mimpi berbentuk bulat dan tumbuh di lantai gua dan merupakan pasangan dari stalaktit. Stalakmit yang tumbuh di lantai gua karena hasil tetesan air dari atas langit-

langit gua. Stalaktit dan Stalakmit adalah bentukan alam khas daerah karst. Stalaktit dan Stalakmit terbentuk akibat dari proses pelarutan air di daerah kapur yang berlangsung secara terus menerus. Air yang larut di daerah karst akan masuk ke lubang-lubang (*doline*) kemudian turun ke gua dan menetes secara perlahan dari atap ke dasar lantai. Tetesan air ini akan berubah menjadi batuan yang bentuknya runcing-runcing seperti tetesan air. Di mana jumlah stalakmit pada Gua Mimpi adalah 12 dari zona 1-3.

Untuk helektit berukuran kecil dan tidak beraturan, bentuknya ada yang bercabang dan ada juga berpilin ke segala arah. Di mana pada helektit Gua Mimpi banyak helektit berwarna coklat dan masih basah atau dapat dikatakan helektit ini masih bisa tumbuh dibandingkan stalakmit yang lebih banyak rapuh dengan warna abu-abu atau tidak bisa tumbuh. Dimana jumlah pilar pada gua mimpi adalah 7 dari zona 1-3.

Untuk *flowstone* Gua Mimpi berasal dari milyaran tetesan air yang mengalir dengan bentuk bulat pada lorong gua yang berada di lantai gua. Berdasarkan penelitian dari zona 1-3 *flowstone* yang ada di Gua Mimpi hanya sedikit jumlahnya yakni 3, ini dikarenakan pendinginannya sangat lambat (dapat mencapai jutaan tahun).

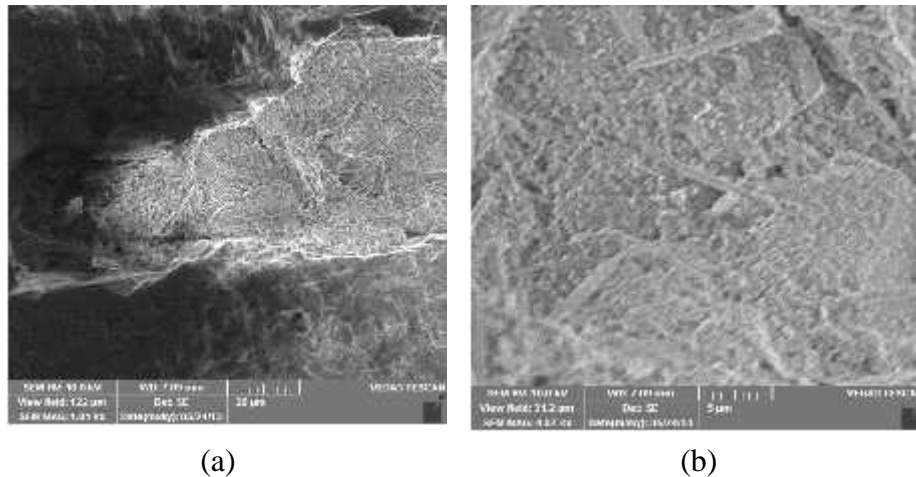
Sedangkan pilar pada Gua Mimpi merupakan hasil pertemuan endapan antara stalaktit dan stalakmit berbentuk tiang menghubungkan stalaktit dan stalakmit menjadi satu. Berdasarkan penelitian dari zona 1-3 pilar yang ada di gua mimpi ada 7 pilar, di mana ada pilar panjang dan pendek. Ini dikarenakan pertumbuhan pilar yang berbeda. Ada yang sudah lama tumbuh dan akhirnya rapuh sehingga warnanyapun ikut berubah dan ada pilar muda dengan warnanya yang coklat dengan tetesan air di ujung pilar dan pilar ini dikatakan masih aktif atau berfungsi.

**a. Karakterisasi Struktur Morfologi (bentuk kristal) dan Topografi (bentuk permukaan) dengan EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*)**

Dari ornamen Gua Mimpi yang telah diungkapkan sebelumnya, maka ornamen tersebut selanjutnya dilakukan karakterisasi struktur morfologi dan topografi yang dijelaskan berturut-turut seperti berikut.

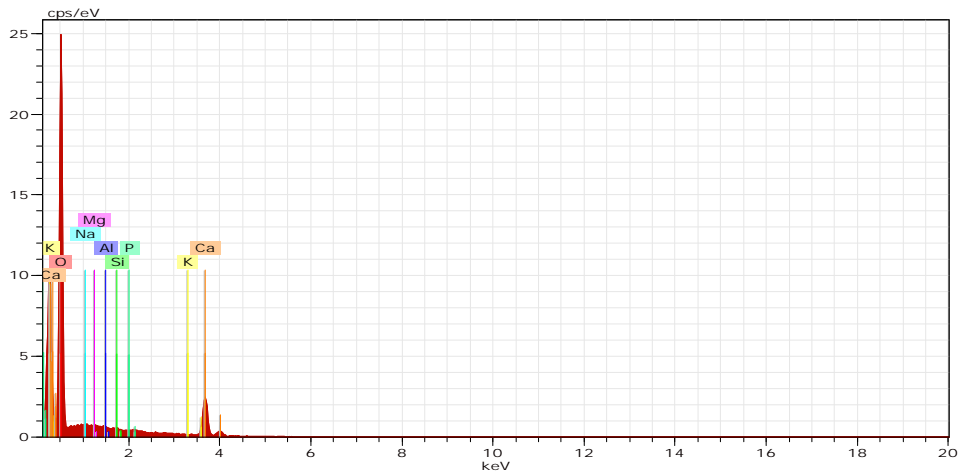
**1) Stalaktit**

Hasil *scanning* diperlihatkan seperti Gambar 5.8. Gambar 5.8 (a) dan (b) memperlihatkan hasil karakterisasi SEM stalaktit dengan skala 20  $\mu\text{m}$  dan 5  $\mu\text{m}$ , menggunakan detektor SE, dan HV sebesar 10 kV. Tampak struktur permukaan stalaktit yang tidak halus. Warna yang agak hitam di bagian tepi pada Gambar 5.8 (a) dan (b) warnanya terlihat lebih cerah.



Gambar 5.8 (a) Struktur morfologi dan topografi Stalaktit pada skala 20  $\mu\text{m}$ , dan (b) Stalaktit pada skala 5  $\mu\text{m}$  dengan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Partikel-partikel penyusunnya sangat rapat sehingga tidak ada terlihat pori-pori yang berlubang. Struktur atomnya tidak teratur antara satu dengan yang lain. Sedangkan Grafik spektrum dari sampel seperti pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Grafik Spektrum hasil uji EDS sampel Stalaktit

Gambar 5.9 memperlihatkan hasil analisis EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) memberikan informasi mengenai komposisi sampel stalaktit tersebut sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 5.1. Dari hasil pengukuran unsur pembentuk stalaktit dengan komposisi kimia oksida yang paling tinggi adalah Calcium CaO sebesar 42,44 wt% dan komposisi senyawa kimia yang paling rendah adalah Pottasium ( $K_2O$ ) sebesar 1,73 wt% seperti Tabel 5.1.

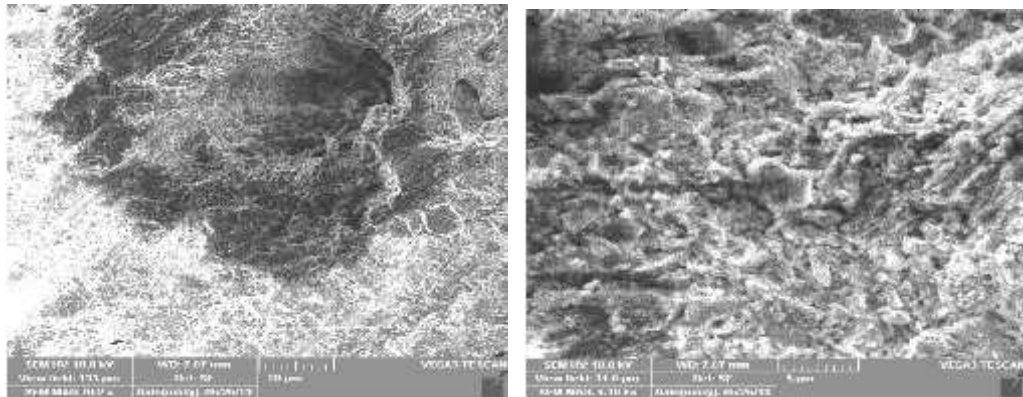
Tabel 5.1 Spektrum EDS sampel Stalaktit

Element	Unn.C [wt.%]	Norm.C [wt.%]	Atom.C [at.%]	Compound norm.	Comp. C Error [wt.%]	(3 Sigma) [wt.%]
Oxygen	26,93	36,03	52,19		0.00	9,76
Silicon	3,07	4,1	3,39	SiO <sub>2</sub>	8.78	0.59
Aluminium	4,62	6,19	5,31	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.69	0.91
Sodium	7,97	10,66	10,75	Na <sub>2</sub> O	14.37	1.89
Magnesium	5,66	7,57	7,22	MgO	12.56	1.21
Potassium	1,07	1,43	0,85	K <sub>2</sub> O	1.73	0.28
Calcium	22,67	30,33	17,54	CaO	42.44	2.28
Phosphorus	2,76	3,69	2,67	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	8.45	0.53
Total	74,74	100	100			

Sumber: Data Primer Terolah (2017)

## 2) Stalakmit

Hasil *scanning* diperlihatkan seperti Gambar 4.10. Gambar 4.10 (a) dan (b) memperlihatkan hasil karakterisasi SEM stalaktit dengan skala 20 $\mu$ m dan 5 $\mu$ m, menggunakan detektor SE, dan HV sebesar 10 kV. Tampak struktur permukaan stalaktit yang tidak halus. Warna yang agak gelap dan berlubang-lubang.

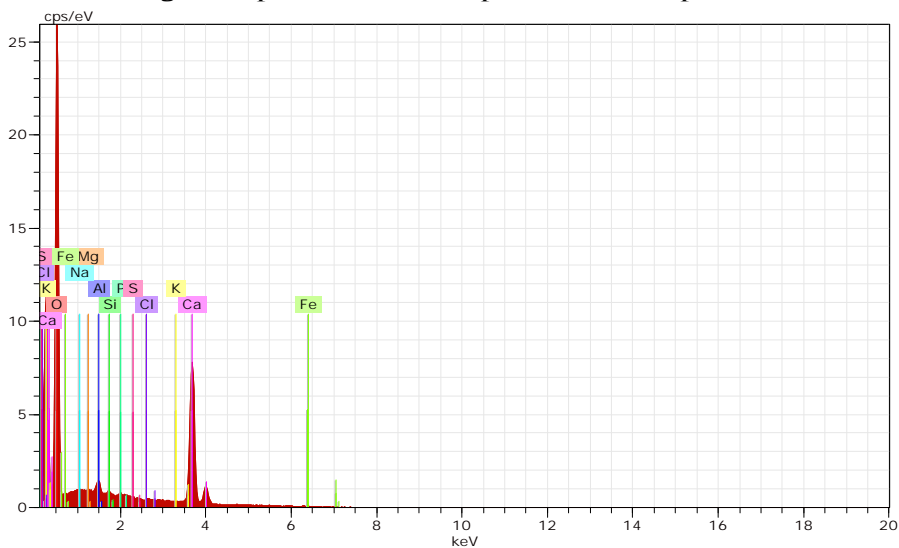


(a)

(b)

Gambar 5.10 (a) Struktur morfologi dan topografi Stalagmit pada skala 5  $\mu$ m, (b) Stalagmit pada skala 20  $\mu$ m dengan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Berikut adalah grafik spektrum dari sampel stalakmit seperti Gambar 5.11.



Gambar 4.11 Grafik Spektrum hasil uji EDS sampel Stalakmit



Gambar 5.11, memperlihatkan hasil analisis EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) memberikan informasi mengenai komposisi sampel stalakmit tersebut sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 5.2. Dari hasil pengukuran terlihat bahwa unsur pembentuk stalakmit dengan komposisi kimia yang paling tinggi adalah Calcium CaO sebesar 59.05 wt% dan komposisi senyawa kimia yang paling rendah adalah Iron (FeO) 0,12 wt%.

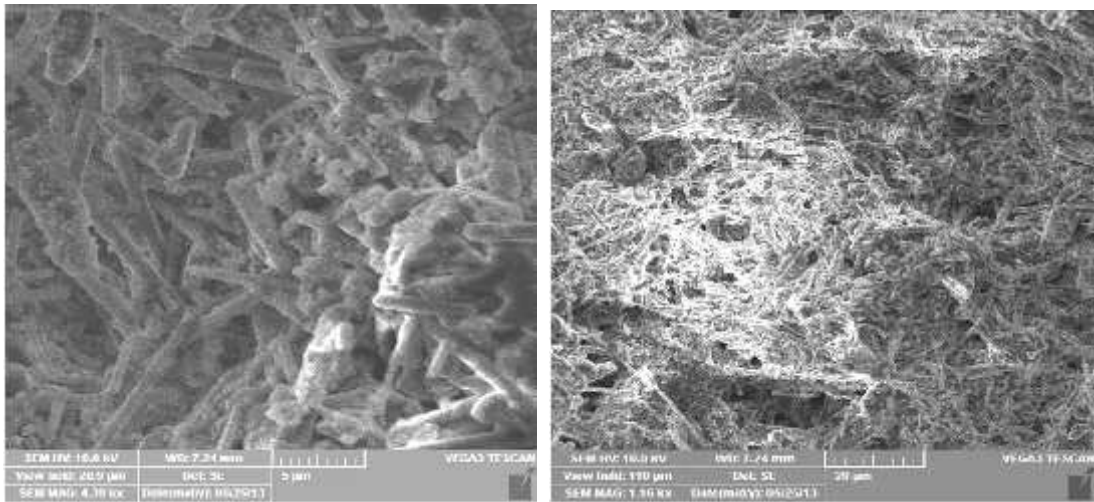
Tabel 5.2 Spektrum EDS sampel Stalakmit

Element	Unn.C [wt.%]	Norm.C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Compound norm.	Comp. C Error [wt.%]	(3 Sigma) [wt.%]
Oxygen	27.71	34.16	52.48		0.00	9.99
Silicon	1.86	2.29	2.00	SiO <sub>2</sub>	4.90	0.37
Aluminium	4.11	5.07	4.62	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.57	0.75
Sodium	4.77	5.88	6.28	Na <sub>2</sub> O	7.92	1.14
Calcium	34.25	42.21	25.89	CaO	59.05	3.18
Potassium	0.95	1.17	0.74	K <sub>2</sub> O	1.42	0.22
Magnesium	3.23	3.98	4.03	MgO	6.61	0.71
Phosphorus	1.88	2.31	1.84	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5.30	0.36
Chlorine	1.07	1.32	0.91		1.32	0.24
Sulfur	1.23	1.52		SO <sub>3</sub>	3.79	0.27
Iron	0,08	0.10	0.04	FeO	0.12	0.13
Total	81,14	100	100			

Sumber: Data primer terolah (2017)

### 3) Pilar

Pilar mempunyai morfologi berbentuk tiang, terlihat jelas tekstur permukaan berwarna coklat putih mengkilap dan bentuknya berkeriput. Ukuran butir *fine* dan *medium* yang terbentuk dari sementasi fragmen-fragmen yang bersifat sedang (medium) dan memiliki butiran-butiran kristal. Warna yang lebih cerah (putih mengkilap) menyatakan unsur atom dengan nomor atom yang lebih tinggi. Partikel CaO sintesis tampak homogen sebagai partikel padat berukuran lebih besar dengan ukuran rata-rata.



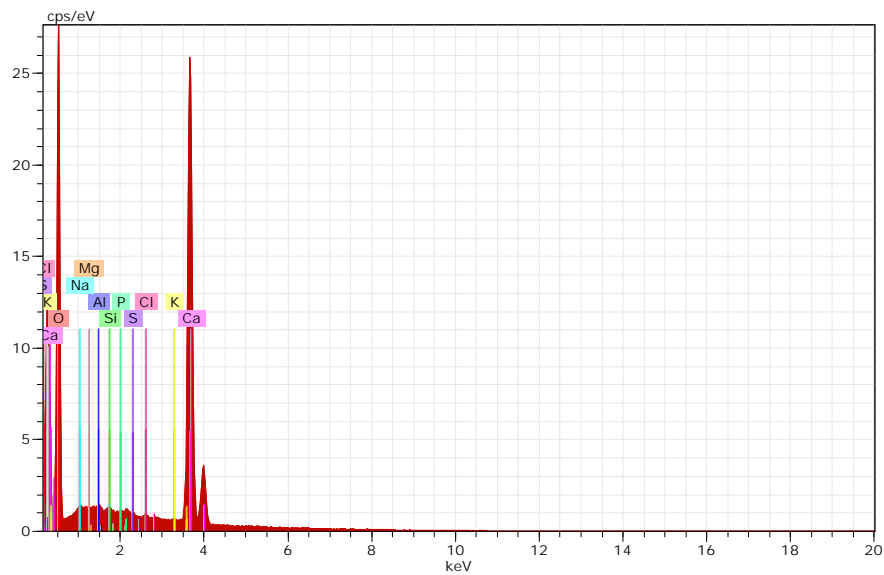
(a)

(b)

**Gambar 5.12** (a) Struktur morfologi dan topografi Pilar pada skala 5  $\mu\text{m}$ , dan (b) Pilar pada skala 20  $\mu\text{m}$  dengan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Gambar 5.12 (a) dan (b) memperlihatkan hasil karakterisasi SEM Pilar dengan skala 20 $\mu$  dan 5 $\mu$ , menggunakan detector SE, dan HV sebesar 10 kV.

Spektrum Kristal dari sampel Pilar dapat dilihat pada Gambar 5.13.



**Gambar 5.13** Grafik Spektrum hasil uji EDS sampel Pilar

Pada Gambar 5.13 adalah Grafik Spektrum hasil uji EDS sampel pilar memperlihatkan hasil analisis EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) memberikan informasi mengenai komposisi sampel pilar tersebut sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 5.3.

**Tabel 5.3** Spektrum EDS sampel Pilar

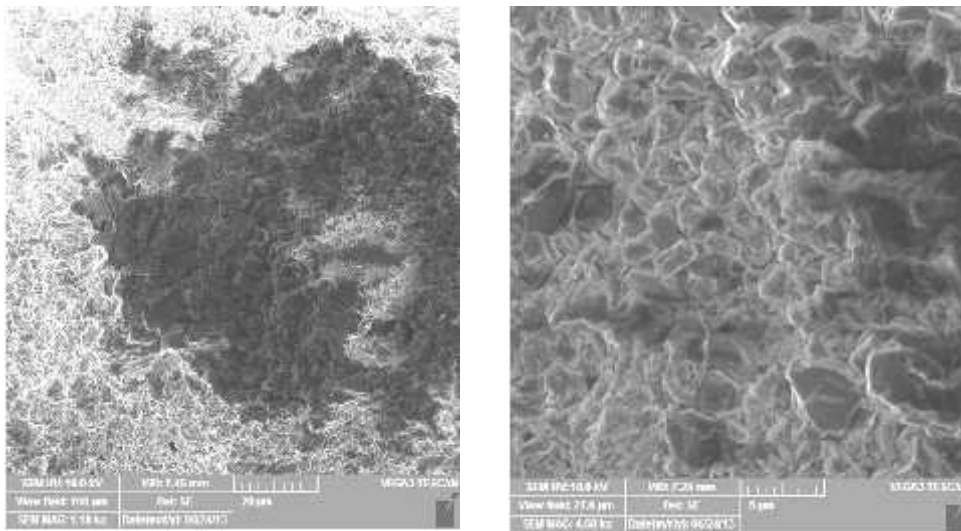
Element	Unn.C [wt.%]	Norm.C [wt.%]	Atom.C [at.%]	Compound norm.	Comp. C Error [wt.%]	(3 Sigma) [wt.%]
<b>Oxygen</b>	23.77	30.70	50.65		0.00	8.57
<b>Silicon</b>	0.78	1.01	0.95	SiO <sub>2</sub>	2.16	0.20
<b>Aluminium</b>	1.26	1.63	1.59	Al <sub>2</sub> O	3.07	0.29
<b>Sodium</b>	2.69	3.47	3.98	Na <sub>2</sub> O	4.67	0.66
<b>Calcium</b>	44.99	58.11	38.27	CaO	81.30	4.05
<b>Potassium</b>	0.61	0.78	0.53	K <sub>2</sub> O	0.94	0.16
<b>Magnesium</b>	1.51	1.95	2.12	MgO	3.24	0.37
<b>Phosphorus</b>	0.74	0.95	0.81	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.19	0.19
<b>Sulfur</b>	0.53	0.68	0.56	SO <sub>3</sub>	1.70	0.16
<b>Chlorine</b>	0.55	0.72	0.53		0.72	0.16
<b>Total</b>	7.43	100.00	100.00			

Sumber: Data primer terolah, 2017

Dari hasil pengukuran diketahui bahwa unsur pembentuk pilar dengan komposisi kimia yang paling tinggi adalah Calcium CaO sebesar 81,30 wt%. Selain Calcium CaO terdapat senyawa kimia Sodium (Na<sub>2</sub>O) sebesar 4,67 wt%, Magnesium (MgO) sebesar 3,24 wt%, Aluminium (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) sebesar 3,07 wt%, Phosphorus (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) sebesar 2,19 wt%, Silicon (SiO<sub>2</sub>) sebesar 2,16 wt%, Sulfur (SO<sub>3</sub>) sebesar 1,70 wt% , Pottasium (K<sub>2</sub>O) sebesar 0,94 wt%, dan komposisi senyawa kimia yang paling rendah adalah Chlorine sebesar 0,72 wt% .

#### 4) Batuan

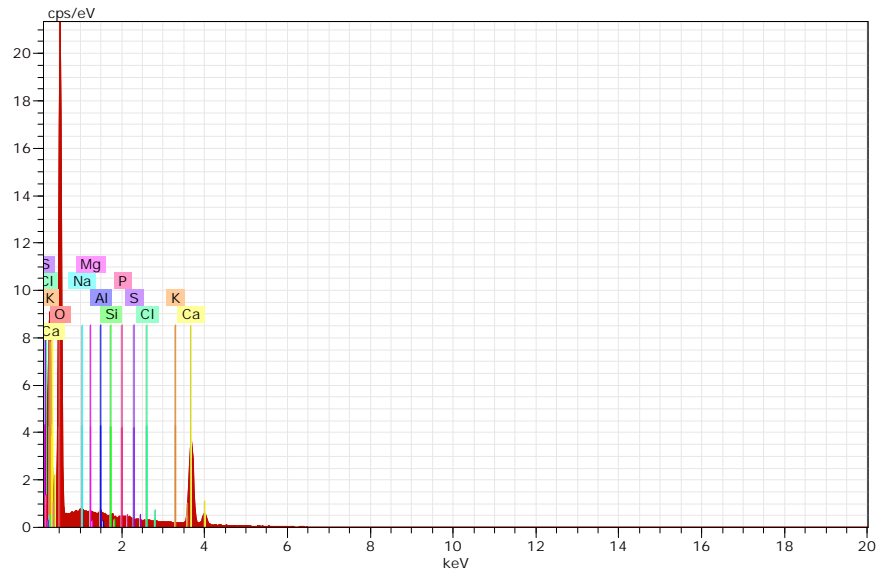
Batuan yang banyak terdapat di Gua Mimpi adalah batu kapur. Warnanya putih bersih dan sedikit ada corak kuning. Tekstur batuan ukuran butir halus memiliki komposisi yang terdiri dari mineral kalsit dan/atau aragonit. Mineral pembentuk batuan sedimen didominasi oleh kwarsa maka batuan akan berwarna putih.



(a) (b)  
**Gambar 5.13** (a) Struktur morfologi dan topografi Batuan pada skala 5 μm, (b) Batuan pada skala 20 μm dengan menggunakan SEM

Gambar 5.13 memperlihatkan hasil karakterisasi SEM pada sampel batu dengan skala 20μ dan 5μ, dengan menggunakan detector SE, dan HV sebesar 10 kV. Tampak struktur permukaan terlihat halus dan rata. Sampel ini juga belum membentuk partikel yang beraturan sehingga jarak antar partikelnya juga belum terbentuk di semua bagian pada permukaan. Warna pada permukaannya juga masih belum homogen dimana terdapat beberapa bagian yang berwarna abu-abu terang dan terdapat pula warna abu-abu yang lebih gelap.

Spektrum Kristal dari sampel batu kapur dapat dilihat seperti pada Gambar 4.14.



**Gambar 5.14** Grafik Spektrum hasil uji EDS sampel Batu

Gambar 5.14 Grafik Spektrum hasil uji EDS sampel batu memperlihatkan hasil analisis EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) memberikan informasi mengenai komposisi sampel batu tersebut sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 5.4.

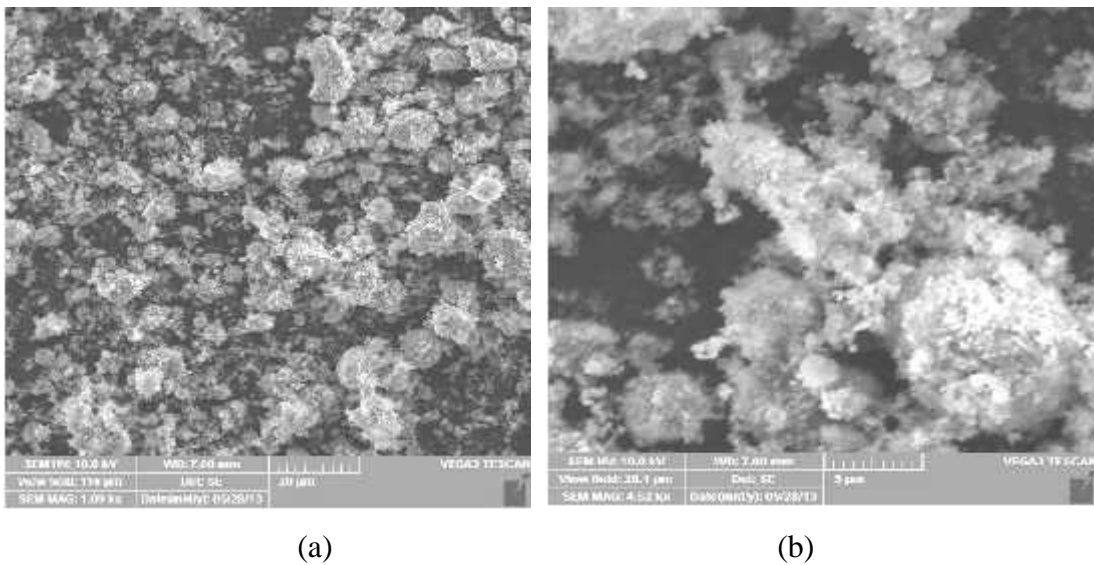
**Tabel 5.4** Spektrum EDS sampel Batuan

Element	Unn.C [wt.%]	Norm.C [wt.%]	Atom.C [at.%]	Compound norm.	Comp. C Error [wt.%]	(3 Sigma) [wt.%]
Oxygen	32.35	35.05	52.39		0.00	11.85
Silicon	2.56	2.77	2.36	SiO <sub>2</sub>	5.94	0.52
Aluminium	4.34	4.71	4.17	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.89	0.86
Sodium	7.58	8.21	8.54	Na <sub>2</sub> O	11.06	1.81
Magnesium	5.15	5.58	5.49	MgO	9.26	1.11
Calcium	32.68	35.42	21.13	CaO	49.55	3.15
Potassium	1.36	1.47	0.90	K <sub>2</sub> O	1.78	0.31
Chlorine	1.75	1.89	1.28		1.89	0.36
Sulfur	1.82	1.97	1.47	SO <sub>3</sub>	4.92	0.38
Phosphorus	2.70	2.93	2.26	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	6.71	0.52
Total	92.29	100.00	100.00			

Dari hasil pengukuran diketahui bahwa unsur pembentuk batu dengan komposisi kimia yang paling tinggi adalah Calcium CaO sebesar 49,55 wt%. Selain Calcium CaO terdapat senyawa kimia Sodium ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) sebesar 11,06 wt%, Magnesium ( $\text{MgO}$ ) sebesar 9,26 wt%, Aluminium ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) sebesar 8,89 wt%, Phosphorus ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) sebesar 6,71 wt%, Silicon ( $\text{SiO}_2$ ) sebesar 5,94 wt%, Sulfur ( $\text{SO}_3$ ) sebesar 4,92 wt%, Chlorine sebesar 1,89 wt%. dan komposisi senyawa kimia yang paling rendah adalah Pottasium ( $\text{K}_2\text{O}$ ) sebesar 1,78 wt%,

### 5) Tanah

Tanah merupakan jenis material yang terdapat di setiap sudut Gua Mimpi. Terlihat pada morfologi tanah berwarna coklat kemerahan memiliki pori-pori halus berisi air kapiler atau udara. Tanah dengan banyak pori-pori halus kulit tidak dapat menahan air sehingga mudah lembab.

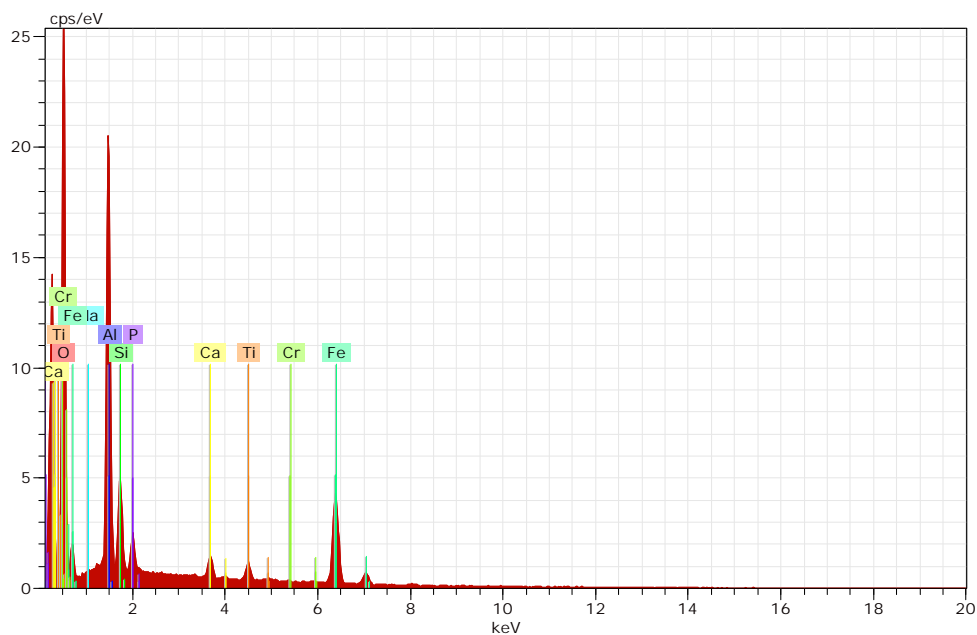


Gambar 5.15 (a) Struktur morfologi dan topografi tanah pada skala 5 µm  
(b) Tanah pada skala 20 µm dengan menggunakan SEM

Gambar 5.15 (a) dan (b) memperlihatkan hasil karakterisasi SEM Tanah dengan skala 20µ dan 5µ, menggunakan detector SE, dan HV sebesar 10 kV. Tampak struktur permukaan berupa butiran dengan ukuran yang bervariasi. Terlihat volume

butiran kecil lebih banyak dibandingkan dengan butiran besar. Warna yang agak hitam dan putih menyatakan unsur atom dengan nomor atom yang lebih tinggi. Partikel-partikel tampak homogen sebagai partikel padat berukuran besar dengan ukuran rata-rata. Pori-pori yang dimiliki juga tidak begitu rapat sehingga banyak oksigen yang masuk.

Spektrum dari sampel tanah seperti Gambar 4.15.



**Gambar 5.15** Grafik Spektrum hasil uji EDS sampel Tanah

Gambar 5.15 Grafik Spektrum sampel tanah memperlihatkan hasil analisis EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) memberikan informasi mengenai komposisi sampel tanah tersebut sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 5.5.

Dari hasil pengukuran diketahui bahwa unsur yang terkandung dalam sampel tanah tersebut dengan komposisi kimia yang paling tinggi adalah Aluminium ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) sebesar 8,89 wt%, Selain Aluminium ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) terdapat senyawa kimia Iron (FeO) sebesar 28,37 wt%, Silicon ( $\text{SiO}_2$ ) sebesar 11,50 wt%, Phosphorus ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) sebesar 5,92 wt%, Titanium ( $\text{TiO}_2$ ) sebesar 3,33 wt%, Calcium CaO sebesar 49,55 wt%.

Sodium ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) sebesar 0,72 wt%., dan komposisi senyawa kimia yang paling rendah adalah Chromium sebesar 0,09 wt%, seperti Tabel 5.5.

**Tabel 5. 5** Spektrum EDS sampel Tanah

Element	Unn.C [wt.%]	Norm.C [wt.%]	Atom.C [at.%]	Compound norm.	Comp. C Error [wt.%]	(3 Sigma) [wt.%]
Oxygen	20.74	40.42	59.59		0.00	7.50
Silicon	2.76	5.38	4.52	$\text{SiO}_2$	11.50	0.45
Aluminium	12.89	25.13	21.97	$\text{Al}_2\text{O}_3$	47.47	1.94
Sodium	0.27	0.53	0.55	$\text{Na}_2\text{O}$	0.72	0.16
Calcium	0.95	1.85	1.09	$\text{CaO}$	2.59	0.18
Titanium	1.02	2.00	0.98	$\text{Ti}_2\text{O}$	3.33	0.19
Iron	11.31	22.05	9.31	$\text{FeO}$	28.37	1.03
Phosphorus	1.33	2.58	1.97	$\text{P}_2\text{O}_5$	5.92	0.25
Chromium	0.03	0.06	0.03		0.09	0.09
Total	51.32	100.00	100.00			

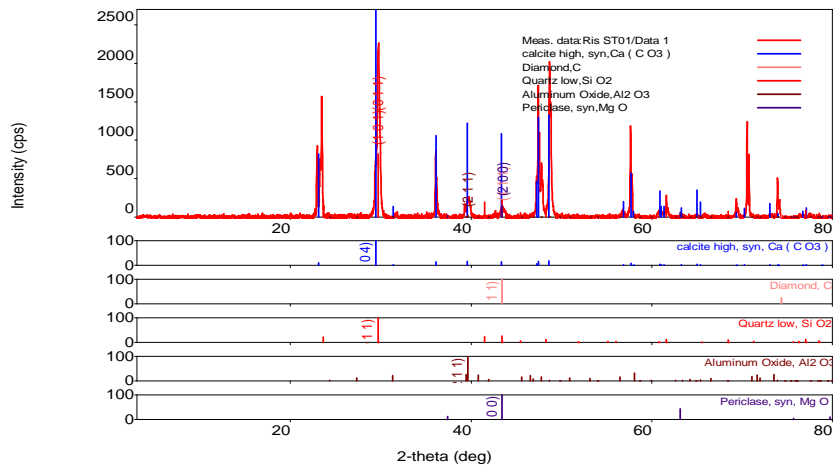
**b. Karakterisasi Struktur Morfologi (bentuk kristal) dengan Menggunakan XRD (*X-ray Diffraction*)**

Karakterisasi yang dilakukan untuk mengungkapkan struktur morfologi (bentuk kristal) dengan menggunakan XRD meliputi ornament gua yang diperoleh pada Gua Mimpi yang berturut-turut diungkapkan seperti berikut.

**1) Stalaktit**

Gambar 5.16 menunjukkan informasi hasil pola difraksi sinar-X Stalaktit yang memiliki tingkat kekristalan yang tinggi. Informasi struktur kristal dari pola XRD bahan sampel stalaktit memperlihatkan difraktogram stalaktit dari sudut  $2\theta$  sebesar  $0^\circ$  sampai  $80^\circ$ . Difraktogram tersebut memperlihatkan lima fase kristal yang terkandung di dalamnya yakni *Calcite* ( $\text{CaCO}_3$ ) dengan bidang kristal utama, *diamond* (C) , *Quartz* ( $\text{SiO}_2$ ), Aluminium  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan *Periclase* (Mg O).

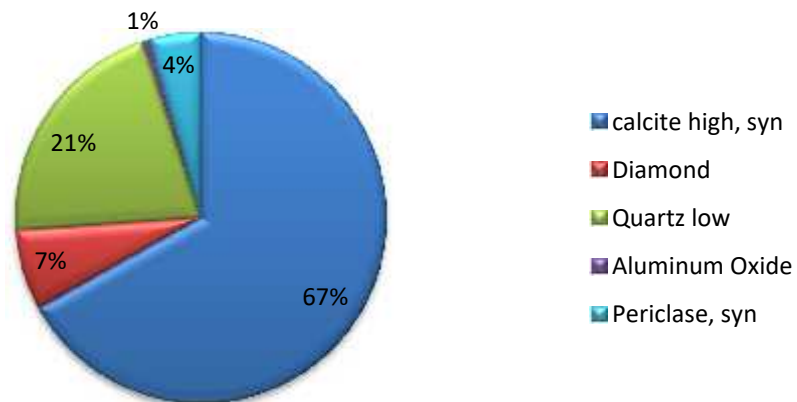




**Gambar 5.16** Difraktogram dari hasil analisis Stalaktit

Dari Gambar 5.16 terlihat bahwa difraktogram untuk setiap mineral berbeda dan fluktuatif terhadap mineral lainnya, sehingga dapat diungkapkan komposisi senyawa kimia pada sampel stalaktit seperti Tabel 5.6.

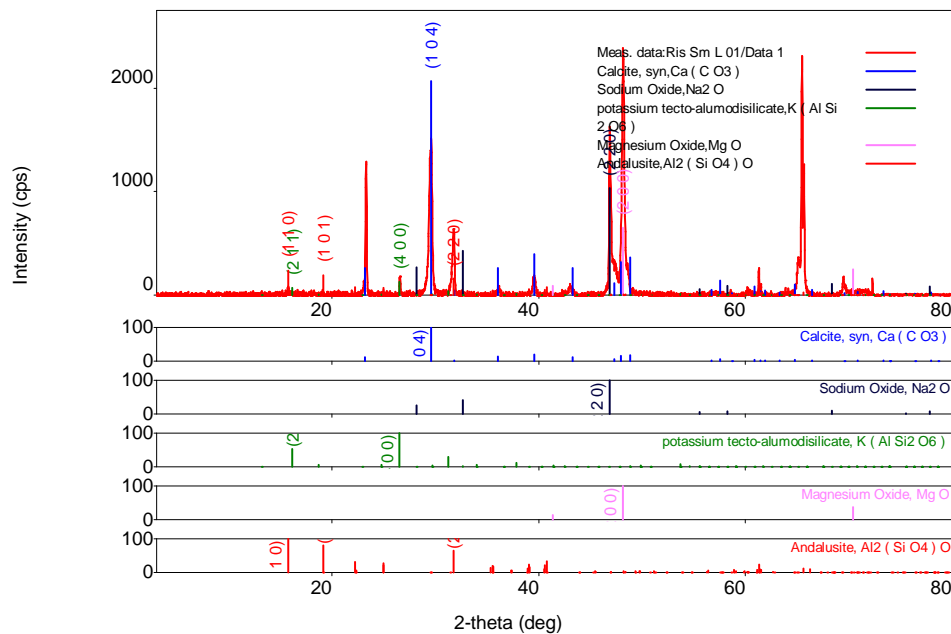
**Tabel 5.6** Komposisi Senyawa Kimia Fase Stalaktit



Tabel 5.6, menunjukkan bahwa komposisi fase Stalaktit yang paling tinggi adalah senyawa  $\text{CaCO}_3$  terlihat dari senyawa Calcite sebesar 67% sedangkan *Quartz low* sebesar 21%, Diamond sebesar 7%, dan Aluminium Oxide sebesar 1%.

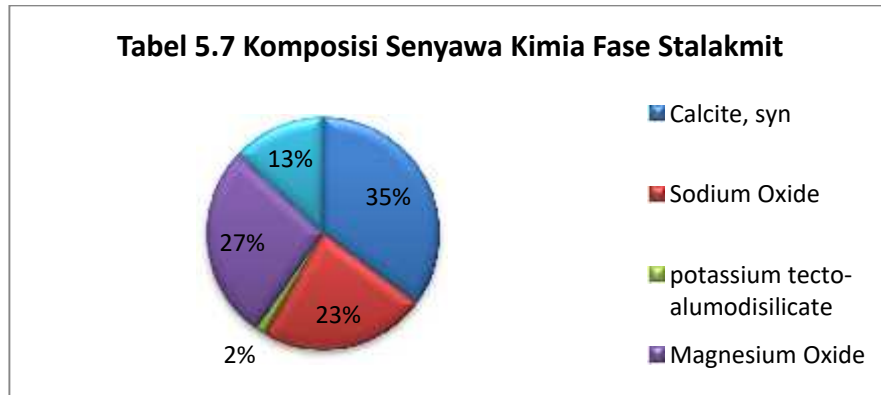
## 2) Stalakmit

Gambar 5.17 menunjukkan informasi hasil pola difraksi sinar-X meliputi posisi puncak dan intensitas. Posisi puncak mengindikasikan struktur kristal dan identifikasi fase yang ada di bahan tersebut, sedangkan intensitas menunjukkan total hamburan balik dari masing-masing bidang dalam struktur kristal. Informasi struktur kristal dari pola XRD bahan sampel stalakmit memperlihatkan difraktogram stalakmit dari sudut  $2\theta$  sebesar  $0^\circ$  sampai  $80^\circ$ . Difraktogram tersebut memperlihatkan ada lima fase kristal yang terkandung di dalamnya yakni *Calcite* ( $\text{CaCO}_3$ ) dengan bidang Kristal utama, *sodium oxide* ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), *Potassium tectoalumodisilicate* ( $\text{KAlSi}_2\text{O}_6$ ), *Magnesium oxide* ( $\text{MgO}$ ), dan *andalusite* ( $\text{Al}_2\text{SiO}_4$ ).



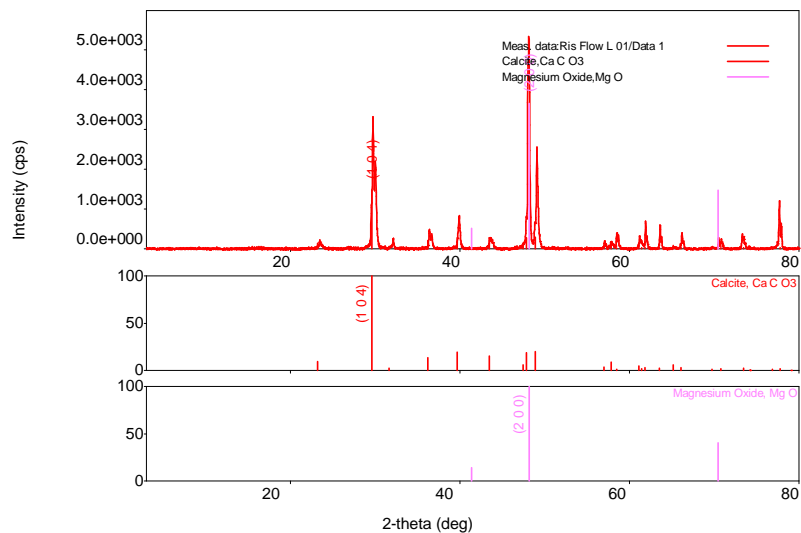
**Gambar 5.17** Difraktogram dari hasil analisis Stalakmit

Dari Gambar 5.17 terlihat bahwa difraktogram untuk setiap mineral berbeda dan fluktuatif terhadap mineral lainnya, sehingga dapat diungkapkan komposisi senyawa kimia pada sampel stalakmit seperti Tabel 5.7.



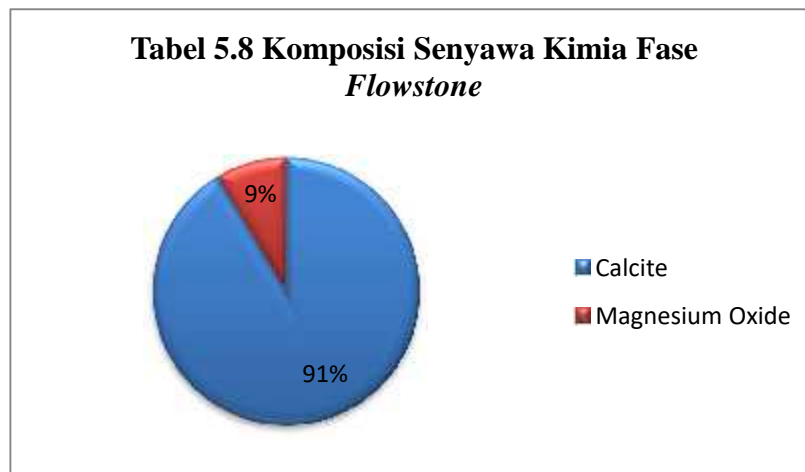
Dari Tabel 5.7 menunjukkan bahwa komposisi fase Stalaktit yang paling tinggi adalah unsur  $\text{CaCO}_3$  terlihat dari senyawa Calcite sebesar 35% sedangkan Magnesium sebesar 27%, Sodium Oxide sebesar 23%, dan Andalusite sebesar 13% dan Potassium tectoaluminosilicate sebesar 2%.

### 3) Flowstone



**Gambar 5.18** Difraktogram dari hasil analisis *Flowstone*

Pada Gambar 5.18 menunjukkan informasi hasil pola difraksi sinar-X meliputi posisi puncak dan intensitas. Posisi puncak mengindikasikan struktur kristal dan identifikasi fase yang ada di bahan tersebut, sedangkan intensitas menunjukkan total hamburan balik dari masing-masing bidang dalam struktur kristal. Informasi struktur kristal dari pola XRD bahan sampel Flowstone memperlihatkan difraktogram flowstone dari sudut  $2\theta$  sebesar  $0^\circ$  sampai  $80^\circ$ . Difraktogram tersebut memperlihatkan ada dua fase kristal yang terkandung di dalamnya yakni *Calcite* ( $\text{CaCO}_3$ ) dengan bidang Kristal utama dan Magnesium oxide ( $\text{MgO}$ ).

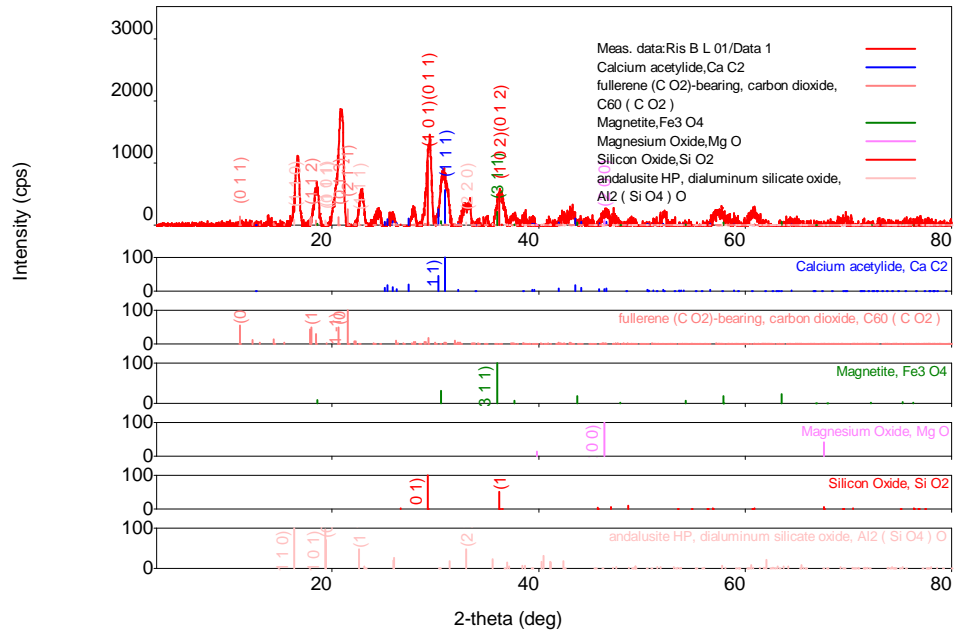


Dari Tabel 5.8, menunjukkan bahwa komposisi fase Flowstone yang paling tinggi adalah unsur  $\text{CaCO}_3$  terlihat dari senyawa Calcite sebesar 91% sedangkan Magnesium Oxide sebesar 9%.

#### **4) Batu**

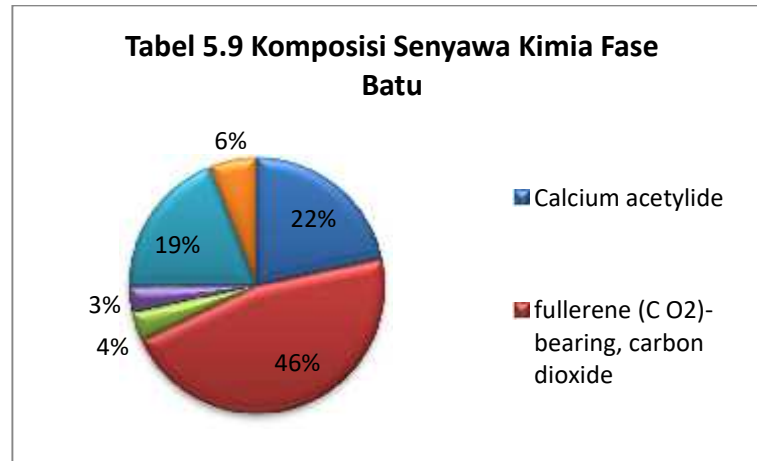
Gambar 5.19, menunjukkan informasi hasil pola difraksi sinar-X meliputi posisi puncak dan intensitas. Posisi puncak mengindikasikan struktur kristal dan identifikasi fase yang ada di bahan tersebut, sedangkan intensitas menunjukkan total hamburan balik dari masing-masing bidang dalam struktur kristal. Informasi struktur

kristal dari pola XRD bahan sampel batu memperlihatkan difraktogram batu dari sudut  $2\theta$  sebesar  $0^\circ$  sampai  $80^\circ$ .



Gambar 5.19 Difraktogram dari hasil analisis Batu

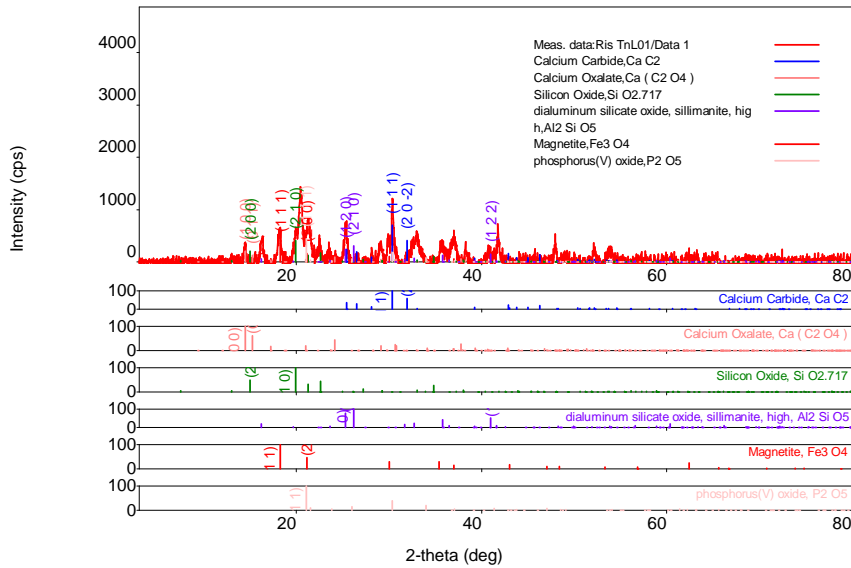
Difraktogram tersebut memperlihatkan ada enam fase kristal yang terkandung di dalamnya yakni *Calcite* ( $\text{CaCO}_3$ ) dengan bidang Kristal utama, sodium oxide ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), *Fullerene* ( $\text{CaO}_2$ )- bearing, *carbon dioxide*, *Magnesium oxide* ( $\text{MgO}$ ), *Magnette* ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), *Silicon Oxide* dan *andalusite HP*, *dialuminum silicate oxide* ( $\text{Al}_2 \text{ S i}_2 \text{ O}_6$ ).



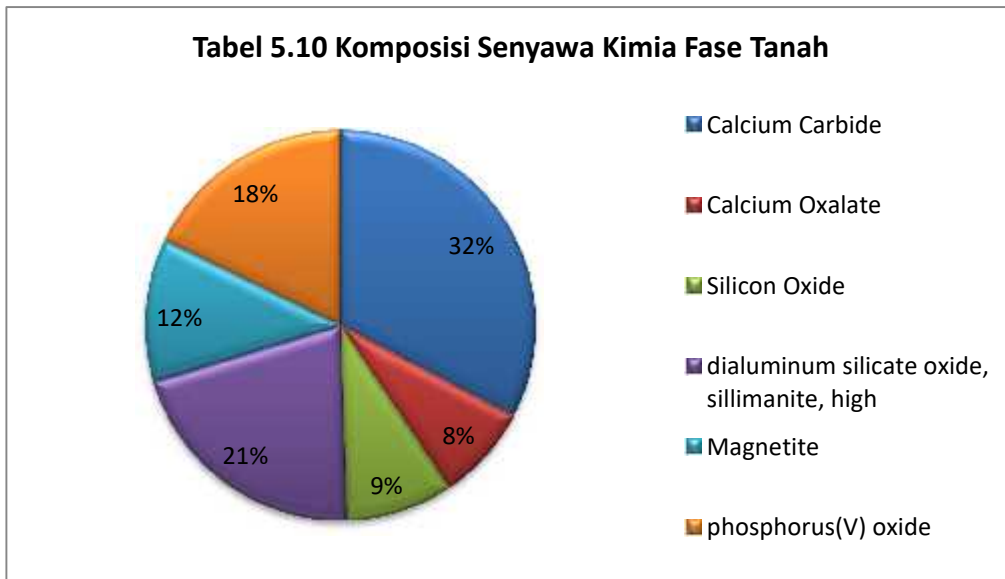
Dari Tabel 5.9 menunjukkan bahwa komposisi fase batu yang paling tinggi adalah senyawa *fullerene (CO<sub>2</sub>) carbon dioxide* terlihat dari senyawa *carbon dioxide* sebesar 46% sedangkan *calcium acetylide* sebesar 22%, *silicon oxide* sebesar 19%, *magnetite* sebesar 4%, dan *magnesium oxide* sebesar 3%.

### 5) Tanah

Pada Gambar 5.20 menunjukkan informasi hasil pola difraksi sinar-X meliputi posisi puncak dan intensitas. Posisi puncak mengindikasikan struktur kristal dan identifikasi fase yang ada di bahan tersebut, sedangkan intensitas menunjukkan total hamburan balik dari masing-masing bidang dalam struktur kristal. Informasi struktur kristal dari pola XRD bahan sampel tanah memperlihatkan difraktogram tanah dari sudut  $2\theta$  sebesar  $0^\circ$  sampai  $80^\circ$ . Difraktogram tersebut memperlihatkan enam fase kristal yang terkandung di dalamnya yakni *Calcium Carbide (CaO<sub>2</sub>)* dengan bidang kristal utama, *Calcium Oxalate (C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)*, *Silicon Oxide (SiO<sub>2</sub>)*, *Magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)*, *phosphorus oxide (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)*.



Gambar 5.20 Difraktogram dari hasil analisis Tanah



Dari Tabel 5.10 menunjukkan bahwa komposisi fase tanah yang paling tinggi adalah senyawa  $\text{CaCO}_3$  terlihat dari senyawa *Calcium carbide* sebesar 32% sedangkan

*dialuminium silicate oxide silimanite* sebesar 21%, *Phosphorus oxide* sebesar sebesar 12%, *Magnetite* sebesar 12%, *silicon oxide* sebesar 9% dan *Calcium te* sebesar 8%.

### c. Bentuk Mineral dan kaitannya dengan Perubahan iklim

Mineral adalah pembentuk batuan. Proses pembentukan mineral dapat menjelaskan terbentuknya batuan. Batuan dalam Gua adalah batuan sedimen yang dapat dijelaskan dari ukuran butir, warna dan lingkaran tahun.



Gambar 5.21 Stalaktit dengan bidang irisan penampang melintang

Gambar 5.21 memperlihatkan stalaktit yang dipotong melintang sehingga partikel penyusunnya dapat diamati dengan kasat mata. Butiran partikel yang menyerupai biji dengan warna putih hampir tersebar merata di setengah bagian lingkaran. Sedangkan bagian setengahnya masih berbutir halus cenderung sama ukurannya. Ini berarti bahwa proses gaya-gaya luar yang bekerja juga berbeda. Biji

mineral dengan ukuran berbeda di mana yang berupa butiran dengan warna coklat tua mulai mengkristal pada matriks yang digunakan sebagai tempat tumbuhnya. Berbeda dengan ukuran butir yang masih halus. Warnanya coklat muda cenderung hitam dan masih lebih basah menunjukkan matriks yang berbeda pula. Matriksnya cenderung tidak teratur dan mudah untuk melepaskannya. Ini menjadi menarik, karena perbedaan ini tidak dari bagian dalam ke bagian luar, tetapi cenderung menempati bagian yang terpisah. Warna, ukuran dan bidang belah dapat dijadikan ukuran perbedaan umur masing-masing mineral dalam pertumbuhannya. Artinya, untuk sampel yang diamati terjadi pola yang berbeda.



Ukuran butir yang sudah terbentuk tersebut menunjukkan adanya perbedaan umur dari mineral stalaktit.



Gambar 5.22 Stalaktit dengan lingkaran tahun yang berbeda. Hanya terdapat dua pola yang secara nyata berbeda. Pola yang lebih hitam diperlihatkan pada bagian dalam sedangkan sisanya lebih putih. Warna hitam lebih kering daripada warna di sekitarnya. Namun, jika diamati lebih teliti, maka terdapat lingkaran yang

Gambar 5.22 Stalaktit dengan lingkaran tahun yang berbeda

kecil-kecil dengan butiran yang lebih halus. Pada bagian lingkaran yang hitam, terdapat tumpukan mineral dengan kristal yang menghambur ke segala penjuru dengan membuat keteraturan pada setiap sisinya. Ini menunjukkan, bahwa proses pertumbuhan mineral pada sampel stalaktit ini mengalami proses yang berbeda antara satu dengan yang lainnya. Ini dapat dikatakan, bahwa terdapat pola mineral dengan pertumbuhan yang berbeda pada waktu yang tidak sama.



Gambar 5.23 Lingkaran tahun yang lebih menebal pada bagian dalam

Gambar 5.23 memperlihatkan lingkaran tahunan yang teratur pada sampel yang sama, tetapi bahagian berbeda. Lingkaran tahun yang melebar dan berada pada tempat yang sama menunjukkan adanya pola mineral dengan ukuran yang sama pula. Walaupun pada sisi lebih dalam menunjukkan warna coklat tua dari warna lingkaran tahun yang lebih luar. Terdapat pola dengan arah yang

tidak teratur pada setiap lingkaran tahun yang terbentuk. Proses pertumbuhan mineral secara kasat mata terlihat lebih besar yang ada pada bagian coklat tua dari pada pertumbuhan mineral di bagian lain. Ini menunjukkan, bahwa lingkaran tahun yang terbentuk pada proses lingkungan yang berbeda. Lingkungan yang berbeda ini salah satu faktor penentunya adalah curah hujan.

## **B. Pembahasan Penelitian**

Hasil penelitian yang diperoleh untuk tahun kedua, meliputi: (1) karakteristik ornamen Gua Mimpi di Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung Kawasan Karst Maros, dan (2) karakteristik mineral ornamen Gua di Taman Nasional Bulusaraung Bantimurung Kawasan Karst Maros sebagai indikasi perubahan iklim yang berturut-turut akan dibahas seperti berikut.

### **1. Karakteristik ornamen Gua Mimpi di Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung Kawasan Karst Maros**

Ornamen gua adalah suatu bentukan yang terbentuk akibat pertumbuhan mineral hasil pelarutan batu gamping pada atap, dinding ataupun lantai Gua. Gua Mimpi berada pada sisi sebelah kanan dari tempat permandian alam air terjun Bantimurung. Gua mimpi mempunyai panjang sekitar 800 m dengan waktu tempuh sekitar 30 menit dari pintu masuk gua. Lantainya basah dan langit-langitnya penuh dengan ornamen. Dinding gua mempunyai ornamen yang indah dan masih berproses baik untuk membentuk *stalagnit*, *stalagtit* maupun *drapery* dan *canopy*. Keadaan di dalamnya gelap gulita, sehingga harus dibantu dengan cahaya lampu *petromax* untuk mengamati keindahan ornamen Gua yang dimilikinya.

Sepanjang 750 m, maka ornamen Gua baik Stalaktit, Stalakmit, *Flowtone*, pilar dan lainnya terletak tidak beraturan di dalam Gua. Ornamen Gua tersebut berserakan baik di atap langit-langit, di lantai dan dinding dengan memesona para pengamatnya. Butir-butir mineral ada yang basah karena masih dalam proses pembentukan dan pertumbuhan mineralnya. Sebagian besar sudah kering dengan warna lebih tua dengan yang ada di sampingnya. Ukuran butir untuk setiap warna

juga berbeda. Pada umumnya ukuran butirnya lebih besar untuk ornamen Gua yang lebih tua warnanya. Jika tetesan air itu tertahan di langit-langit Gua dan berlangsung dalam waktu lama sehingga menyusun kristal padat, maka terbentuklah Stalaktit. Bentuk stalaktit lebih runcing dan membesar pada bagian yang melengket di langit-langit. sehingga pada umumnya Stalaktit itu meruncing pada bagian ujungnya. Stalaktit yang menempel di langit-langit cenderung diikuti oleh stalakmit, karena keduanya dihasilkan oleh tetesan air yang sama. Jika tetesan itu begitu derasnya, sehingga tidak bisa tertampung di langit-langit Gua, maka tetesan air akan terus mengalir melalui butiran mineral. Tetesan air yang melewati Stalaktit terus bergerak ke bawah dan berkumpul di lantai Gua. Tetesan air membawa material gamping dan bahan organik lainnya, saling tersedimentasi sehingga membentuk pola tertentu, dan berlangsung lama maka terbentuklah Stalakmit. Setiap tetesan air yang tiba di bagian atas, cenderung bergerak ke bawah karena pengaruh gaya gravitasi dengan membawa material akan menyertai tetesan air ke bawah, sehingga pada umumnya Stalakmit cenderung besar pada bagian bawah dan bagian atas semakin kecil tetapi bentuknya *plate* (rata). Mineral Stalakmit makin lama semakin berkumpul dengan jumlah besar dan menambah beban yang dimilikinya sehingga melebar membentuk kesetimbangan baru. Stalakmit yang terdeposisi dengan jumlah semakin banyak tiada henti akan terus berproses, sehingga mineral dan material terkumpul akan menyatukan bagian atap dan bagian lantai dasar Gua. Material pembentuk ornamen Gua ini berlangsung lama dengan jumlah material yang semakin lama semakin banyak dan terbentuk pilar (tiang). Pilar adalah ornamen Gua yang menghubungkan antara Stalaktit dan Stalakmit.

Ornamen Gua yang terbentuk dengan sejarah pembentukan mineral, menunjukkan dua hal, yakni: (1) proses perekaman kejadian lingkungan, dan (2) sejarah pembentukan Gua itu sendiri.

Proses perekaman kejadian lingkungan meliputi unsur-unsur iklim yang terjadi sepanjang terbentuknya mineral tersebut. Unsur iklim yang dapat dijelaskan adalah unsur cuaca, temperatur dan iklim itu sendiri. Unsur cuaca dengan musim

hujan dan musim kemarau dapat dijelaskan dengan menganalisis data curah hujan selama 30 tahun (1985-2014) di Kawasan Karst Maros. Hasil analisis menunjukkan curah hujan 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) (Arsyad, *et al*, 2016)

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. 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 tetap terpelihara baik/ Kawasan Karst Maros masih dapat dijadikan kawasan penyanggah lingkungan bagi kawasan di sekitarnya.

Penggunaan sumberdaya air di Kawasan Karst Maros memengaruhi 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. Keberlangsungan ekosistem karst memungkinkan semua proses yang berlangsung di dalamnya secara teratur akan saling tergantung untuk menjaga keseimbangan lingkungan untuk tetap menjaga harmonisasi kehidupan Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung Kawasan Karst Maros.

## **2. Karakteristik Mineral Ornamen Gua di Taman Nasional Bulusaraung Bantimurung Kawasan Karst Maros sebagai Indikasi Perubahan Iklim**

Mineral ornamen Gua yang diperlihatkan pada Tabel 5.1 sampai Tabel 5.10, terlihat bahwa unsur senyawa yang paling dominan pada setiap ornamen Gua adalah kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ).

Mineral pembentuk batuan sedimen didominasi oleh kuarsa maka batuan akan berwarna putih. Butir karbonat lainnya terdiri dari batugamping *voids*, *peloids*, *intraclasts*, dan *extraclasts*. Beberapa batugamping tidak terdiri dari mineral yang sama sekali dan dibentuk sepenuhnya oleh presipitasi kimia kalsit atau aragonit. yakni *travertine*.

Tanah bertekstur halus akan mempunyai persentase pori total lebih tinggi dari pada bertekstur kasar, walaupun ukuran pori dari tanah bertekstur halus kebanyakan sangat kecil dan porositas sama sekali tidak menunjukkan distribusi ukuran pori dalam tanah yang merupakan suatu sifat yang penting. Faktor iklim mempunyai pengaruh yang berarti pada jumlah air yang dapat diabsorpsi dengan efisien tumbuhan dalam tanah. Kelakuan akan ketahanan pada kekeringan, keadaan dan tingkat pertumbuhan adalah faktor tumbuhan yang sangat berarti. Temperatur dan perubahan udara merupakan perubahan iklim dan berpengaruh pada efisiensi penggunaan air tanah dan penentuan air yang dapat hilang melalui saluran evaporasi permukaan tanah. Di antara sifat khas tanah yang berpengaruh pada air tanah yang tersedia adalah hubungan tegangan dan kelembaban, kadar garam, kedalaman tanah, strata dan lapisan tanah (Buckman dan Brady, 1982).

Terlihat dari gambar hasil SEM (*Scanning Electron Microscopy*) bahwa struktur morfologi permukaan suatu sampel menunjukkan bentuk butiran, pori atau lubang (porositas), batas antara butiran (*grain boundaries*) dan penumbuhan spiral (*spiral growth*). Keseluruhan gambar SEM (*Scanning Electron Microscopy*) menggunakan tegangan 10 kV untuk skala 20 $\mu\text{m}$  dan 5  $\mu\text{m}$  yang mempunyai ukuran butir kristal.

Dilihat dari bentuk yang beragam, ada yang berbentuk bulat-bulatan dan ada juga berbentuk persegi panjang lonjong. Karakterisasi sampel tersebut dalam bentuk bentuk padatan dan ada juga berbentuk *powder* atau bubuk. Dari semua sampel ornamen Gua Mimpi yang dikarakterisasi dengan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) maka terdapat struktur mikro dan morfologi permukaan sampel dan dari penelitian diatas terlihat berbentuk grafit dan karbonat.

Untuk stalaktit memperlihatkan hasil struktur permukaan berupa stalaktit yang tidak halus. Warna yang agak hitam di bagian tepi dan warnanya terlihat lebih cerah. Partikel-partikel penyusunnya sangat rapat sehingga tidak ada terlihat pori-pori yang berlubang. Struktur atomnya tidak teratur antara satu dengan yang lain. Stalakmit tampak struktur permukaan stalaktit yang tidak halus. Warna yang agak gelap dan berlubang-lubang.

*Flowstone*, mempunyai struktur permukaan yang belum membentuk partikel beraturan sehingga jarak antar partikelnya juga belum terbentuk di semua bagian pada permukaan. Warna pada permukaannya belum homogen di mana terdapat beberapa bagian yang berwarna abu-abu terang dan mengkilap dan terdapat pula warna abu-abu yang lebih gelap. Ini disebabkan karena berkas elektron terpancar dari tepi yang tajam. Warna abu-abu yang terlihat lebih cerah merupakan unsur dengan nomor atom yang lebih besar yaitu calcium (CaO), sedangkan yang terlihat gelap adalah unsur *Chlorine* yang memiliki nomor atom yang lebih kecil.

Batu mempunyai struktur permukaan berupa butiran dengan ukuran yang bervariasi. Warna abu-abu yang lebih cerah (putih mengkilap) disebabkan karena berkas elektron terpancar dari tepi yang tajam. Warna abu-abu yang terlihat lebih cerah merupakan unsur dengan nomor atom yang lebih kecil. Volume partikel kecil lebih banyak dibandingkan dengan partikel besar dan komponennya tidak teratur.

Sampel tanah mempunyai struktur permukaan berupa partikel-partikel dengan ukuran yang bervariasi. Volume partikel kecil hampir sama ukurannya dibandingkan dengan partikel besar. Partikel-partikel tersebut bisa saja masih terdiri dari partikel lain yang ukurannya lebih kecil. Warna yang lebih cerah (putih mengkilap)

menyatakan unsur atom dengan nomor atom yang lebih tinggi. Unsur dengan nomor atom yang lebih tinggi memiliki tingkat absorpsi elektron yang tinggi dan menyebabkan terlepasnya elektron sekunder atau *backscattered*. ini biasa juga disebabkan karena berkas elektron terpancar dari tepi yang tajam.

Batu mempunyai struktur kristal dari pola XRD bahan sampel tanah memperlihatkan difraktogram tanah dari sudut  $2\theta$  sebesar  $0^\circ$  sampai  $80^\circ$  difraktogram memperlihatkan ada enam fase kristal yang terkandung di dalamnya yakni *Calcite* ( $\text{CaCO}_3$ ) dengan bidang kristal utama, *sodium oxide* ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), *Fullerene* ( $\text{CO}_2$ )-bearing, *carbon dioxide*, *Magnesium oxide* ( $\text{MgO}$ ), *Magnetite* ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), *Silicon Oxide* dan *andalusite HP, dialuminum silicate oxide* ( $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ ).

Sampel tanah mempunyai struktur kristal dari pola XRD bahan sampel tanah memperlihatkan difraktogram tanah dari sudut  $2\theta$  sebesar  $0^\circ$  sampai  $80^\circ$ . Difraktogram tersebut memperlihatkan enam fase kristal yang terkandung di dalamnya. Unsur tersebut adalah *Calcium Carbide* ( $\text{CaO}_2$ ) dengan bidang kristal utama, *Calcium Oxalate* ( $\text{C}_2\text{O}_4$ ), *Silicon Oxide* ( $\text{SiO}_2$ ), *Magnetite* ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), *phosphorus(V) oxide* ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ).

Dari hasil analisis XRD dapat dilihat fase yang terbentuk berupa fase amorf yang ditandai dengan terbentuknya puncak atau gundukan (*hump*). Dengan puncak yang paling tinggi yaitu senyawa *Calcite* ( $\text{CaCO}_3$ ). Dari data tersebut di atas maka senyawa yang dominan muncul adalah senyawa karbonat *calcite*  $\text{CaCO}_3$ .

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 di daerah 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 gerakannya 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 mengenai 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 ( $\text{CaCO}_3$ ) 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 SELANJUTNYA**

Hibah Penelitian Fundamental yang disetujui oleh Dikti adalah 2 (dua) tahun. Tahun ini adalah tahun kedua, sehingga laporan penelitian ini adalah laporan terakhir. Beberapa hal yang perlu ditindaklanjuti dari hasil penelitian ini adalah:

1. Analisis mineral masih terbatas dilakukan, sehingga masih perlu dilakukan analisis lanjutan untuk beberapa jenis ornamen lainnya.
2. Kaitan antara mineral yang tumbuh sebagai indikasi perubahan iklim masih perlu dikaji lebih jauh dengan mengambil sampel ornament untuk mengukur usia dari ornamen.
3. Artikel untuk jurnal bereputasi dan berindeks scopus yang dapat dilakukan jika laporan utuh dua tahun telah dilakukan.
4. Penelitian ini adalah penelitian fundamental sehingga masih perlu dilanjutkan dengan penelitian yang sifatnya terapan.
5. Walaupun sebagian dari hasil penelitian ini sudah dimasukkan dalam bab dari buku **Ilmu Kebumian (2016)**, tetapi masih perlu dikombinasikan dengan materi penelitian lain. Hasilnya bisa diwujudkan dengan meramunya dengan judul buku yang lain, misalnya Mineral Gua Taman Nasional Kawasan Karst Maros.

## BAB VII

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### A. Kesimpulan

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

1. Karakteristik ornamen Gua Mimpi berupa *stalaknit*, *stalakmit*, *pilar*, *helektit*, dan *flowstone* tersebar merata sepanjang 750 m di lorong Gua. Gua Mimpi merupakan salah satu dari 268 Gua di Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung di Kawasan Karst Maros mempunyai keunikan dan fungsi yang unik. Gua Mimpi tidak mempunyai artefak dan ornamen Gua 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. Stalaktit dan stalakmit pada bagian tertentu dihubungkan dengan pilar, tetapi warna, ukuran dari mineralnya berbeda dengan stalaktit dan stalakmit yang masing-masing terpisah. Stalaktit dan stalakmit yang terpisah mempunyai warna coklat yang lebih tua dan cenderung sudah stagnan pertumbuhannya sehingga proses pertumbuhan mineralnya sudah berhenti. Mineral ini dapat dijadikan sebagai indikasi perubahan iklim dan belum menunjukkan terjadinya perubahan iklim.
2. Karakteristik dari ornamen Gua Mimpi berupa *Stalaknit*, *stalakmit*, *pilar*, *helektit*, dan *flowstone* tersusun dari jenis mineral yang berbeda dan komposisi yang juga berbeda. Stalaktit dengan komposisi kimia oksida yang paling tinggi adalah Calcium CaO sebesar 42,44 wt% dan komposisi senyawa kimia yang paling rendah adalah Pottasium (K<sub>2</sub>O) sebesar 1,73 wt%. Sedangkan stalakmit dengan komposisi kimia yang paling tinggi adalah Calcium CaO sebesar 59.05 wt% dan komposisi senyawa kimia yang paling rendah adalah Iron (FeO) 0,12 wt%.

## **B. Saran**

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

1. Peneliti selanjutnya agar mengambil sampel ornamen Gua untuk melakukan pengukuran usia (umur) dari ornamen tersebut, sehingga dapat dilakukan kajian mendalam tentang faktor-faktor yang berpengaruh terhadap lingkungan Gua.
2. *Stake holder* (Pemerintah Kabupaten Maros dan Pemprov. Sulsel untuk menjaga keberlangsungan dari Gua yang ada di Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung Kawasan Karst Maros. Gua merupakan “bank air” yang dapat dijadikan sumber air untuk warga di sekitarnya dan penyangga ekosistem untuk menjaga kelangsungan hidup ekosistem Gua dan makhluk hidup sekitarnya.
3. Pemerintah perlu melakukan pemberdayaan warga masyarakat untuk memberikan pengetahuan dan keterampilan dalam menjaga keberlangsungan ekosistem karst di Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung Kawasan Karst Maros.
4. Warga Masyarakat untuk senantiasa berpartisipasi aktif dalam menjaga keberlangsungan dari Gua Mimpi. Ornamen Gua merupakan harta yang tak ternilai harganya dan dapat dijadikan sebagai obyek wisata.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, M. (2002). *Pengetahuan Tentang Bumi*. Makassar: State Makassar University Press.
- Arsyad, M.- (2016)., *Ilmu Kebumihan.*, Makassar: Badan Penerbit UNM
- 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., Sulistiawaty, Vistarini Arini Tiwow., 2016.- Analysis of Characteristik and Classification of Rainfall in The Maros Karst Region, South Sulawesi., *Proceedings International Sminar on Mathemathematics, Science, and Computer Science Education.*, FMIPA UPI: Bandung/
- Baede, A and Griggs, D. (ed). 2007. *Historical Overview of Climate Change Science*. IPCC.
- Buttler, R. (1992). *Palaemagnetism: 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.
- Krane, K. S., 2006., Fisika Modern., (dit. Hans Wospakrik)., Jakarta: Universitas Indonesia (UI Press)., p: 769
- Ludman, A., and Nicholas K. Coch., 1982., Physical Geology. McGraw-Hills: USA, p:362-481
- Mae, I. J. (2012, juni). Karst Maros-Pangkep, Eksplorasi Turun Temurun Kepentingan Elit.
- Meiviana, A. dkk. 2007. Bumi Makin Panas: Ancaman Perubahan Iklim di Indonesia. Laporan Kerja sama JICA, Kementerian Lingkungan Hidup dan Pelangi.
- Mudzakkir. (2011). *Bantimurung Objek Wisata Terbaik di Sulawesi Selatan*. Makassar: Sekolah Manajemen Perhotelan IHS.
- Ophus. (2008, Oktober 07). *Ophus.Com*. Retrieved November 13, 2011, from Hidrologi Karst: <http://ophus.blogspot.com/2008/10/hidrologi-karst.html>
- 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 (Speleothen) 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.
- Yunginger, R. 2010. Penentuan Umur Stalagmit Provinsi Gorontalo Sebagai Proxy Data Paleoklimat. Jurnal Saintek Vol. 5 No.1. UNG Gorontalo
- Žak, K., Pruner, P., Bosák, P., Svobodová, M. & Šlechta, S. 2007. An Unusual Paleokarst Sedimentary Rock in the Bohemian Karst (Czech Republic), and its Regional Tectonic and Geomorphologic Relationships. *Bulletin of Geosciences* 82(3), 275–290



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

Menara Pinisi UNMLI 10 Jalan A. Pangerang Pettarani, Makassar  
Telepon: 0411-865677 Fax: 0411-861377

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

- Puslit Kependudukan dan Lingkungan Hidup
- Puslit Makanan Tradisional, Gizi dan Kesehatan
- Puslit Pemberdayaan Perempuan
- Puslit Pengembangan Ilmu Pendidikan
- Puslit Budaya dan Seni Etnik Sulawesi
- Puslit Pemuda dan Olah Raga

**ADDENDUM KONTRAK PENELITIAN  
PENELITIAN DASAR UNGGULAN PERGURUAN TINGGI**

**Tahun Anggaran 2017**

**Nomor: 1770/UN36.9/PL/2017**

Pada hari ini Senin tanggal Dua bulan Oktober tahun Dua Ribu Tujuh Belas, kami yang bertandatangan dibawah ini :

1. **Prof. Dr. H. Jufri, M.Pd** : Ketua Lembaga Penelitian, Universitas Negeri Makassar, dalam hal ini bertindak untuk dan atas nama Universitas Negeri Makassar, yang berkedudukan di Jl. Andi Pangerang Pettarani Makassar, untuk selanjutnya disebut **PIHAK PERTAMA**;
2. **Dr. Muhammad Arsyad, M.T** : Dosen FMIPA Universitas Negeri Makassar, dalam hal ini bertindak sebagai pengusul dan Ketua Pelaksana Penelitian Tahun Anggaran 2017 untuk selanjutnya disebut **PIHAK KEDUA**.

Berdasarkan Instruksi Presiden nomor 4 tahun 2017 tentang Efisiensi Belanja Barang Kementerian/Lembaga dalam Pelaksanaan Anggaran dan Pendapatan Belanja Negara Tahun 2017, maka dibuatlah **Addendum** sebagai berikut:

**PIHAK PERTAMA** dan **PIHAK KEDUA**, secara bersama-sama sepakat mengikatkan diri dalam suatu Addendum Kontrak Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi Tahun Anggaran 2017 dengan ketentuan dan syarat-syarat sebagai berikut:

**Pasal 1  
Ruang Lingkup Kontrak**

**PIHAK PERTAMA** memberi pekerjaan kepada **PIHAK KEDUA** dan **PIHAK KEDUA** menerima pekerjaan tersebut dari **PIHAK PERTAMA**, untuk melaksanakan dan menyelesaikan Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi Tahun Anggaran 2017 dengan judul:

"Analisis Mineral Ornamen Gua Kawasan Karst Maros Sebagai Indikasi Perubahan Iklim".

**Pasal 2  
Dana Penelitian**

- (1) Besarnya dana untuk melaksanakan penelitian dengan judul sebagaimana dimaksud pada Pasal 1 adalah sebesar **Rp 69.744.000 (Enam puluh sembilan juta tujuh ratus empat puluh empat ribu rupiah)** sudah termasuk pajak.
- (2) Dana Penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dibebankan pada Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Nomor SP DIPA-042.06.1.401516/2017 revisi ke 3 tanggal 31 Agustus 2017.

**Pasal 3**  
**Tata Cara Pembayaran Dana Penelitian**

- (1) **PIHAK PERTAMA** akan membayarkan Dana Penelitian kepada **PIHAK KEDUA** secara bertahap dengan ketentuan sebagai berikut:
- a. Pembayaran Tahap Pertama sebesar **Rp.52.500.000 (Lima puluh dua juta lima ratus ribu rupiah)**, yang akan dibayarkan oleh **PIHAK PERTAMA** kepada **PIHAK KEDUA** setelah **PARA PIHAK** membuat dan melengkapi rancangan pelaksanaan penelitian yang memuat judul penelitian, pendekatan dan metode penelitian yang digunakan, data yang akan diperoleh, anggaran yang akan digunakan, dan tujuan penelitian berupa luaran yang akan dicapai.
  - b. Pembayaran Tahap Kedua sebesar **Rp.17.244.000 (Tujuh belas juta dua ratus empat puluh empat ribu rupiah)**, dibayarkan oleh **PIHAK PERTAMA** kepada **PIHAK KEDUA** setelah **PIHAK KEDUA** mengunggah ke SIMLITABMAS yaitu Laporan Kemajuan Pelaksanaan Penelitian dan Catatan Harian
  - c. Biaya tambahan tidak dibayarkan kepada **PIHAK KEDUA**
- (2) Dana Penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) akan disalurkan oleh **PIHAK PERTAMA** kepada **PIHAK KEDUA** ke rekening sebagai berikut:

Nama pada Rekening : DRS. MUHAMMAD ARSYAD, MT.  
Nomor Rekening : 3582-01-028529-53-2  
Nama Bank : Bank BRI

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

**Pasal 4**  
**Jangka Waktu**

Jangka waktu pelaksanaan penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 sampai selesai 100%, adalah terhitung sejak **Tanggal 17 April 2017** dan berakhir pada **Tanggal 31 Oktober 2017**

**Pasal 5**  
**Target Luaran**

- (1) **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk mencapai target luaran wajib penelitian berupa ("Perindungan Topografi Sirkuit Terpadu terdaftar", "- Kebijakan produk", "- Desain produk", "- Bahan Ajar sudah terbit", "- Merk Dagang terdaftar", "- Rekayasa Sosial produk", "- Paten terdaftar", "- Sistem produk", "- Publikasi Ilmiah Jurnal Internasional accepted/published", "- Publikasi Ilmiah Jurnal Nasional Terakreditasi accepted/published", "- Paten Sederhana terdaftar", "- Rahasia Dagang terdaftar", "- Purwarupa/Prototipe produk", "- Metode produk", "- Perlindungan Varietas Tanaman terdaftar", "- Desain Produk Industri terdaftar", "- Model produk", "- Hak Cipta terdaftar", "- Indikasi Geografis terdaftar")
- (2) **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk melaporkan perkembangan pencapaian target luaran sebagaimana dimaksud pada ayat (1) kepada **PIHAK PERTAMA**.

**Pasal 6**  
**Hak dan Kewajiban Para Pihak**

(1) Hak dan kewajiban **PIHAK PERTAMA**:

- a. **PIHAK PERTAMA** berhak untuk mendapatkan dari **PIHAK KEDUA** luaran penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 7;
- b. **PIHAK PERTAMA** berkewajiban untuk memberikan dana penelitian kepada **PIHAK KEDUA** dengan jumlah sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) dan dengan tata cara pembayaran sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3.

(2) Hak dan kewajiban **PIHAK KEDUA**:

- a. **PIHAK KEDUA** berhak menerima dana penelitian dari **PIHAK PERTAMA** dengan jumlah sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1);
- b. **PIHAK KEDUA** berkewajiban menyerahkan kepada **PIHAK PERTAMA** luaran penelitian Pasca Duguban Perguruan Tinggi dengan judul Analisis Mineral dan logam berat kawasan karst Maros Sebagai Indikasi Perubahan Iklim dan catatan harian pelaksanaan penelitian;
- c. **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk bertanggungjawab mutlak dalam penggunaan dana penelitian yang diterimanya sesuai dengan proposal kegiatan yang telah disetujui;
- d. **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk menyampaikan kepada **PIHAK PERTAMA** laporan penggunaan dana sebagaimana dimaksud dalam Pasal 7.

**Pasal 7**  
**Laporan Pelaksanaan Penelitian**

- (1) **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk menyampaikan kepada **PIHAK PERTAMA** berupa laporan kemajuan dan laporan akhir mengenai luaran penelitian dan rekapitulasi penggunaan anggaran sesuai dengan jumlah dana yang diberikan oleh **PIHAK PERTAMA** yang tersusun secara sistematis sesuai pedoman yang ditentukan oleh **PIHAK PERTAMA**.
- (2) **PIHAK KEDUA** berkewajiban mengunggah Laporan Kemajuan dan Catatan harian penelitian yang telah dilaksanakan ke SIMLITABMAS paling lambat **15 September 2017**.
- (3) **PIHAK KEDUA** berkewajiban menyerahkan *Hardcopy* Laporan Kemajuan dan Rekapitulasi Penggunaan Anggaran 70% kepada **PIHAK PERTAMA**, paling lambat **15 September 2017**.
- (4) **PIHAK KEDUA** berkewajiban mengunggah Laporan Akhir, capaian hasil, Poster, artikel ilmiah dan profil pada SIMLITABMAS paling lambat **31 Oktober 2017** (bagi penelitian tahun terakhir) dan menyerahkan *Hardcopy* Laporan Hasil sebanyak 4 (empat) eksemplar ke Lembaga Penelitian UNM.
- (5) Laporan hasil Penelitian sebagaimana tersebut pada ayat (4) harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:
  - a. Bentuk/ukuran kertas A4;
  - b. Warna sampul muka Abu-Abu
  - c. Di bawah bagian cover ditulis:

Diblayai oleh:  
Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat  
Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan  
Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi  
Sesuai dengan Addendum Kontrak Penelitian  
Nomor: 1770/UN36.9/PL/2017

## **Pasal 8** **Monitoring dan Evaluasi**

**PIHAK PERTAMA** dalam rangka pengawasan akan melakukan Monitoring dan Evaluasi internal terhadap kemajuan pelaksanaan Penelitian Tahun Anggaran 2017 ini sebelum pelaksanaan Monitoring dan Evaluasi eksternal oleh Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi.

## **Pasal 9** **Penilaian Luaran**

Penilaian luaran penelitian dilakukan oleh Komite Penilai/*Reviewer* Luaran sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

## **Pasal 10** **Perubahan Susunan Tim Pelaksana dan Substansi Pelaksanaan**

Perubahan terhadap susunan tim pelaksana dan substansi pelaksanaan Penelitian ini dapat dibenarkan apabila telah mendapat persetujuan tertulis dari Direktur Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi.

## **Pasal 11** **Penggantian Ketua Pelaksana**

- (1) Apabila **PIHAK KEDUA** selaku ketua pelaksana tidak dapat melaksanakan Penelitian ini, maka **PIHAK KEDUA** wajib mengusulkan pengganti ketua pelaksana yang merupakan salah satu anggota tim kepada **PIHAK PERTAMA**.
- (2) Apabila **PIHAK KEDUA** tidak dapat melaksanakan tugas dan tidak ada pengganti ketua sebagaimana dimaksud pada ayat (1), maka **PIHAK KEDUA** harus mengembalikan dana penelitian kepada **PIHAK PERTAMA** yang selanjutnya disetor ke Kas Negara.
- (3) Bukti setor sebagaimana dimaksud pada ayat (2) disimpan oleh **PIHAK PERTAMA**.

## **Pasal 12** **Sanksi**

- (1) Apabila sampai dengan batas waktu yang telah ditetapkan untuk melaksanakan Penelitian ini telah berakhir, namun **PIHAK KEDUA** belum menyelesaikan tugasnya, terlambat mengirim laporan Kemajuan, dan/atau terlambat mengirim laporan akhir, maka **PIHAK KEDUA** dikenakan sanksi administratif berupa penghentian pembayaran dan tidak dapat mengajukan proposal penelitian dalam kurun waktu dua tahun berturut-turut.
- (2) Apabila **PIHAK KEDUA** tidak dapat mencapai target luaran sebagaimana dimaksud dalam Pasal 5, maka kekurangan capaian target luaran tersebut akan dicatat sebagai hutang **PIHAK KEDUA** kepada **PIHAK PERTAMA** yang apabila tidak dapat dilunasi oleh **PIHAK KEDUA**, akan berdampak pada kesempatan **PIHAK KEDUA** untuk mendapatkan pendanaan penelitian atau hibah lainnya yang dikelola oleh **PIHAK PERTAMA**.

**Pasal 13**  
**Pembatalan Perjanjian**

- (1) Apabila dikemudian hari terhadap judul Penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 ditemukan adanya duplikasi dengan Penelitian lain dan/atau ditemukan adanya ketidakjujuran, itikad tidak baik, dan/atau perbuatan yang tidak sesuai dengan kaidah ilmiah dari atau dilakukan oleh **PIHAK KEDUA**, maka perjanjian penelitian ini dinyatakan batal dan **PIHAK KEDUA** wajib mengembalikan dana disetor ke Kas Negara.
- (2) Bukti setor sebagaimana dimaksud pada ayat (1) disimpan oleh **PIHAK PERTAMA**.

**Pasal 14**  
**Pajak-Pajak**

Hal-hal dan/atau segala sesuatu yang berkenaan dengan kewajiban pajak berupa PPN dan/atau PPh menjadi tanggungjawab **PIHAK KEDUA** dan harus dibayarkan oleh **PIHAK KEDUA** ke kantor pelayanan pajak setempat sesuai ketentuan yang berlaku.

**Pasal 15**  
**Peralatan dan/alat Hasil Penelitian**

Hasil Pelaksanaan Penelitian ini yang berupa peralatan dan/atau alat yang dibeli dari pelaksanaan Penelitian ini adalah milik Negara yang dapat dihibahkan kepada Universitas Negeri Makassar sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.

**Pasal 16**  
**Penyelesaian Sengketa**

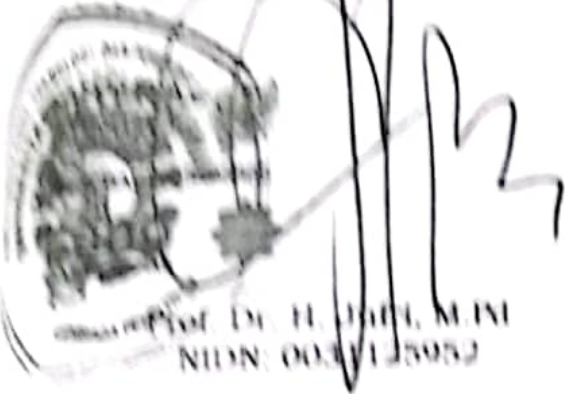
Apabila terjadi perselisihan antara **PIHAK PERTAMA** dan **PIHAK KEDUA** dalam pelaksanaan perjanjian ini akan dilakukan penyelesaian secara musyawarah dan mufakat, dan apabila tidak tercapai penyelesaian secara musyawarah dan mufakat maka penyelesaian dilakukan melalui proses hukum.

**Pasal 17**  
**Lain-lain**

- (1) **Addendum** ini merupakan bagian dari satu kesatuan yang tidak terpisahkan dengan Kontrak Penelitian.
- (2) Ketentuan dan syarat yang telah diatur dalam Kontrak Penelitian sepanjang tidak diubah berdasarkan **Addendum** dinyatakan tetap berlaku dan mengikat.
- (3) **PIHAK KEDUA** menjamin bahwa penelitian dengan judul tersebut di atas belum pernah dibiayai dan/atau diikuti sertakan pada Pendanaan Penelitian lainnya, baik yang diselenggarakan oleh instansi, lembaga, perusahaan atau yayasan, baik di dalam maupun di luar negeri.
- (4) Segala sesuatu yang belum cukup diatur dalam Perjanjian ini dan dipandang perlu diatur lebih lanjut dan dilakukan perubahan oleh **PARA PIHAK**, maka perubahan-perubahannya akan diatur dalam perjanjian tambahan atau perubahan yang merupakan satu kesatuan dan bagian yang tidak terpisahkan dari Perjanjian ini.

Salinan kontrak Penelitian ini dibuat dan ditandatangani oleh **PADA PIHAK** pada hari dan tanggal tersebut di atas, dibuat dalam rangkap 3 (tiga) dan bermeterai cukup sesuai dengan ketentuan yang berlaku, yang masing masing mempunyai kekuatan hukum yang sama dan merupakan bagian tidak terpisahkan dari kontrak Penelitian dan biaya meterai dibebankan kepada **PIHAK KEDUA**

**(PIHAK PERTAMA**



Prof. Dr. H. Didi, M.M  
NIDN: 0031113952

**PIHAK KEDUA**



Dr. Muhammad Arsyad, M.T  
NIDN: 0028086402