PEDOMAN PRAKTIS
SURVEI TERINTEGRASI KAWASAN KARST

Editor :
Eko Haryono

Kelompok Studi Karst
Fakultas Geografi
Universitas Gadjah Mada

Badan Penerbit Fakultas Geografi (BPFG)
Universitas Gadjah Mada

2016

SERI BUNGA RAMPAI

Pedoman Praktis

Survei Terintegrasi Kawasan Karst

Editor
Dr. Eko Haryono, M.Si.

Badan Penerbit Fakultas Geografi (BPFG)
Universitas Gadjah Mada
Yogyakarta
2016

Katalog Dalam Terbitan; Perpustakaan Nasional Indonesia;

Pedoman Praktis Survei Terintegrasi Kawasan Karst ; Eko Haryono dkk; vii +178 Hal.

ISBN 978-979-8786-62-4

Judul Buku:
Pedoman Praktis Survei Terintegrasi Kawasan Karst

Editor:
Eko Haryono

Penulis:
Eko Haryono, M. Widyastuti,Cahyo Rahmadi, Pindi Setiawan, Paulus Matius, Moch. Indra Novian , Ahmad Cahyadi, Ratih Aryasari, Ghufran Zulqisthi, Danardono, M. Haviz Damar, Arief Abdurrahman Hakim, M. Ainul Labib

Perancang Sampul:
Danardono

Lay Out:
M. Ainul Labib, Ghufran Zulqisthi

Penerbit:
Badan Penerbit Fakultas Geografi (BPFG)
Universitas Gadjah Mada
Sekip, Jln Kaliurang, Bulaksumur Yogyakarta 55281
Telp (0274) 6492340, Fax (0274) 589595
Website : www.geo.ugm.ac.id
Email : geografi@ugm.ac.id

Cetakan Pertama : Juli 2016

Hak cipta ada pada penulis dan dilindungi undang-undang Nomor 19 Tahun 2002, Pasal 72 tentang HAK CIPTA. Dilarang memperbanyak buku ini, tanpa ijin dari penulis dan penerbit.

TIM PENYUSUN

Pedoman Praktis
Survei Terintegrasi Kawasan Karst

PENYUSUN
Dr. Eko Haryono M.Si
Dr. M. Widyastuti, M.T
Dr. Cahyo Rahmadi
Dr. Pindi Setiawan
Dr. Ir. Paulus Matius, M.Sc
Moch. Indra Novian S.T., M.T
Ahmad Cahyadi, M.Sc
Ratih Aryasari M.Si
Ghufran Zulqisthi, S.Si
Danardono, S.Si
M. Haviz Damar S.Si
Arief Abdurrahman Hakim S.Pd
M. Ainul Labib S.Pd M.Sc

EDITOR
Dr. Eko Haryono M.Si

KATA PENGANTAR

Pedoman Praktis
Survei Terintegrasi Kawasan Karst

Indonesia memiliki bentang alam karst, dalam pemenuhan kebutuhan penelitian tentang karst, perlu adanya peningkatan kemampuan dalam identifikasi kawasan karst. Sehingga, diperlukan petunjuk atau prosedur dalam melakukan survei potensi yang ada di kawasan karst secara terpadu. Berdasarkan pemikiran tersebut, maka Kelompok Studi Karst Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada menyusun suatu buku "**Pedoman Praktis Survei Terintegrasi Kawasan Karst**"

Survei praktis ini merupakan suatu metode untuk inventarisasi potensi yang terdapat di kawasan karst, yang dapat dilakukan secara cepat dan terpadu, yang dapat diterapkan di seluruh kawasan karst yang lainnya, sehingga hasil dari penelitian tersebut dapat digunakan oleh semua pengguna data sebagai dasar dalam pengelolaan kawasan karst secara terpadu

Sistematika buku ini terdiri dari 7 bab yang tersusun secara tersruktur. Bab 1 memuat materi karakteristik geodeversitas yang memuat bentukan dari permukaan Bumi; Bab 2 membahas hidrologi dan hidrogeologi karst; Bab 3 membahas tentang pengukuran stratigrafi batuan karbonat; bab 4 membahas tentang pengukuran flux karbon pada proses karstifikasi karst; bab 5 membahas tentang survei keanekaragaman hayati tumbuhan; bab 6 membahas tentang identifikasi morfologi lorong gua di kawasan karst; bab 7 membahas tentang inventarisasi biota gua

Semoga dengan disusunnya pedoman praktis ini, dapat digunakan untuk penelitian di kawasan karst yang lain. penulis menyadari bahwa dalam penyusunan pedoman praktis ini masih banyak kekurangan dan ketidaksempurnaan, sehingga, perlu adanya saran dan kritik yang membangun agar ke depannya dapat menjadi lebih baik.

Yogyakarta, 10 Juli 2016

Tim Penyusun

DAFTAR ISI

Pedoman Praktis
Survei Terintegrasi Kawasan Karst

Halaman Sampul i
Halaman Identitas Buku ii
Tim Penyusun iii
Kata Pengantar iv
Daftar Isi v

BAB 1 Karakterisasi Geodiversitas
1.1 Maksud dan Tujuan Instruksional 1
1.2 Dasar Teori
1.2.1 Morfologi Negatif 1
1.2.2 Morfologi Positif 9
1.2.3 Morfologi Minor 11
1.3 Kebutuhan Data 16
1.4 Metode Pengukuran
1.4.1 Batas Doline 16
1.4.2 Orde Doline 17
1.4.3 Pengamatan dan Pengukuran Bukit Karst 17
1.4.4 Dokumentasi Morfologi Karst 18

BAB 2 Hidrologi Karst
2.1 Maksud dan Tujuan Instruksional 20
2.2 Dasar Teori
2.2.1 Hidrologi Karst 20
2.2.2 Mata air Karst 22
2.2.3 Kualitas Air 25
2.2.4 Pendugaan Sungai Bawah Tanah 28
2.3 Kebutuhan Data 28
2.4 Metode Pengukuran Debit
2.4.1 Metode Volumetrik 29
2.4.2 *Slope Area Method* 29
2.4.3 *Velocity Area Method* 31
2.4.4 *Dillution Method* 37
2.4.5 Metode Tracer 38
2.5 Pengambilan Sampel Air

2.5.1 Tipe Sampel Air yang Diambil 39

2.5.2 Jumlah Sampel Air yang Diambil dalam Satu Penggal Sungai 40
2.5.3 Teknik Pengambilan Sampel Air 41
2.5.4 Teknik Pengambilan Sampel Air untuk Isotop 42

BAB 3 Pengukuran Stratigrafi Batuan Karbonat
3.1 Maksud dan Tujuan Instruksional 44
3.2 Dasar Teori 44
3.3 Kebutuhan Data 53
3.4 Metode Pengukuran
3.4.1 Pengukuran Stratigrafi 53
3.4.2 Kolom Litologi 56
3.4.3 Langkah – Langkah Pengumpulan Data 59

BAB 4 Pengukuran Flux Karbon pada Proses Karstifikasi Karst
4.1 Maksud dan Tujuan Instruksional 64
4.2 Dasar Teori
4.2.1 Karbon Inorganik dalam Proses Karstifikasi 65
4.2.2 Karbon Organik pada Kawasan Karst 67
4.3 Kebutuhan Data 69
4.4 Metode Pengukuran
4.4.1 Pengukuran Laju Pelarutan dan Nilai Serapan Karbon Menggunakan *Limestone Tablet* 69
4.4.2 Pengukuran Nilai Serapan Karbon dengan Alkalinitas 71
4.4.3 Pengukuran Cadangan Karbon Organik 73
4.4.4 Pengukuran Nilai Karbondioksida Tanah 79
4.4.5 Pengukuran Respirasi Tanah 81

BAB 5 Survei Keanekaragaman Hayati Tumbuhan
5.1 Maksud dan Tujuan Instruksional 85
5.2 Dasar Teori
5.2.1 Kerapatan Individu 86
5.2.2 Sebaran Jenis (Frekuensi) 87
5.2.3 Luas Bidang Dasar (Basal Area) Pohon per Ha (Dominasi) ...87
5.2.4 Nilai Penting Jenis (NPJ) 87
5.2.5 Indeks Keragaman Vegetasi 88
5.2.6 *Eveness* 88
5.2.7 Indeks Dominasi 89
5.2.8 Indeks Kesamaan 89

5.2.9 Pengecekan Status Konservasi 90
5.2.10Pengecekan Statsus Jenis Flora dalam Regulasi Perdagangan Berdasarkan CITES 91
5.2.11Pengecekan terhadap jenis-jenis yang dilindungi berdasarkan PP 7 tahun 1999 tentang pengawetan jenis tumbuhan dan satwa 92
5.3 Metode Pengukuran
5.3.1 Pengukuran Survei Keanekaragaman Hayati 92
5.3.2 Pedoman Koleksi Sampel Tumbuhan untuk Herbarium 97
5.3.3 Pedoman Dokumentasi SpecimenTanaman 100
5.3.4 Pedoman Pembuatan Herbarium Kering 102

BAB 6 Identifikasi Morfologi Lorong Gua di Kawasan karst
6.1 Maksud dan Tujuan Instruksional 109
6.2 Dasar Teori
6.2.1 Macam – Macam Lorong Gua 109
6.2.2 Macam – Macam Ornament Gua 118
6.2.3 Macam – Macam Bentukan Antropogenik 120
6.3 Kebutuhan Data 120
6.4 Metode Pengukuran
6.4.1 Metode Pemetaan Gua 120
6.4.2 Metode Identifikasi Morfologi dan Interior Lorong Gua 127
6.4.3 Metode Dokumentasi Morfologi Lorong Gua 127

BAB 7 Inventarisasi Biota Gua
7.1 Maksud dan Tujuan Instruksional 132
7.2 Dasar Teori
7.2.1 Biota Gua 133
7.2.2 Pembagian Kategori Biota Gua Berdasarkan Tingkat Adaptasi 134
7.3 Metode Pengukuran
7.3.1 Standarisasi 135
7.3.2 Teknik Koleksi 135
7.3.3 Pengukuran Parameter Lingkungan 137
7.4 Karakter Genetik Fauna Endokarst 138
7.4.1 Metode Karakter Genetik Fauna Endokarst.....139

Lampiran Checklist Pedoman Survei Kawasan Karst 140

BAB I

Karakterisasi Geodiversitas

Eko Haryono, Arief Abdurrahman Hakim, dan M. Haviz Damar Sasongko

1.1. Maksud dan Tujuan Instruksional

Kawasan karst merupakan salah satu kawasan karst di Indonesia yang memiliki keanekaragaman morfologi permukaan yang tinggi. Selain itu, di bawah permukaan terbentuk gua-gua yang spektakuler dan memiliki nilai penting tinggi baik dari sisi ekologi maupun ekonomi.

Survei morfologi karst bertujuan untuk mendapatkan informasi variasi morfologi mayor dan minor yang menjadi indikator perkembangan kawasan karst. Informasi morfologi, selanjutnya dapat digunakan untuk rekonstruksi perkembangan kawasan karst. Keragaman morfologi yang menjadi indikator perkembangan kawasan karst di permukaan dapat dijadikan salah satu dasar ilmiah untuk membatasi kawasan karst dan non-karst.

1.2. Dasar Teori

Bentuk morfologi karst dapat dibagi menjadi morfologi positif dan morfologi negatif. Morfologi negatif dapat berupa: doline, lembah karst, polje, karren. Sedangkan morfologi positif yang dapat ditemui di kawasan karst adalah bukit karst yang berbentuk kerucut karst, menara karst, dan *pinnacle*.

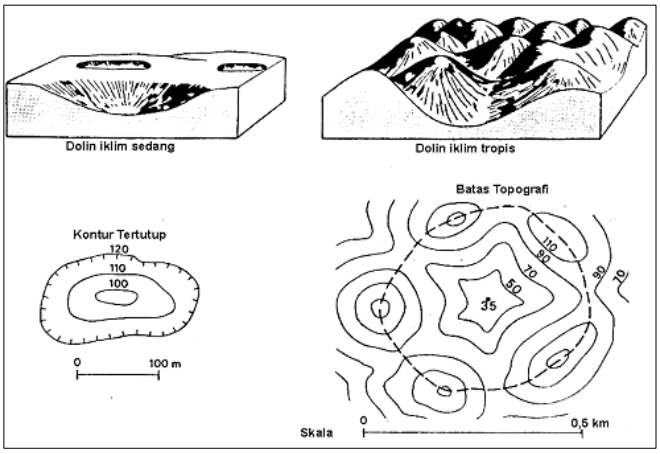
1.2.1. Morfologi Negatif

1. Doline

Istilah “doline” diturunkan dari istilah bahasa Slovenia “dolina”, yang berati lembah. Oleh kalangan insinyur dan dalam literatur Amerika Utara, doline disebut juga “sinkhole”. Para ahli geomorfologi memberi perhatian lebih pada bentukan morfologi ini sejak Cvijic (1893) mengidentifikasi doline sebagai karakter khas dari kawasan bertopografi karst. Doline didefinisikan oleh White (1988) sebagai: cekungan yang relatif dangkal, berbentuk seperti mangkuk yang memiliki diameter antara beberapa meter hinga 1000 meter, dan kedalamannya dapat mencapai ratusan meter. Sedangkan Ford dan Williams (2007) menambahkan, sisi-sisi/dinding doline memiliki kemiringan yang landai hingga curam dengan ketinggian beberapa meter hingga ratusan meter.

Doline merupakan bentuk morfologi yang umum ditemui di kawasan karst dan sering dijadikan bentukan diagnostik untuk menyatakan suatu kawasan sebagai kawasan karst. Walaupun demikian, Ford dan Williams (2007) menyatakan bahwa ketiadaan doline tidak secara otomatis dapat dinyatakan kawasan karst tersebut

tidak berkembang, karena sistem airtanah pada kawasan karst tetap dapat berkembang tanpa harus terbentuk doline di permukaan kawasan karstnya. Doline di daerah tropis sering membentuk *cockpit*, yaitu bentukan cekungan tertutup yang dibatasi medan berbukit (dibatasi oleh topografi). Berbeda dengan doline pada kawasan beriklim sedang yang dibatasi oleh kontur tertutup atau dinding dari doline itu sendiri. Gambar 1 menjelaskan perbedaan doline pada daerah beriklim sedang dan daerah beriklim tropis yang dikemukakan Williams (1989):

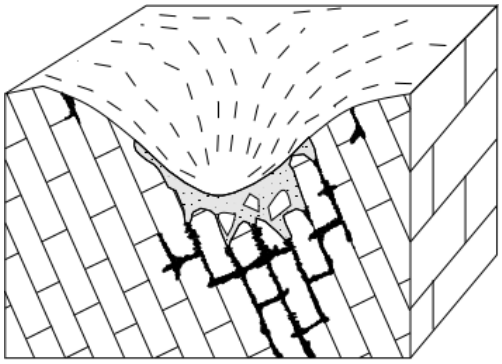


Gambar 1.1. Perbedaan bentuk dan batasan doline di daerah beriklim tropis dan sedang (Williams, 1969)

Secara umum, terdapat dua mekanisme pembentukan doline, yakni (1) melalui pelarutan batuan induk pada bagian-bagian mudah larut (kekar, konsentrasi kekar, konsentrasi mineral mudah larut, bidang perlapisan) kemudian membentuk cekungan atau (2) runtuhnya bagian atap gua yang mengakibatkannya turunnya permukaan lahan di atasnya yang kemudian membentuk cekungan. Terdapat banyak klasifikasi doline berdasarkan proses pembentukannya, namun Ford dan Williams (1989) membagi doline menjadi 3 jenis; (1), *solution doline*, (2), *collapse doline*, dan (3), *suffosion*/*subsidence doline*.

a. *Solution doline* (doline pelarutan)

Doline berbentuk seperti mangkuk (Gambar 1.2) yang terbentuk karena pelarutan batuan induk pada bagian-bagian yang mudah terlarut, seperti pada konsetrasi rekahan/kekar. Air dari permukaan perlahan-lahan melarutkan bagian-bagian paling mudah larut dari batuan sehingga membentuk cekungan.

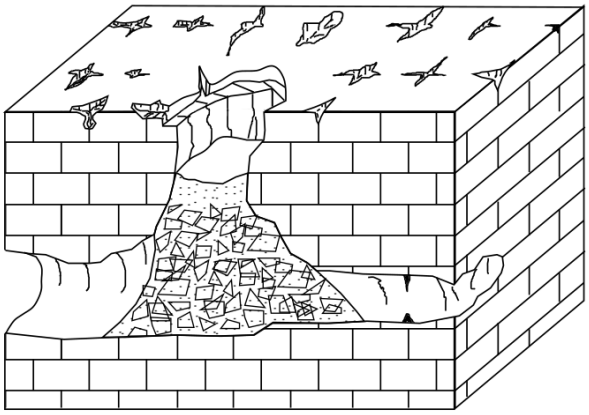


Gambar 1.2. Tipe doline hasil pelarutan. Doline pelarutan berkembang dimulai dari permukaan batuan induk dan kemudian pada bagian yang paling mudah larut (misal: konsentrasi kekar) membentuk cekungan (Jennings, 1985)

b. *Collapse doline* (doline runtuhan)

Doline tipe ini terbentuk karena runtuhnya atap gua akibat pelarutan dari dalam. Biasanya memiliki dinding-dinding yang curam bahkan tegak. Terdapat tiga mekanisme utama yang berperan dalam pembentukan dolin tipe runtuhan (Ford dan Williams, 1989)

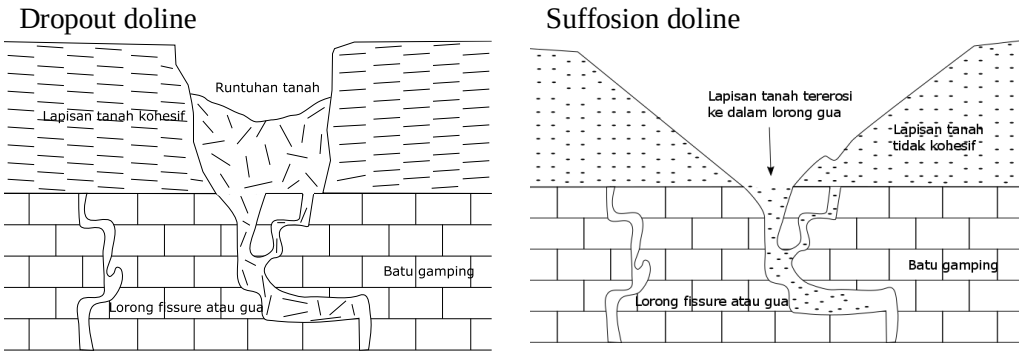
1) Pelarutan dari atas yang kemudian membuat atap gua menjadi kurang kuat untuk menahan beban di atasnya dan mudah runtuh
2) Runtuhan pada lorong gua (terutama atap) yang memperlebar lorong dan menyebabkan bagian dari lorong gua kurang kuat untuk menahan beban di atasnya
3) Turunnya level muka air tanah dan mengakibatkan hilangnya kemampuan air tanah untuk mendukung beban di atasnya.



Gambar 1.3. Doline tipe runtuhan (Jennings, 1985)

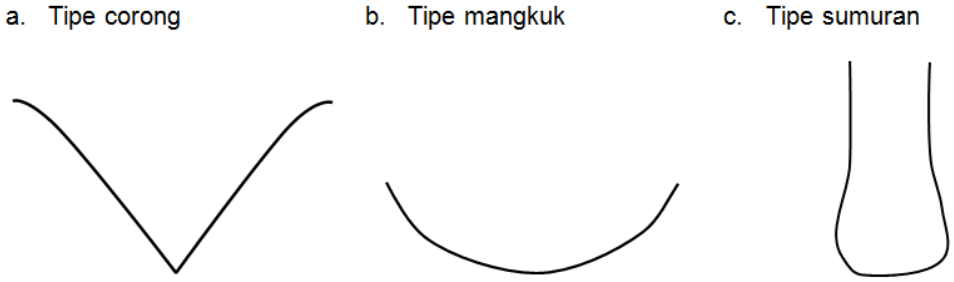
c. *Suffosion dan subsidence doline* (doline amblesan)

Hampir mirip dengan doline tipe runtuhan, doline tipe ini terbentuk akibat runtuhnya rongga/lorong gua pada batuan induk yang menyebabkan bagian permukaan karst turun secara perlahan-lahan. Material-material penutup batu gamping tererosi dan mengisi lorong-lorong bawah tanah di batu gamping sehingga membentuk cekungan di permukaannya.



Gambar 1.4. Tipe-tipe doline amblesan (Waltham dan Fookes, 2003)

Berdasarkan morfologi penampang melintangnya, doline oleh Cvijic dalam Haryono dan Adji (2004) dibagi menjadi 3 (tiga) kelompok, yaitu doline bentuk mangkuk, corong, dan sumuran (Gambar 1.5).



Gambar 1.5. Tipe doline berdasarkan bentuk penampang melintangnya (Cvijic dalam Haryono dan Adji, 2004)

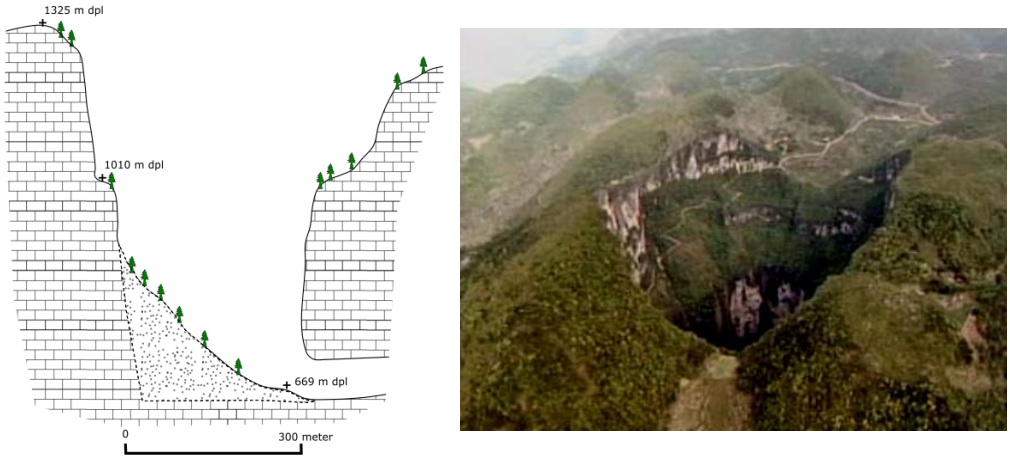
Doline mangkuk memiliki perbandingan antara lebar dan kedalaman sekitar 10 : 1, kemiringan lereng berkisar 10^0 – 12^0, dengan dasar yang relatif rata dan tertutup oleh sedimen. Doline tipe corong memiliki perbandingan diameter dengan kedalaman sekitar 3 : 1, kemiringan lereng berkisar 30^0 - 40^0, dan memiliki dasar sempit yang tertutup oleh sedimen atau singkapan batuan. Doline sumuran biasanya diidentifikasi dengan perbandingan diameternya yang lebih kecil dari kedalamannya.

d. Tiankeng

Tiankeng berasal dari bahasa Cina yang dapat diartikan “lubang langit” atau “lubang surga”. Tiankeng dalam istilah morfologi karst digunakan untuk mendeskripsikan doline tipe runtuhan yang memiliki kedalaman lebih dari 100 m dengan tebing-tebing vertikal di sebagian besar kelilingnya. Xuewen dan Waltham (2006) mengajukan beberapa fitur kunci untuk memebedakan tiankeng dengan morfologi lainnya, yaitu:

1) Memiliki kedalaman dan diameter lebih dari 100 m dengan rasio kedalaman dan lebar hampir sama
2) Memiliki dinding-dinding vertikal/tebing di hampir seluruh bagiannya
3) Terbentuk dari runtuhan lorong gua yang besar
4) Pelarutan yang mengakibatkan penurunan permukaan pada doline tipe pelarutan kemungkinan berperan dalam proses peruntuhan
5) Tiankeng sebagian besar berkembang di zona vadose
6) Beberapa tiankeng tererosi pada bagain tertentu oleh aliran masuk alogenik
7) Luas dasar/lantai tiankeng pada stadia muda lebih besar daripada mulut/bukaannya yang ada di permukaan
8) Tiankeng yang terdegradasi/stadia tua memiliki dinding/tebing yang tertutup oleh debris batuan.

Salah satu contoh tiankeng paling populer adalah tiankeng Xiaozhai, di Provinsi Chongqing, Cina yang memiliki kedalaman berkisar 511 – 662 m dengan panjang 626 m dan lebar 537 m (Gambar 1.6).



Gambar 1.6. Penampang melintang tiankeng Xiaozhai dan kenampakannya dari foto udara (Xuewen dan Weihai, 2006)

2. Ponor

Ponor (atau sering juga disebut "*swallow hole*, *swallet*, *stream-sinks*) adalah lubang pada kawasan karst yang menjadi pintu masuk air permukaan ke dalam tanah/batuan. Field (1999) mengajukan dua definisi tentang ponor:

a. Sebuah lubang atau bukaan pada dasar atau sisi sebuah cekungan yang menjadi tempat masuknya air (sebagian atau seluruhnya) dari sungai permukaan atau danau ke dalam sistem airtanah karst.
b. Sebuah lubang pada dasar atau sisi sebuah cekungan tertutup, yang menjadi tempat lewatnya air, baik yang masuk atau keluar dari sistem aliran bawah tanah

Ponor biasanya terletak pada dasar doline atau di sisi-sisi sebuah polje yang berfungsi sebagai lubang drainase/pengatus air permukaan ke dalam sistem aliran bawah tanah di kawasan karst. Ketika lubang ponor pada sebuah cekungan tertutup oleh sedimen, air permukaan akan menggenangi sehingga terbentuklah danau/telaga. Keberadaan ponor berfungsi dalam menjaga sirkulasi sistem aliran bawah tanah di kawasan karst.

Gambar 1.7. Sebuah ponor di kawasan karst Tuban (Indartin, 2014)

3. Polje

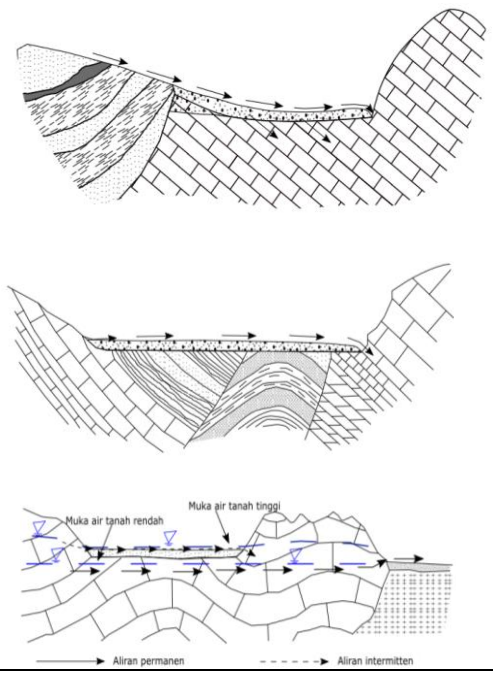
Istilah "polje" (dibaca: polye) berasal dari bahasa Slovenia yang berarti "lapangan" atau "dataran yang luas", digunakan untuk menyebut cekungan luas dan memiliki dasar/lantai yang relatif datar. Istiliha ini digunakan secara umum dalam bahasa Slavik untuk menyebut cekungan yang luas walaupun tidak berasosiasi dengan kawasan karst. Istilah tersebut baru digunakan secara khusus dalam literatur karst oleh Cjivic (1893, 1901) dan Grund (1903).

Tiga kriteria yang harus ada untuk menggolongkan sebuah cekungan sebagai polje dikemukakan oleh Gams (1978):

a. Dasar/lantai berupa batuan dasar yang rata (dapat juga berteras) atau tertutup sedimen berupa material aluvial
b. Cekungan tersebut tertutup dan dibatasi oleh dinding yang terjal setidaknya pada salah satu sisinya
c. Memiliki sistem drainase karst

Berdasarkan proses pembentukannya, Ford dan Williams (2007) membagi polje menjadi 3 (tiga) tipe (Gambar 1.8):

1) *Border polje*, pembentukan polje tipe ini didominasi oleh kontrol masukan air alogenik (aliran air dari luar kawasan karst). Berkembang karena fluktuasi tinggi muka air tanah pada batuan non karts membentang hingga kawasan karst.
2) *Structural polje*, pembentukan didominasi oleh kontrol batuan dasar dan proses geologi. Biasanya berasosiasi dengan graben atau sesar miring dengan batuan impermeable di dalamnya.
3) *Baselevel polje*, terbentuk akibat pelarutan batu gamping yang menyebabkan turunnya permukaan karst hingga zona epifreatik regional.



Gambar 1.8. Tipe-tipe polje (Ford dan Williams, 2007)

4. Lembah Karst

Lembah karst adalah lembah di kawasan karst yang terbentuk oleh kombinasi antara proses fluvial dan pelarutan (Sweeting, 1972). Berdasarkan pengertian itu, lembah yang berada di permukaan daerah karst merupakan lembah karst. Sweeting (1972) mengklasifikasikan lembah karst menjadi lembah alogenik, lembah buta, lembah kering dan lembah saku.

a. Lembah alogenik

   Lembah alogenik pada kawasan karst terbentuk akibat aliran sungai yang berhulu berhulu di daerah bukan karst mengalir dan memotong kawasan karst.

b. Lembah buta

   Lembah buta merupakan lembah yang aliran airnya menghilang kedalam sungai bawah tanah melalui ponor atau saluran hasil pelebaran bidang kekar atau sesar (Gambar 1.9).

Gambar 1.9. Kenampakan lembah buta

c. Lembah saku

   Lembah yang terbentuk ketika sistem aliran bawah tanah di kawasan karst muncul ke permukaan di bagian hulu dari sebuah lembah (Gambar 1.10 (a))

d. Lembah kering

   Merupakan lembah di kawasan karst yang kering dan hanya teraliri ketika terjadi banjir, bentukan ini paling umum ditemui di kawasan karst (Gambar 1.10(b)).

Gambar 1.10. kenampakan lembah saku (a) dan Kenampakan lembah kering (b)

1.2.2 Morfologi Positif

1. Pinnacle Karst

Merupakan bentukan morfologi karst yang berupa pilar-pilar tajam hasil pelarutan sepanjang join dan kekar dari batu gamping, tingginya dapat mencapai puluhan meter dari lahan di sekitarnya. Salah satu contoh pinnacle di daerah tropis yang cukup terkenal ada di Taman Nasional Gunung Mulu di Sarawak, Malaysia (Gambar 1.11).

Gambar 1.11. Kenampakan pinnacle pada kawasan TN. Gunung Mulu, Sarawak, Malaysia (Ford dan Williams, 2007)

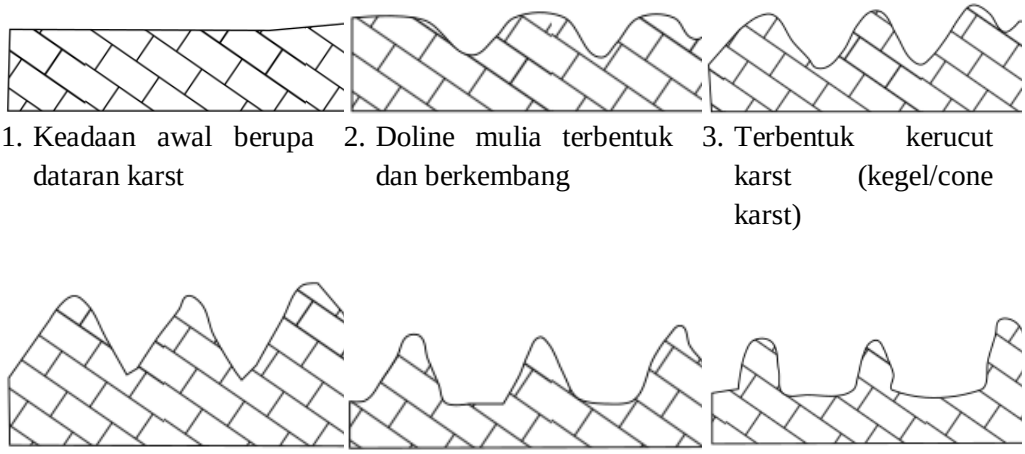
2. Kerucut dan Menara Karst

Karakteristik khas kawasan karts beriklim tropis adalah adanya bukit-bukit karst atau menara karst, baik yang sisi-sisinya vertikal atau yang mendekati vertikal. Oleh Lehman (1936), bukit-bukit dengan sisi yang vertikal disebut menara karst (turmkarst), sedangkan yang memiliki sisi mendekati vertikal disebut kerucut karst (kegelkarst). Kerucut karst dicirikan oleh kumpulan bukit-bukit berbentuk kerucut yang sambung menyambung. Sela antar bukit kerucut membentuk cekungan dengan bentuk seperti bintang yang dikenal dengan *cockpit*. *Cockpit* seringkali membentuk

pola kelurusan sebagai akibat kontrol kekar atau sesar. Kerucut karst di Indonesia yang cukup populer dapat ditemukan di kawasan karst Pegunungan Sewu, di Kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta (Gambar 1.12).

Gambar 1.12. Kerucut karst di kawasan karst Pegunungan Sewu

Beberapa ahli beranggapan bahwa perkembangan lebih lanjut dari kerucut karst (cone/kegelkarst) akan menghasilkan menara karst (tower/turmkarst). Oleh Waltham (2008), evolusi perkembangan karst dari dataran batu gamping kemudian membentuk menara/kerucut karst hingga menjadi dataran karst lagi digambarkan secara umum oleh Gambar 1.13.

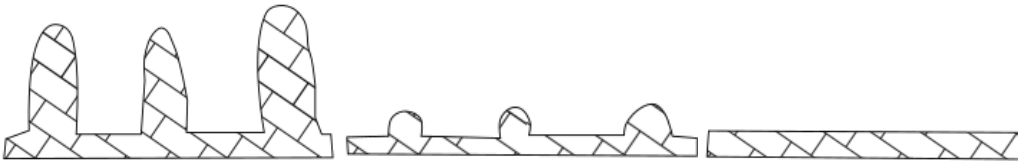


1. Keadaan awal berupa dataran karst
2. Doline mulia terbentuk dan berkembang
3. Terbentuk kerucut karst (kegel/cone karst)
4. Kerucut karst pada tingkat lebih lanjut, proses pengangkatan daratan (uplift) masih terjadi. Doline yang lebih kecil menyatu
5. Pelarutan vertikal pada doline/lembah karst terhenti setelah mencapai batas muka airtanah, pelarutan lateral (ke arah samping)
6. Kerucut karst menjadi menara karst akibat pelarutan lateral yang lebih cepat dari pelarutan pada bagian atasnya.

membentuk doline-doline lebih besar. Kondisi maksimal dari tahap perkembangan karst.

menjadi dominan. Ukuran kerucut karst mengecil karena tetap mengalami pelarutan.

Lembah-lembah karst terisi sedimen alogenik (sedimen yang berasal dari luar kawasan karst) dan menjadi dataran aluvial.



7. Pengangkatan daratan meng-akibatkan turunnya muka airtanah. Pelarutan vertikal terjadi lagi, memperdalam lembah-lembah karst. Menara karst tererosi perlahan-lahan
8. Proses pengangkatan daratan tidak terjadi, mengakibatkan erosi dan pelarutan lateral dominan menggerus lereng-lereng bagian bawah menara karst. Erosi/pelarutan lateral menyebabkan runtuhnya tebing bagian bawah dari menara karst dan secara perlahan mengurangi ukuran menara karst
9. Dataran karst kembali terbentuk namun pelarutan vertikal tidak terjadi karena terhalang batas muka airtanah

Gambar 1.13. Evolusi menara karst (Waltham, 2008)

1.2.3 Morfologi Minor

1. Karren

Istilah “karren” berasal dari bahasa Jerman yang telah digunakan secara luas untuk mendeskripsikan lubang, parit, atau saluran berukuran kecil hasil pelarutan yang ada baik di permukaan maupun di di bawah permukaan (Ford dan Williams, 2007). Ukuran karren (lebar, panjang, dalam, diameter, dll) diklasifikasikan berkisar 1 cm – 10 m, walaupun pada beberap kasus rentang ukuran tersebut dapat saja terlampaui. Ford dan Williams (2007) telah mencoba membuat klasifikasi karren berdasarkan morfologinya, yaitu:

a. Bentuk melingkar
   1) *Micropits* dan bentuk goresan di permukaan (*etched surfaces*), segala bentuk lubang dan goresan di permukaan batuan yang umumnya memiliki dimensi (panjang, lebar, dalam, dll) kurang dari 1 cm
   2) *Pits*, lubang berbentuk melingkar, lonjong, atau tidak beraturan dengan dasar membulat atau lancip dengan diameter > 1 cm.
   3) *Pan*, lubang berbentuk membulat, lonjong atau sangat tidak beraturan dan memiliki dasar yang umunya rata/horisontal dengan diameter > 1 cm.
   4) *Heelprints* atau *tritkarren*, lubang berpenampang melintang seperti busur/kurva, memiliki dasar yang rata dan memiliki sisi dinding yang terbuka di bagian arah bawah dari aliran airnya. Normalnya memiliki diameter 10-30 cm

Gambar 1.14. *Heelprints* (Ugo Sauro, 2009)

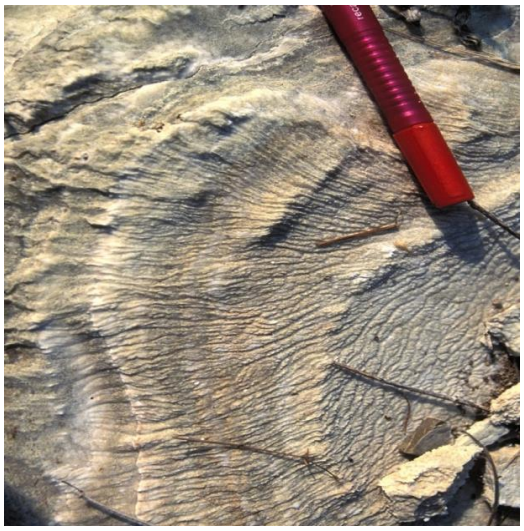
   5) *Shafts* atau sumuran, lubang kecil pada permukaan batuan yang sisi bawahnya terhubung dengan *proto cave* (lorong/gua kecil)

b. Bentuk lurus terkontrol rekahan
   1) *Microfissures*, bentuk alur yang terkontrol oleh kekar-kekar mikro, biasanya berbentuk runcing, dapat mencapai panjang beberapa sentimeter namun jarang lebih dari 1 sentimeter, merupakan bentuk transisi sebelum menjadi splitkarren.
   2) *Splitkarren*, merupakan perkembangan lebih lanjut dari microfissure dengan panjang dari beberapa sentimeter hingga beberapa meter dan kedalaman beberapa sentimeter. Terdapat dua tipe split karren, yakni tipe terbuka dan tipe tertutup. Tipe terbuka memiliki dinding yang menutup di semua sisinya, sedangkan tipe terbuka salah satu sisinya tidak tertutup oleh dinding/igir.

3) *Grikes* atau *kluftkarren*, alur yang pembentukannya dikontrol oleh kekar-kekar utama atau celah-celah akibat patahan. Normalnya memiliki panjang 1 -10 meter

c. Bentuk lurus terkontrol proses hidrodinamik

1) *Microrills*, alur mikro dengan lebar dapat mencapai 1 mm. Aliran air yang mebentuknya dikontrol oleh gaya kapilaritas dan/atau gravitasi dan/atau tenaga angin. Alur-alur pelarutan yang terbentuk karena aliran air gravitasional adalah: rillenkarren, solution runnels, decantation runnels, decantation fluting, flutted scallops atau solution ripples.



Gambar 1.15. *Microrills* (Ugo Sauro, 2009)

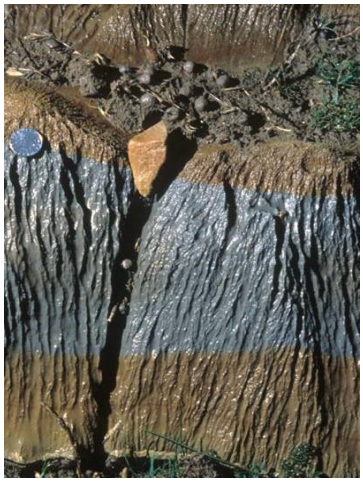
2) *Rillenkarren*, kumpulan alur-alur dengan lebar 1 – 3 cm berhulu pada puncak dari lereng batuan.

Gambar 1.16. *Rillenkarren* (Ugo Sauro, 2009)

3) *Solution runnels*, alur-alur bertipe Horton dengan arah alur mengikuti arah aliran. Pada sisi batuan yang curam, alur yang terbentuk paralel satu sama lain, sedangkan pada sisi batuan yang landai akan membentuk tipe alur dendritik, bercabang, atau sentripetal (menuju ke satu titik)

Gambar 1.17. *Solution Runnels* (M. L. Perissinotto, 2009)

4) *Decantation runnels*, terbentuk akibat akumulasi air pada satu titik sisi batuan dan secara perlahan-lahan mengalir sehingga membentuk alur yang semakin menyempit di ujung/hilirnya. Terdapat dalam beberapa ukuran panjang hingga 100 m, seperti *wall karren* atau *wandkarren* dan *maandkarren.*



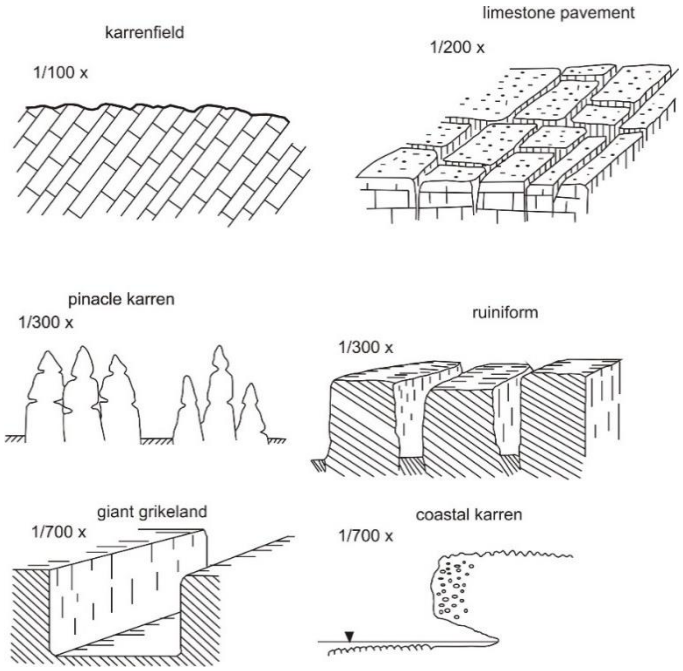
Gambar 1.18. *Decantation runnels* (Ugo Sauro, 2009)

5) *Decantation flutings*, cairan pelarut berasal dari aliran lembar (biasanya dari aliran diffuse) di sisi atas batuan yang mengalir dan melarutkan sisi batuan hingga membentuk alur-alur sejajar dengan lebar 1-50 sentimeter.

6) *Flutted scallops* atau *solution ripples*, bentuk alur-alur bergelombang/seperti riak dengan orientasi sesuai arah aliran. Merupakan salah satu jenis dari bentukan scallop. Sangat menonjol sebagai komponen penyusun pola kerutan (*cockling pattern*) pada lereng yang curam atau terbuka.

d. Bentuk poligenetik

1) *Karrenfeld*, istilah umum untuk menyebut sebidang karren yang terekspos ke permukaan.
2) *Limestone pavement*, tipe karrenfeld yang didominasi oleh rekahan atau alur-alur (*clint* dan *grike*)
3) *Pinnacle karst*, bentukan morfologi pinnacle karst pada batuan karst yang kadang terekspose ke permukaan ketika tanah penutupnya tererosi. Dapat mencapai ketinggian 45 meter dan lebar 20 meter di bagian dasar
4) *Ruiniform karst*, kumpulan alur-alur (*grike*) lebar dan rekahan (*clint*) yang sudah terdegradasi dan terekspos karena tanah di permukaannya tererosi.
5) *Corridor karst* atau *labyrinth karst* atau *grikeland*, bentuk rekahan dan alur-alur dengan skala yang lebih besar, dapat mencapai lebar beberapa meter dan panjang hingga 1 km.
6) *Coastal karren*, bentuk topografi pelarutan batuan gamping atau dolomit pada daerah pesisir atau dataran lacustrine yang diklasifikasikan tersendiri.



Gambar 1.19. Bentuk-bentuk karren tipe poligenetik (Ford dan Williams, 1989)

1.3. Kebutuhan Data

Data yang digunakan dapat di lihat di Tabel 1.

Tabel 1. Data yang dikumpulkan

Data	Cara Perolehan Data
1. Batas doline	Citra penginderaan jauh/peta kontur
2. Orde doline	Citra pendinderaan jauh/peta kontur
3. Bentuk bukit	Pengamatan lapangan
4. Lereng bukit	Pengamatan lapangan
5. Tinggi/Relief	Pengukuran/perkiraan dari lapangan
6. Lembah	Citra pengindraan dan pengamatan lapangan

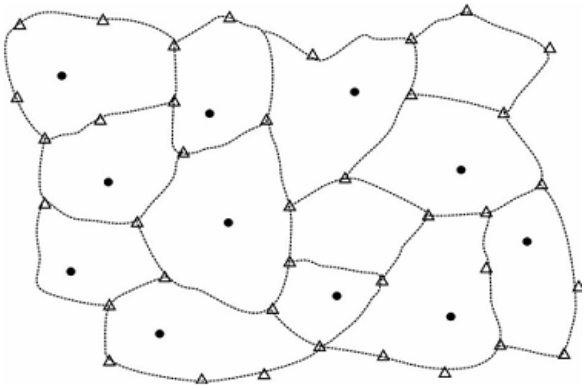
1.4. Metode Pengukuran

1.4.1. Batas Doline

Delineasi batas doline dianjurkan menggunakan citra penginderaan jauh. Delineasi doline juga dapat dilakukan dengan peta topografi. Lembah-lembah kering yang bermuara ke doline didelineasi menjadi satu kesatuan dengan doline tersebut. Contoh hasil delineasi daerah tangkapan hujan doline ditunjukkan oleh Gambar 1.20.

Langkah kerja

1. Siapkan foto udara/citra pengindraan jauh resolusi sedang atau peta kontur
2. Delineasi doline dengan menghubungkan puncak-puncak bukit di sekitar cekungan/doline

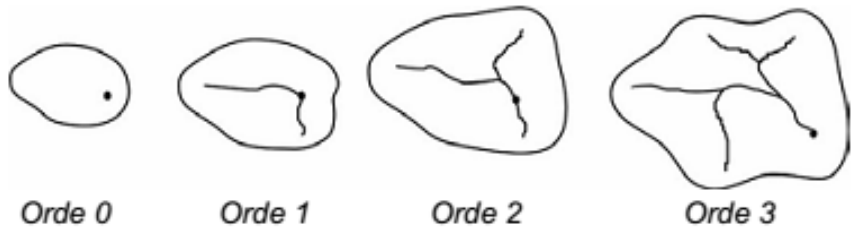


..... Batas doline △ Puncak bukit karst ● Ponor/swalet

Gambar 1.20. Hasil delineasi batas doline (Haryono dan Adji, 2004)

1.4.2. Orde doline

Orde doline dilakukan setelah tahapan membatasi doline.Seperti halnya pada sistem aliran permukaan yang daerah tangkapan air dari doline dapat dinyatakan dalam orde-orde tertentu, daerah tangkapan doline juga dapat dinyatakan ke dalam sistem orde sungai yang dikembangkan Strahler mapun Horton. Pembagian orde doline telah dicoba oleh Williams (1971) sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 1.21.



Gambar 1.21 Delineasi lembah, baik berair maupun kering

1.4.3. Pengamatan dan pengukuran bukit karst

Pengamatan dan pengukuran lapangan dilakukan untuk mengamati dan pengukuran morfologi bukit karst.Tahapan pengamatan dan pengukuran lapangan

1. **Pengukuran Lereng**

   Alat yang dibutuhkan berupa

   a. Kompas Brunton
   b. Klinometer
   c. GPS
   d. Laser disto atau meteran
   e. Checklist

   Adapun langkah – langkah yang dilakukan antara lain

   a. Pilihlah bukit yang akan diukur kemiringan lerengnya
   b. Sejajarkan bagian datar dari kompas brunton dengan siluet bukit (kompas dalamposisi terbuka menghadap ke pengamat
   c. Putarlah tuas yang berada di belakang kompas hingga gelembung pada nifo tabung berada di tengah.
   d. Bacalah kemiringan lereng pada skala yang berada di dasar kompas bagian dalam
   e. Catatlah kedalam lembar inventarisasi

1.4.4. Dokumentasi morfologi karst

Alat yang di butuhkan berupa kamera dan perlengkapan untuk sketsa saat di lapangan. Adapun langkah – langkahnya, antara lain

1. Gambarlah sketsa atau potret bukit yang sedang diamati. Potret diusahakan meliput semua bukit dari dasar hingga puncak. Diusahakan sudut pengambilan mendekati horizontal
2. Setiap foto diusahakan diberi pembanding sebagai skala. Jika obyeknya bukit, skala dapat menggunakan orang yang berdiri. Jika obyeknya kecil, skala dapat menggunakan ballpoint, palu geologi, tutup lensa, atau obyek lain yang sudah banyak dikenal orang
3. Catatlah nomor foto kedalam lembar inventarisasi. Catatlah arah hadap lensa kamera dalam lembar inventarisasi

Daftar Pustaka

Field, M.S. 1999. A Lexicon of Cave and Karst Terminology with Special Reference to Environmental Karst Hydrology, Washington DC: US *Environmental Protection Agency*

Ford, D.C. and Williams, P.W. 1989. *Karst Geomorphology and Hydrology*, Unwin Hyman, London,

Ford D dan Williams P.2007. *Karst Hydrogeology and Geomophology*. England: British library

Gams, I. 1978. The Polje: The Problem of its Definition. *Zeitschrift fur Geomorpholigie*, 22, 170-181

Haryono, E. dan Adjie, T.N. 2004. *Geomorfologi dan Hidrologi Karst*. Yogyakarta: Kelompok Studi Karst Fakultas Geografi UGM

Indartin, T,R,D. 2014. Analisis Kerentanan Intrinsik Air Tanah dan Risiko Pencemaran di Karst Rengel, Kabupaten Tuban. *Tesis* tidak dipublikasikan. Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada.

Jennings, J.N. 1985. Karst Geomorphology: Basil Blackwell, New York, 293 p Tiankeng: definition and description Zhu Xuewen (1) and Tony Waltham (2) *Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers* 2006, 4 (1), p.2

Sweeting, M.M. 1972. *Karst Landforms*. London: Macmillan.

White, W.B. 1988. *Geomorphology and Hydrology of Karst Terrain*. New York. Oxford University Press

Williams, P.W. 1969. The Geomorphic Effects of Groundwater, in Water, *Earth and Man* (ed. R. J. Chorley), Methuen, London, pp. 269–84.

Waltham, A.C. and Fookes, P.G. 2003. Engineering Classification of Karst Ground Conditions. *Quaterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 36, 101–18.

Waltham, T. 2008: Fengcong, Fenglin, Cone Karst and Tower Karst. *Cave And Karst Science* 35(3):P77-88

Zhu Xuewen, Z dan Weihai, C. *2006* Tiankengs in the Karst of China *Journal Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers*

BAB II

Hidrologi dan Hidrogeologi Karst

M. Widyastuti, Ahmad Cahyadi, dan M. Haviz Damar Sasongko

2.1 Maksud dan Tujuan Instruksional

Kegiatan survei cepat ini bertujuan untuk mengumpulkan data-data mengenai kondisi hidrologi karst yang meliputi aspek kuantitas, kualitas dan sebaran spasial. Tujuan tersebut dapat dirinci sebagai berikut:

1. Mengetahui besarnya debit aliran sungai permukaan, sungai bawah permukaan, airtanah dan mata air;
2. Mengetahui kondisi kualitas fisik dan kimia air sungai permukaan, sungai bawah permukaan, airtanah dan mata air.
3. Mengetahui sistem jaringan sungai bawah tanah melalui metode penelusuran.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Hidrologi Karst

Sistem hidrologi karst dikontrol oleh sistem pelorongan yang dibentuk oleh proses pelarutan batuan, sehingga sangat berbeda dengan sistem hidrologi yang terdapat pada media porus yang dikontrol oleh ruang antar butir batuan. Karst sebagai suatu sistem mempunyai heterogenitas yang tinggi dan anisotropis (Atkinson, 1985; Goldscheider, 2005). Hal yang dapat dilihat secara jelas pada sistem karst yang sudah berkembang nampak bahwa sangat jarang/ tidak dijumpai sungai permukaan. Sistem yang lebih berkembang adalah lorong-lorong pelarutan seperti gua dan sungai bawah tanah. Sistem hidrologi bawah permukaan dalam tulisan ini selanjutnya disebut sebagai sistem airtanah.

Sistem aliran di kawasan karst oleh White (1988) dikelompokkan menjadi dua, yakni aliran yang didominasi oleh ruang antar butir batuan (*diffuse*) dan aliran yang didominasi oleh lorong-lorong pelarutan (*conduit*). Namun demikian, beberapa ahli menambahkan jenis aliran yang didominasi oleh sistem rekahan (*fissure*). Aliran *diffuse* memiliki sifat penyimpanan air yang baik, karena aliran pada ruang antar butir mengalir dengan lambat. Jenis aliran ini yang akan berkontribusi paling besar dalam mensuplai aliran pada mata air dan sungai bawah tanah pada musim kemarau. Aliran *conduit* memiliki kecepatan aliran yang tinggi, sehingga memiliki fungsi sebagai pengatus. Jenis aliran ini

adalah aliran yang berkontribusi besar pada kejadian banjir pada mata air dan sungai bawah tanah.

Porositas pada akuifer karst dibentuk oleh rekahan-rekahan batuan karena struktur geologi maupun pelarutan batuan. Porositas yang demikian kemudian selanjutnya disebut porositas sekunder dan rongga antar butir penyusun batuan yang disebut sebagai porositas primer. Porositas primer mempunyai sifat isotropik, sifat aliran laminer, dan mempunyai respon yang lambat. Porositas sekunder mempunyai sifat anisotropis dengan muka airtanah yang tidak teratur, sifat aliran laminer dengan respon yang menengah. Jenis porositas tersebut kemudian akan berpengaruh jenis aliran dan sifat khas masing-masing jenis aliran (Gillieson, 1996). Tabel 2.1. menunjukkan karakteristik masing-masing jenis aliran.

Tabel 2.1. Tipe Porositas, Jenis Aliran dan Karakteristik Akuifer Karst

Karakteristik	**Aliran Diffuse (Porositas Primer)**	**Aliran Fissure (Porositas Sekunder)**	**Aliran Conduit (Porositas Sekunder)**
Komponen	Rongga antar butir, celah mineral, dan *vughs*	Kekar dan retakan batuan, bidang lapisan batuan, celah mineral yang saling berhubungan	Saluran terbuka dan pipa dengan ukuran dan bentuk yang beragam
Keseragaman	Pada umumnya isotropik	Pada umumnya anisotropik sebagai akibat dari retakan, sering berorientasi pada arah tertentu	Anisotropik dan membentuk jaringan
Regim aliran	Laminer	Laminer – turbulen	Turbulen
Hukum Hidraulika	Darcy	Hagen-Poseuille	Darcy-Weisbach
Muka Air Tanah	Mudah ditentukan	Permukaan tidak merata	Sering menggantung di beberapa ketinggian
Respon terhadap imbuhan	Lambat	Sedang	Cepat

Sumber: Gillieson (1996)

Sistem drainase kawasan karst menurut Ford dan Williams (2007) dapat dibedakan menjadi dua mintakat, yaitu mintakat epikarst dan mintakat endokarst. Mintakat epikarst merupakan bagian atas lapisan batuan di kawasan karst yang mengalami proses pelarutan intensif. Mintakat epikarst ini dapat dibedakan lagi menjadi dua bagian, yaitu (1) bagian bawah permukaan (*cutaneous zone*) serta (2) bagian regolith dan bagian yang mengalami pelebaran rekahan akibat pelarutan (*subcutaneous zone*). Mintakat endokarst dibedakan menjadi mintakat yang tidak jenuh (*vadose zone*) dan mintakat jenuh air (*phreatic zone*).

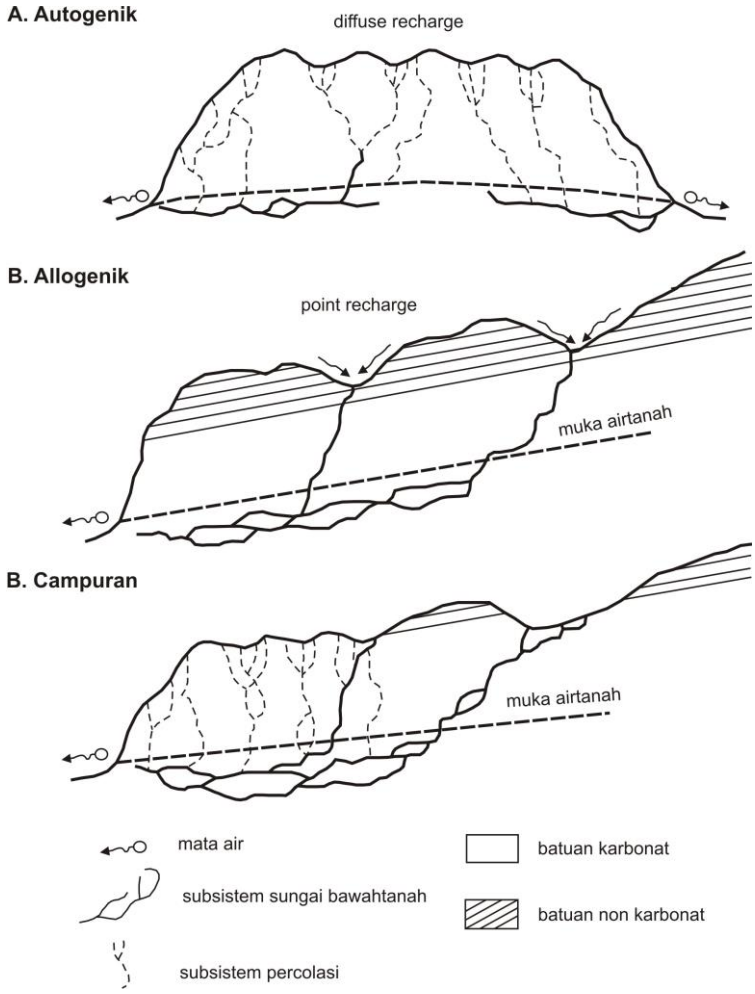
White (1988) menjelaskan sistem aliran internal pada akuifer karst, di bagian atas (permukaan tanah), diasumsikan memiliki tiga komponen daerah tangkapan air, yaitu: kawasan karst, kawasan non-karst yang berdekatan (aliran *allogenic*), dan masukan dari bagian atas kawasan karst (sungai masuk/tertelan) atau masukan langsung secara vertikal. Hujan yang jatuh di permukaan tanah kaawasan karst sebagian akan mengalami penguapan, dan sisanya akan masuk ke sistem akuifer karst sebagai *allogenic runoff, internal runoff* dan *diffuse infiltration* (Gambar 2.1). Hujan yang jatuh harus menjenuhkan tanah dan zona rekahan (*epikarst*) sebelum masuk ke zona aerasi. Sungai yang tertelan dan masuk melalui ponor pada doline/lembah biasanya langsung membentuk lorong (*conduit*) dan dapat berkembang menjadi saluran terbuka. Selain itu, air yang dialirkan dari daerah tangkapan hujan di atas kawasan karst akan menuju zona aerasi melalui lorong-lorong vertikal (luweng). Akhirnya, aliran tersebut bergabung dengan lorong *conduit* (sungai bawah tanah) dari masukan lain dan/atau ada juga yang menjadi mataair.

2.2.2 Mata Air Karst

Mata air adalah pemunculan airtanah ke permukaan Bumi karena suatu sebab. Proses pemunculan mata air karst disebabkan oleh beberapa hal, yaitu topografi, gravitasi dan struktur geologi. Sementara itu, mata air karst menurut White (1988) adalah air yang keluar dari akuifer karst terutama pada *cavities* hasil pelarutan di permukaan atau bawah permukaan Bumi.

Menurut Haryono dan Adji (2004), beberapa keunikan yang dijumpai pada mata air karst antara lain: (1) mata air dengan debit sama, bersuhu sama, kesadahan sama dapat dijumpai pada mataair karst yang lain; (2) mata air karst biasanya mempunyai debit yang besar; dan (3) karakteristik mata air karst sangat tergantung tingkat karstifikasi (perkembangan karst). Elevasi suatu mata air dapat semakin dalam menurut waktu, dan bila mencapai *local base level* maka mata air yang kecil akan hilang dan bergabung seiring dengan melebarnya

konduit. Dengan kata lain, semakin sedikit jumlah mata air maka debitnya akan semakin besar.

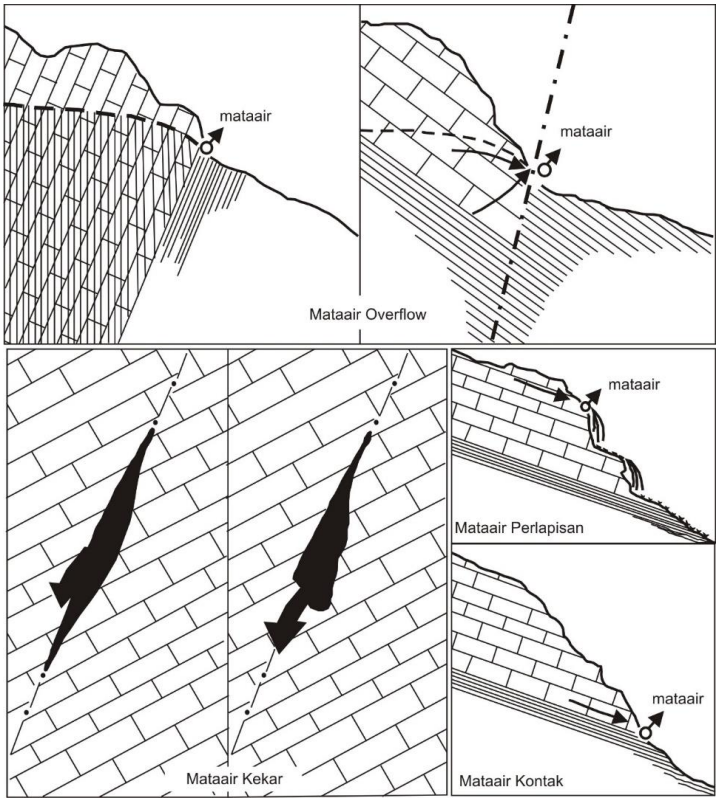


Gambar 2.1. Tiga Komponen Daerah Tangkapan Air Kawasan Karst (Ford dan Williams, 2007)

Klasifikasi mata air karst tidak jauh berbeda dengan mataair secara umum. White (1988) mengklasifikasikan mata air atas dasat periode pengalirannya, struktur geologi dan asal airtanah karst. Klasifikasi mata air berdasarkan periode pengalirannya: *perennial, periodic, intermitent,* dan *episodic*. Klasifikasi mata air atas dasar struktur geologi: *bedding/contact, fracture, descending* dan *ascending*. Atas dasar asal airtanah, mata air

diklasifikasikan: *emergence, resurgence, dan exurgence.* Karakteristik mata air tersebut dijelaskan sebagai berikut:

1. Klasifikasi mataair berdasarkan periode pengalirannya
   a. *Perennial springs*: mata air karst yang mempunyai debit yang konsisten sepanjang tahun;
   b. *Periodic springs*: mata air karst yang mengalir pada saat ada hujan saja;
   c. *Intermitten springs*: mata air karst yang mengalir pada waktu musim hujan; dan
   d. *Episodically flowing springs*: mata air karst yang mengalir pada saat-saat tertentu saja dan tidak berhubungan dengan musim atau hujan.
2. Klasifikasi mata air berdasarkan struktur geologi (Gambar 2.2)
   a. *Bedding/contact springs*: mata air karst yang muncul pada bidang perselingan formasi batuan atau perubahan jenis batuan, misal jika akuifer gamping terletak di atas formasi breksi vulkanik;
   b. *Fracture springs*: mata air karst yang keluar dari bukaan suatu *joint* atau kekar atau retakan di batuan karbonat;
   c. *Descending springs*: mata air karst yang keluar jika ada lorong *conduit* dengan arah aliran menuju ke bawah; dan
   d. *Ascending springs*: mata air karst yang keluar jika ada lorong conduit dengan arah aliran menuju ke atas. Jenia mata air ini apabila memiliki debit besar, maka sering disebut sebagai *vauclusian spring*.
3. Klasifikasi mataair berdasarkan asal airtanah
   a. *Emergence springs* : mata air karst yang mempunyai debit besar tetapi tidak cukup bukti mengenai daerah tangkapannya;
   b. *Resurgence springs* : mata air karst yang berasal dari sungai yang masuk kedalam tanah dan muncul lagi di permukaan; dan
   c. *Exurgence springs: mata air karst dengan debit kecil dan lebih berupa rembesan-rembesan (seepages).*



Gambar 2.2. Klasifikasi Mataair Berdasarkan Struktur Geologi (White, 1988)

2.2.3 Kualitas Air

Peraturan Pemerintah (PP) Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 1990 menyebutkan bahwa kualitas air adalah sifat air dan kandungan makhluk hidup, zat, energy, atau komponen lain di dalam air. Pengertian ini nampaknya memiliki kesusuaian dengan pengertian hidrokimia air yang dikemukakan oleh Gilli *et.al.*, (2012). Menurutnya hidrokimia air adalah karakteristik fisik, kimia, isotopik dan mikrobiologi yang ada dalam air. Pembahasan terkait dengan kualitas air erat kaitannya dengan permasalahan degradasi air. Airtanah di kawasan karst memiliki kerentanan terhadap pencemaran yang tinggi. Menurut Goldscheider (2005), hal tersebut disebabkan oleh tipisnya lapisan tanah sebagai filter pencemar, konsentrasi aliran terdapat pada daerah epikarst (tempat terjadinya rekahan secara intensif dan lapisan karst dari akuifer karbonat), serta resapan air melalui ponor sehingga kontaminan dapat dengan mudah mencapai airtanah dan tersebar secara cepat di dalam saluran karst (*karst conduit*) mencapai jarak yang jauh. Oleh karenanya pemahaman mengenai kualitas air pada kawasan karst

menjadi penting baik terkait dengan faktor pencemar, sumber pencemar dan proses yang mempengaruhi.

Komposisi kimia air pada sistem hidrologi karst dipengaruhi oleh penggunaan lahan, mekanisme imbuhan (difus atau terkonsentrasi), kondisi iklim, batuan dan tipe aliran (difus atau konduit) (Goldscheider dan Drew, 2007). Beberapa proses penting yang mempengaruhi komposisi kimia airtanah menurut Appelo dan Postma (1993) meliputi evaporasi dan evapotranspirasi, pengambilan (*uptake*) ion secara selektif oleh vegetasi dan penimbunan dalam biomassa, pelapukan dan pelarutan, pengendapan mineral, reaksi pertukaran ion, percampuran dengan air yang berbeda kualitasnya, serta aktivitas manusia. Smart dan Hobbes (1986) menyebutkan secara khusus untuk daerah karst bahwa tingkat kerentanan airtanah terhadap pencemaran ditentukan oleh faktor kondisi infiltrasi, kondisi epikarst, jaringan sungai bawah tanah, dan penutupan tanah. Revbar (2007) menjelaskan bahwa berbagai macam proses alami yaitu proses fisika, kimia maupun biologi akan berpengaruh terhadap kadar polutan selama pergerakannya pada zona tanah, zona tak jenuh dan sistem airtanah; serta perubahan kondisi fisik maupun bentuk kimia polutan.

White (1988) mengelompokkan beberapa sumber pencemar airtanah di daerah karst ke dalam beberapa kategori. Sumber-sumber polutan bagi airtanah tersebut adalah limbah domestik dan publik (*septic tank*, *outhouse*, *sewer*, tempat pembuangan sampah, ponor/luweng buangan), aktivitas pertanian (limbah ternak/organik, pupuk, insektisida dan herbisida), konstruksi (akumulasi garam (cuaca dingin), area parkir, material yang dipindahkan (dikeruk), dan ladang minyak) dan pertambangan, aktivitas industri (timbunan minyak, dan pendistribusian, *outlet* limbah, dan buangan kimia). Jenis zat pencemar, yaitu: radioaktif, logam (aluminium, arsenik, boron, kadmium, khromium, kuprum, nikel, merkuri), nutrien (ion atau campuran organik termasuk nitrogen dan phospor), zat inorganik (magnesium, natrium, karbonat, sulfat, klorida dan fluorida), zat organik (hidrokarbon aromatik yang mudah larut; benzene, toluene, ethylbenzene, paraxylene, campuran lain sering ada pada lokasi buangan limbah), dan biologi (bakteri patologis, virus atau parasit).

Goldscheider dan Drew (2007) menjelaskan secara rinci beberapa faktor yang mempengaruhi variasi parameter hidrokimia di kawasan karst seperti disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Faktor-faktor yang Mengontrol Variasi Hidrokimia

Hubungan	Parameter	Sumber	Jerapan
Tanah-Parameter	CO_2	Degradasi bahan organik dan pernafasan akar	Pelarutan mineral karbonat
	^{222}Rn	Peluruhan radioaktif ^{226}Ra	Peluruhan radioaktif waktu paruh 3,8 hari
	DOC (Karbon organik terlarut)	Dekomposisi seresah dan humus	Penyerapan mineral lempung, biodegradasi
	NO_3^{-} (1)	Pupuk sintetis dan organik, nitrifikasi NH_4^+ dari pupuk	Denitrifikasi kondisi anaerob
	NH_4^+ (1)	Pupuk sintetis dan organik, dekomposisi bahan organik tanah	Nitrifikasi, pertukaran ion
	PO_4^{3-} (1)	Pupuk sintetis dan organik	Penyerapan Fe hidroksida, oengendapan dengan Ca^+
	Cl- (1)	Pupuk, hujan, garam	Konservatif
	SO_4^{2-} (1)	Pupuk	Konservatif kecuali kondisi ekstrim
	K^+ (1)	Pupuk, pelarutan silikat	Pertukaran ion
	Kekeruhan	Partikel dari zone tanah, sedimen dalam konduit	Filtrasi
Batuan karbonat-parameter	Ca_2^+	Pelarutan mineral karbonat	Pertukaran ion, pengendapan mineral karbonat
	Mg_2^+	Pelarutan mineral karbonat	Pertukaran ion
	HCO_3^-	Pelarutan mineral karbonat	pengendapan mineral karbonat
	$\delta^{13}C$ ke DIC	Pelarutan gas CO2 tanah, mineral karbonat	

Lanjutan Tabel 2.2

Hubungan	Parameter	Sumber	Jerapan
Parameter yang terkait dengan batuan jenis lainnya	SO_4^{2-}	Pelarutan gipsum dan anhydrite pada evaporit	Konservatif kecuali dalam kondisi penurunan
	Sr^{2+}	Pelarutan celestite	Pertukaran ion
	Variasi jejak logam	Pelarutan evaporit	
senyawa antropogenik	Logam	Pupuk, air permukaan di jalan, polusi udara	Adsorpsi, pengendapan
	Pestisida	Pertanian	Adsorpsi, transformasi
	Senyawa organik yang mudah menguap	Tempat industri, tempat pembuangan sampah, lalu lintas	Penguapan, penyerapan, biodegradasi

(1)sebagain berasal dari antropogenik
Sumber: Goldscheider dan Drew (2007)

2.2.4 Pendugaan Sungai Bawah Tanah

Teknik *water tracing* dikenal secara luas sebagai salah satu metode yang dapat dipertanggungjawabkan untuk mencari hubungan antar gua atau sistem sungai bawah tanah di akuifer karst. Salah satu aplikasi metode ini di Indonesia misalnya pernah dilakukan oleh MacDonalds and Partners (1984) untuk melacak sistem sungai bawah tanah di kawasan karst Gunung Sewu, Daerah Istimewa Yogyakarta. Hasil pelacakan tersebut sampai sekarang masih digunakan oleh pihak-pihak yang berkepentingan terhadap pengembangan sumberdaya air karst di wilayah tersebut. Teknik ini secara sederhana adalah memasukkan atau menuang zat pelacak pada aliran air di *swallow hole*, sungai yang akan masuk ke gua, atau ponor/sinkhole dan kemudian menghadang atau menjemput pada suatu lokasi yang diperkirakan mempunyai hubungan dengan titik awal tempat zat tracer dituangkan. Jika zat tracer yang kita tuang "tertangkap" secara fisik ataupun dengan alat pengukur (Fluorometer), maka dapat dipastikan bahwa terdapat hubungan antara titik penuangan zat tracer dengan titik pengamatan.

2.3 Kebutuhan Data

Data yang dikumpulkan dalam survei cepat kondisi hidrologi kawasan karst ini berupa data pengamatan hidrologi berupa koordinat mata air, gua, ponor/sinkhole dan *swallow hole*, jenis mata air, kondisi aliran, serta penggunaan

sumber air. Selain itu, dilakukan pula pengambilan data debit dan kualitas sungai (permukaan dan bawah permukaan), dan mata air.

2.4 Metode Pengukuran Debit

Beberapa hal yang dapat digunakan sebagai pertimbangan untuk pengukuran debit aliran adalah kondisi tempat dan jaringan stasiun pengukuran. Kondisi tempat mempertimbangkan dua hal yaitu ketelitian pengukuran dan kestabilan penampang sungai. Beberapa persyaratan yang ditentukan untuk melakukan pengukuran debit aliran adalah:

1. Dapat dipakai untuk mengukur aliran rendah sampai tinggi;
2. Pada bagian yang relatif lurus;
3. Penampang sungai reguler;
4. Penampang sungai stabil (tidak terjadi *scouring* atau sedimentasi);
5. Tidak ada pengaruh aliran balik (*back water* atau jauh dari cabang sungai atau muara);
6. Tidak ada tumbuhan air; dan
7. Perubahan tinggi muka air nyata.

Sedangkan pertimbangan jaringan stasiun aliran memperhatikan hal berupa tujuan penelitian, kerekayasaan, tipe stasiun (utama, sekunder, khusus), dan kepadatan stasiun aliran. Debit aliran sungai dapat diukur dengan berbagai cara tergantung dari kondisi aliran air, alur sungai dan ketersediaan alat.

2.4.1 Metode Volumetrik

Metode volumetrik adalah cara mengukur debit secara langsung dengan manampung aliran air dalam gelas ukur atau ember yang diketahui volumenya. Hal yang dilakukan dalam perhitungan debit aliran dengan metode ini adalah mengukur lama pengisian tampungan dalam waktu tertentu. Debit (Q) = volume air per waktu. Cara ini tidak dapat digunakan untuk aliran besar dan cocok untuk mengukur debit mataair atau rembesan.

2.4.2 *Slope Area Method*

Debit aliran dapat pula dihitung atas dasar pengukuran kecepatan aliran dengan rumus hidraulik yaitu rumus Manning atau rumus Chezy serta pengukuran penampang basah. Kemiringan muka air, kekasaran dasar, luas penampang dan "*wetted perimeter*" perlu diukur di lapangan. Perkiraan debit aliran saat banjir yang tidak terukur dapat dilakukan dengan memperhatikan bekas muka air yang ditinggalkan oleh kejadian banjir. Rumus Manning diterapkan juga untuk menghitung kapasitas alur sungai atau saluran irigasi atau

saluran drainase kota. Rumus yang digunakan dalam metode ini adalah sebagai berikut:

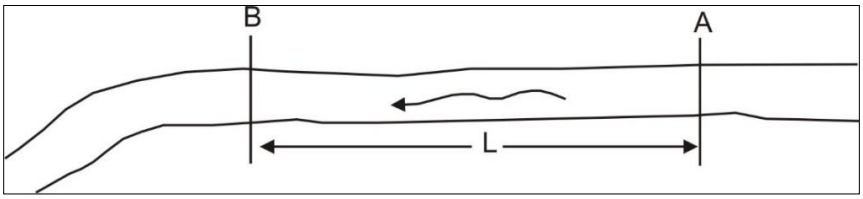
$$\mathbf{V} = \frac{R^{2/3} \cdot S^{1/2}}{n} \quad \text{..... (2.1)}$$

$$\mathbf{Q} = \frac{AR^{2/3} \cdot S^{1/2}}{n} \quad \text{..... (2.2)}$$

keterangan :
v = Velocity (*Spesific discharge*) (m/lt)
Q = *discharge*
R = radius hydraulic (m); didapat dari R = A/P
A = luas penampang basah (m^2)
P = *wetted perimeter*
n = koefisien roughness Manning`s (diantara 0,025 – 0,07 di saluran alami)
S = kemiringan sungai.

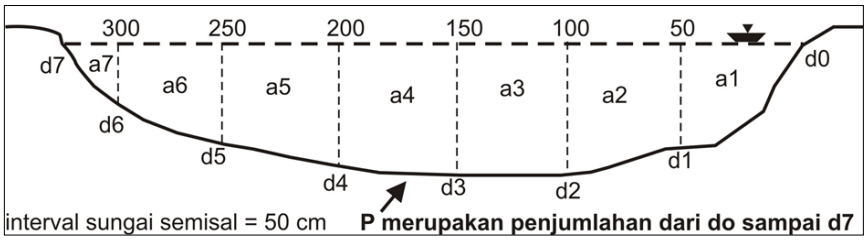
Langkah-langkah pengambilan data, sebagai berikut:

1. Pilih penggal sungai yang relatif lurus dengan lebar dan kedalaman yang relatif seragam, kemudian ukur panjang penggal sungai (L) yang akan digunakan untuk perhitungan debit (Gambar 2.3).



Gambar 2.3. Contoh Penentuan

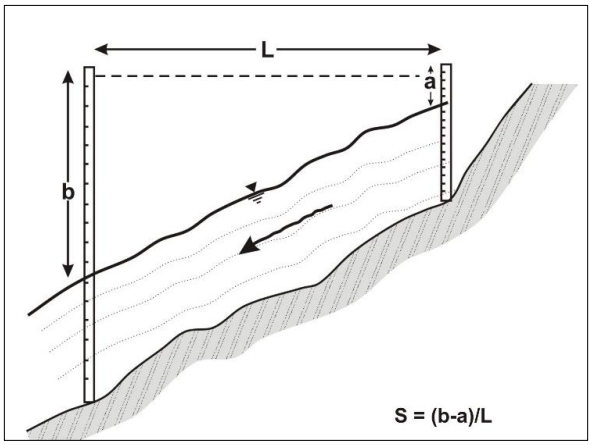
2. Buat Profil melintang dengan beberapa interval pada penggal sungai yang telah dipilih untuk mengetahui kedalaman dan jarak antar interval pengukuran kedalaman. Hasil pengukuran tersebut akan digunakan untuk menghitung luas penampang sungai dan panjang perimeter basah pada penggal yang dipilih.



Gambar 2.4. Contoh Profil Melintang Sungai

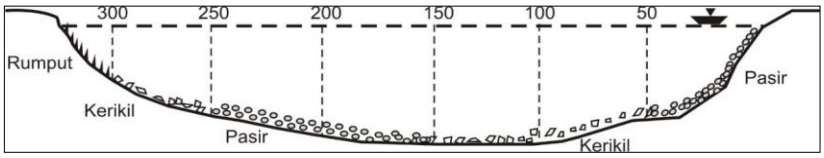
3. Ukur gradien hidraulik
   a. Ukur jarak seksi (L)
   b. Ukur beda tinggi muka air

$$S = \frac{b - a}{L} \quad \text{.....} \quad (2.3)$$



Gambar 2.5. Pengukuran Beda Tinggi Muka Air

4. Catat kondisi dasar saluran (untuk menetapkan nilai koefisien kekasaran manning (n)), perhatikan:
   a. materi dasar sungai (lujmpur, pasir, gravel)
   b. tumbuhan (rumput, perdu, pohon)



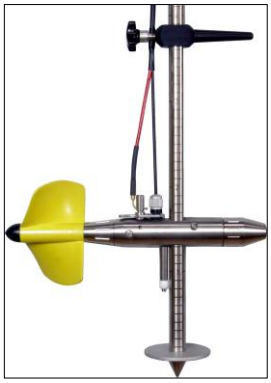
Gambar 2.6. Kondisi Dasar Sungai

2.4.3 *Velocity Area Method*

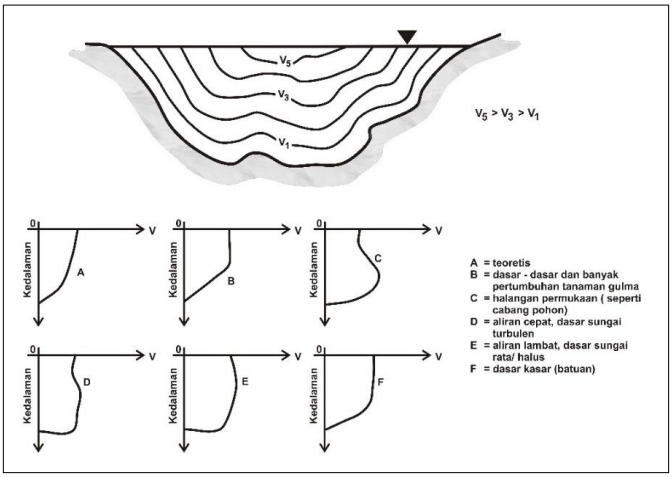
Debit aliran dapat pula dihitung atas dasar pengukuran kecepatan aliran dan luas penampang basah. Kecepatan aliran dapat diukur dengan *current meter* atau menggunakan metode apung (pelampung). Keduanya memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing dalam aplikasinya di lapangan.

1. Pengukuran Kecepatan Aliran dengan *Current Meter*

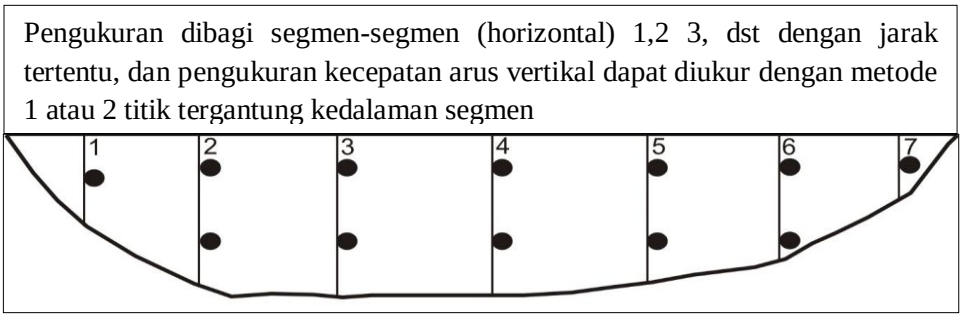
Current meter (Gambar 2.7) adalah alat untuk mengukur kecepatan aliran. Setiap current meter mempunyai rumus kecepatan aliran. Persamaan umum yang ada misalnya V_{air} = a + bn, di mana a dan b adalah koefisien regresi, sedangkan n adalah jumlah putaran baling dibagi dengan waktu. Pengukuran debit aliran dengan menggunakan *current meter* mencakup pengukuran kecepatan aliran dan pengukuran luas penampang basah. Mengingat bahwa distribusi kecepatan aliran baik arah horisontal dan vertikal tidak sama (Gambar 2.8), maka perlu teknik sampling pengukuran dan teknik perhitungannya. Contoh pengambilan sampel pengukuran kecepatan aliran ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.7. *Current Meter*



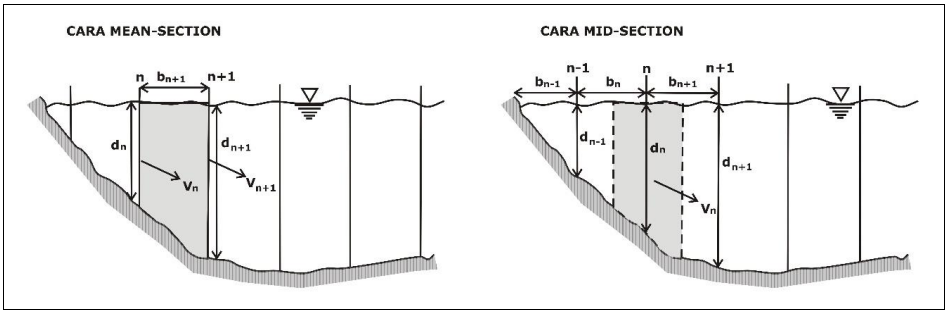
Gambar 2.8. Distribusi kecepatan aliran sungai (Seyhan, 1990)



Gambar 2.9. Contoh Sampling Pengukuran Kecepatan Aliran pada Suatu Penampang Sungai (Seyhan, 1990)

Perhitungan debit aliran dilakukan dengan mengalikan kecepatan aliran dengan luas penampang basah. Luas penampang basah dapat dihitung dengan beberapa cara seperti yang tersaji di Gambar 2.10. Beberapa cara tersebut meliputi:

a. *Mid section method*
b. *Mean section method*
c. *Graphical method*



Gambar 2.10. Cara Menghitung Luas Penampang Basah (Soewarno, 2000)

Adapun langkah-langkah dalam melakukan pengambilan data dengan *current meter*, sebagai berikut:

a. Pilih lokasi pengukuran debit dengan syarat-syarat sebagai berikut :
   1) penggal sungai terletak pada bagian yang relatif lurus;
   2) jauh dari pertemuan cabang sungai;
   3) dasar sungai relatif stabil;
   4) tidak ada gangguan dari tumbuh-tumbuhan air; dan
   5) aliran tidak melimpah melewati tebing sungai.

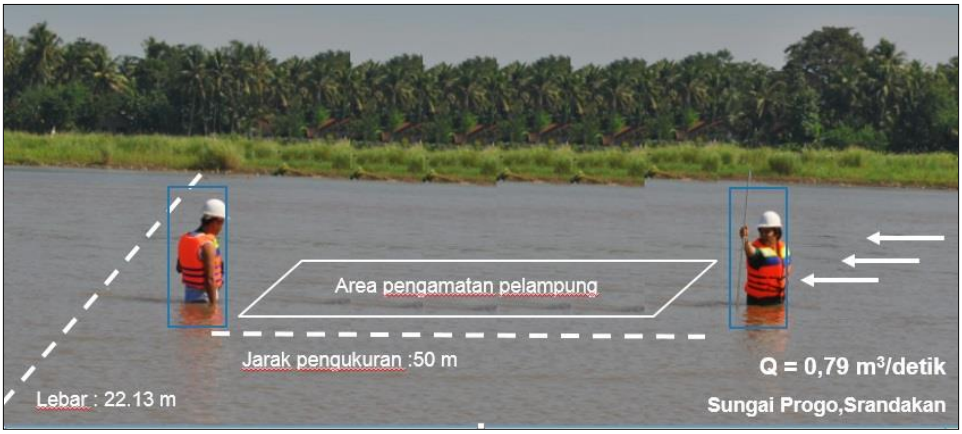
b. Tentukan arah penampang melintang, harus t egak lurus arah aliran;
c. Catat: tanggal pengukuran, nama sungai, lokasi pengukuran (koordinat dan administratif), nomor *current meter*, persamaan current meter yang digunakan dan sketsa pengukuran;
d. Ukur lebar permukaan air sungai, temukan interval seksi (tidak boleh lebih besar dari 1/20 total lebar);
e. Siapkan *current meter* (periksa jalannya putaran baling-baling dan bunyi "*siren horn*") serta cek apakah sudah terhubung dengan odometer sebagai pencatat banyaknya putaran;
f. Siapkan *stop watch* untuk mengatur lamanya waktu pengukuran;
g. Saat mulai pengukuran harap dicatat: waktu/jam, tinggi muka air (baca *staff gauge*), pengukuran dimulai dari tepi kanan atau kiri;
h. Ukur jarak dari tepi air (titik nol) sampai dititik seksi tempat pengukuran kecepatan aliran (catat dalam kolom 1).
i. Ukur kedalaman air pada seksi tersebut (d) dengan mistar ukur/stik *current meter* (catat dalam kolom 2); dan
j. Pilih cara pengukuran kecepatan aliran, sesuai dengan point d (Tabel 2.3).

Tabel 2.3. Beberapa Cara Pengukuran Kecepatan Aliran dengan Menggunakan *Current Meter*

Tipe	**Kedalaman Air (d)**	**Titik Pengamatan**	**Kecepatan rata-rata pada vertikal (V)**
Satu titik	0.3-0.6 m	0,6 dari permukaan	V = V
Dua titik	0.6-3 m	0,2 dan 0,8 d	$V = ½ (V_2 + V_8)$
Tiga titik	3-6 m	0,2; 0,6; 0,8 d	$V = ¼ (V_2 + 2V_6 + V_8)$
Lima titik	lebih 6 m	S; 0,2; 0,6; 0,8 dan B	$V = 1/10 (V_s + 3V_2 + 2V_6 + 3V_8 + V_b)$

2. Pengukuran Kecepatan Aliran dengan Pelampung

Bila kondisi aliran tidak memungkinkan diukur dengan *current meter*, kecepatan aliran dapat diukur dengan menggunakan pelampung. Perhitungan kecepatan aliran dengan pelampung dihitung dengan rumus Kecepatan aliran (v_{air}) = k Vp. Di mana Vp adalah kecepatan pelampung yang diukur saat pengukuran dan k adalah koefisien koreksi dari pelampung yang digunakan. Gambar 2.11 menunjukkan cara pengukuran debit aliran dengan metode apung.

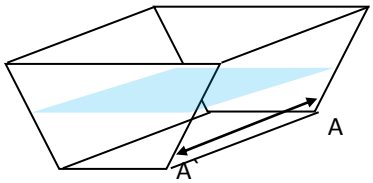


Gambar 2.11. Sketsa Pengukuran Metode Pelampung

Prinsip pengukuran dengan metode pelampung adalah kecepatan aliran diukur dengan menggunakan pelampung, luas penampang basah (A) ditetapkan berdasarkan pengukuran lebar permukaan air dan kedalaman air. Persamaan debit yang diperoleh adalah sebagai berikut:

Q = A x k x U ..... (2.4)

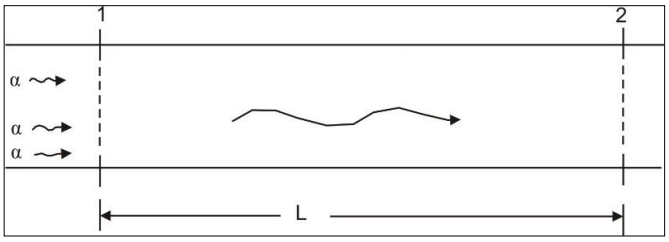
Keterangan
Q = debit aliran (m^3/dt)
U = kecepatan pelampung (m/dt)
A = luas penampang basah (m^2)
k = koefisien pelampung



Nilai k tergantung dari jenis pelampung yang digunakan, nilai tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Y.B. Francis) sebagai berikut :

k = 1-0,116 ((√1- α) - 0,1) ..... (2.5)

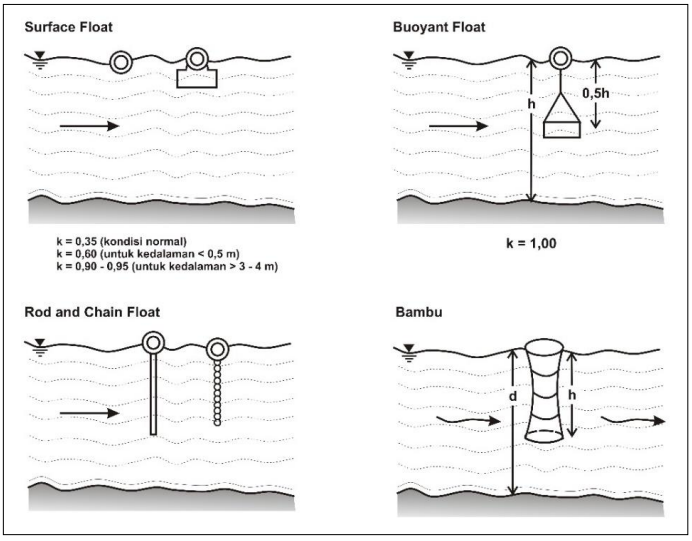
di mana : α = kedalaman tangkai (h) per kedalaman air (d), yaitu kedalaman bagian pelampung.



Gambar 2.12. Penggal Sungai yang Akan Digunakan untuk Pengukuran Debit Metode Apung

Langkah-langkah dalam metode pelampung, antara lain:

a. Pilih lokasi pengukuran dengan syarat-syarat:
   1) Bagian sungai / saluran yang relatif lurus dan cukup panjang; dan
   2) Penampang sungai kurang lebih seragam.
b. Tentukan 2 titik tempat pengamatan lintasan pelampung;
c. Ukurlah lebar sungai (saluran);
d. Ukurlah kedalaman sungai untuk beberapa tempat (plot di kertas grafik untuk menentukan luas penampang basah);
e. Ukurlah kecepatan pelampung (minimal 3 kali pengukuran untuk mendapatkan hasil yang teliti), yaitu jarak tempuh pelampung (L) per satuan waktu; dan
f. Tentukan koefisien pelampung dengan mengukur kedalaman pelampung yang basah per kedalaman sungai (Gambar 2.13).



Gambar 2.13. Tipe-Tipe Pelampung dan Penentuan Koefisien Pelampung (Seyhan, 1990)

2.4.4 *Dillution Method*

Debit aliran dihitung dengan mengunakan larutan yang mudah dideteksi dengan alat, misalnya dengan EC meter (biasanya digunakan larutan garam). Secara teknis, metode ini dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu: "*continuous injection/ constant"* dan "*sudden injection*". Metode ini baik digunakan untuk kondisi aliran turbulen, sungai dengan aliran kecil di pegunungan, atau jika penampang sungai tidak teratur. Rumus yang digunakan dalam metode ini adalah sebagai berikut:

1. *Constant Injection*

   $$\mathbf{Q} = q\,\frac{(C2 - C1)}{(C1 - C0)} \quad \text{..... (2.6)}$$

2. *Sudden Injection*

   $$\mathbf{Q} = \frac{v}{T}\,x\,\left(\frac{C2}{C1}\right) \quad \text{..... (2.7)}$$

   Keterangan :

   Q = debit aliran q = debit garam

   C_0 = konsentrasi garam di hulu C_1 = konsentrasi garam di hilir

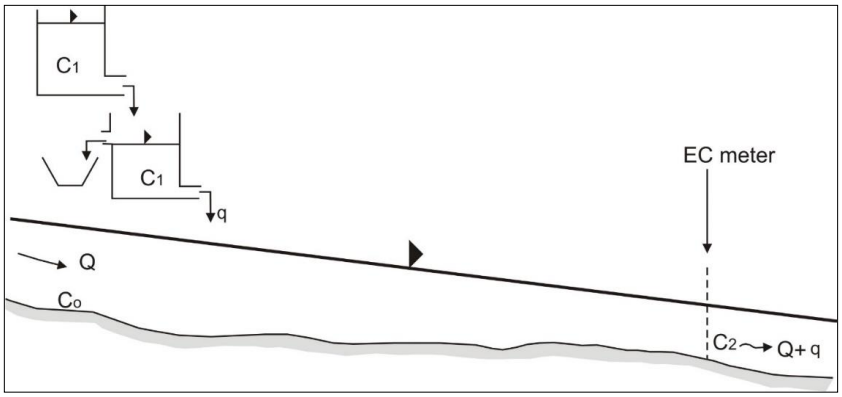
   C_2 = konsentrasi larutan garam yang dituang

Langkah-langkah dalam pengambilan data, antara lain:

1. Pilih lokasi pengukuran, yaitu lokasi injeksi dan lokasi pengukuran konsentrasi air campuran. Jarak kedua tempat supaya ditentukan yang representatif;
2. Siapkan larutan injeksi dan EC-meter (Gambar 2.14);

Gambar 2.14. EC Meter

3. Alirkan larutan secara konstan ke dalam aliran (Gambar 2.15). Ukur perubahan air sungai dengan EC-meter melalui daya hantar listriknya (DHL) dan catat setiap interval waktu tertentu. Pengukuran dilakukan sampai diperoleh DHL yang tetap. Langkah di atas digunakan untuk "*Constant injection method*". Untuk "*sudden injection*" dilakukan langkah pertama kemudian: lakukan langkah ke 4.



Gambar 2.15. Cara Penuangan Larutan ke Saluran pada *Constant Injection* (Asdak, 2007)

4. Siapkan larutan injeksi : ukur volumenya (V) dan konsentrasinya (C_1). Bila EC-meter telah siap, tuangkan larutan dengan tiba-tiba dan catat perubahan nilai DHLnya sampai nilainya kembali mendekati nilai DHL yang semula.

2.4.5. Metode Tracer

Langkah-langkah yang dilakukan dalam mempersiapkan uji tracer ini adalah :

1. Mensetting logger fluorometer, dengan konfigurasi sebagai berikut :
   a. **SR** merupakan interval waktu perekaman yang diinginkan, dengan ketentuan sebagai berikut :

display	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
second	2 sec	3 sec	10 sec	30 sec	1 min	2 min	5 min	15 min

   b. **ST** merupakan perintah untuk mulai dan berhenti melakukan perekaman, dengan ketentuan kode "0" untuk mulai akuisisi data, dan "1" untuk perintah stop.

c. **Number 1** merupakan kode zat pelacak yang digunakan. Untuk uranin kode "1"
d. **Number 2** diisikan kode "0" ketika perekaman tidak terhubung dengan laptop, atau kode "1" ketika perekaman terhubung dengan laptop.
e. **Number 3** diisikan kode "0" untuk menampilkan millivolt, dan kode "1" untuk menampilkan ppb di layar LCD.
f. **Number 4 d**iisikan kode "0" untuk amplifikasi 1x, dan kode "1" untuk amplifikasi 10x.

2. Membuka kedua katup pada instrument air fluorometer, kemudian menutup salah satu katup dengan penutup karet.
3. Memasang kabel yang menghubungkan logger dengan instrument air fluorometer.
4. Mencelupkan atau memasang instrument air fluorometer di air, dengan sensor atau katup yang terbuka menghadap arah aliran.
5. Menyalakan logger dengan cara menghubungkan secara parallel dengan battery 12 Volt.
6. Melakukan penuangan zat pelacak di titik injeksi. Adapun kuantitas zat pelacak yang diperlukan mengacu pada rumus yang dikemukakan oleh Goldscheider (2007), yakni :

$$M = L \times k \times B \quad \text{.....} \quad (2.8)$$

keterangan M = kuantitas zat pelacak yang diperlukan (kg), L = jarak dari titik injeksi dengan titik observasi (km), k = koefisin zat pelacak yang digunakan. Untuk uranine koefisiennya "1", B = faktor kondisi hidrogeologi, untuk daerah karst nilainya sebesar 0,1 – 0,9.

2.5 Pengambilan Sampel Air

2.5.1 Tipe Sampel Air yang Diambil

Hadi (2007) menyebutkan bahwa tipe sampel air dibedakan menjadi tiga, yaitu (1) Sampel Sesaat (*grab sample* atau *discrete sample*), (2) sampel gabungan (*composite sample*) dan (3) sampel terpadu (*integrated sample*). Sampel Sesaat adalah sampel yang diambil pada satu waktu tertentu. Hasil analisis dengan pengambilan sampel ini hanya akan menggambarkan kondisi kualitas air pada sesaat pengambilan sampel air dilakukan.

Sampel gabungan merupakan campuran dua atau lebih sampel sesaat ke dalam sebuah wadah untuk dilakukan uji di laboratorium. Pengambilan dengan metode ini memiliki kelebihan dibandingkan dengan metode pengambilan sesaat karena menggambarkan rerata konsentrasi parameter uji selama periode

pengambilan sampel air. Selain itu, metode sampel gabungan memiliki kelebihan berupa biaya yang lebih murah dibandingkan dengan biaya uji beberapa sampel sesaat yang diambil pada periode yang sama. Sampel gabungan dibagi menjadi dua, yaitu sampel gabungan waktu (*time composite sample*) dan sampel gabungan waktu (*location composite sample*). Sampel gabungan waktu adalah campuran beberapa sampel sesaat yang diambil pada titik yang sama dengan volume dan interval waktu yang sama dam dikumpulkan dalam satu wadah untuk diuji di laboratorium. Sampel gabungan tempat adalah sampel yang diambil pada beberapa tempat untuk menghasilkan dalam satu waktu untuk menghasilkan nilai rata-rata suatu parameter pada wilayah kajian.

Tipe sampel yang terakhir adalah tipe sampel terpadu. Sampel terpadu adalah penggabungan beberapa sampel gabungan tempat dan gabungan waktu (Permen Lingkungan Hidup Nomor 01 Tahun 2010 Tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air). Pengambilan dilakukan pada beberapa titik pada suatu penampang sungai pada suatu waktu yang hampir bersamaan. Pengambilan dilakukan dengan penggabungan sampel air yang diambil pada beberapa kedalaman secara bersamaan (*deep integrated sample*) serta pada beberapa bagian dari penampang. Hasil pengambilan sampel kemudian digabungkan untuk mendapatkan nilai rerata parameter yang dikaji. Hasil metode ini akan mencerminkan nilai suatu parameter pada setiap bagian penampang yang diambil sampelnya dan nilai parameter pada berbagai kedalaman pada penampang amatan. Metode ini adalah metode yang akan dilakukan dalam penelitian ini, mengingat metode ini relatif lebih representatif untuk pengambilan sampel suatu wilayah dengan waktu yang relatif singkat, murah dan mudah dalam pengulangannya di masa mendatang.

2.5.2 Jumlah Sampel Air yang Diambil dalam Satu Penggal Sungai

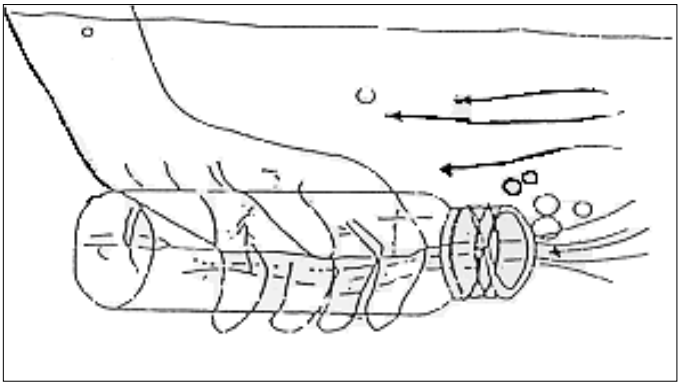
Banyaknya sampel air pada suatu penggal sungai ditentukan berdasarkan pada debit aliran suatu sungai. Hal ini sesuai dengan yang dikemukakan Effendi (2003) dan metode yang disarankan pada SNI 6989.57:2008 tentang Metoda Pengambilan Contoh Air Permukaan. Banyaknya sampel berdasarkan debit aliran sungai ditentukan sebagai berikut:

1. Pada sungai dengan debit kurang dari 5 m^3/detik, sampel air diambil pada satu titik di tengah sungai pada 0,5 x kedalaman sungai;
2. Pada sungai dengan debit antara 5 – 150 m^3/detik, sampel diambil pada dua titik, masing-masing pada jarak 1/3 dan 2/3 lebar sungai pada 0,5 x kedalaman sungai;

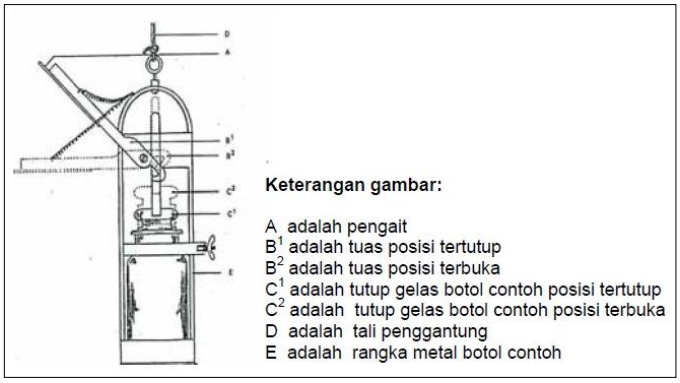
3. Pada sungai dengan debit lebih dari 150 m^3/detik, sampel air diambil minimum pada enam titik, masing-masing pada jarak ¼, ½, dan ¾ lebar sungai pada kedalaman 0,2 x kedalaman dan 0,8 kedalaman sungai.

2.5.3 Teknik Pengambilam Sampel Air

Teknik pengambilan sampel air pada lokasi amatan dilakukan dengan prosedur yang disarankan pada SNI 6989.57:2008 tentang Metoda Pengambilan Contoh Air Permukaan. Pengambilan langsung akan dilakukan dengan dua cara, yakni pengambilan langsung dengan botol sampel polietilen (Gambar 2.16) dan pengambilan menggunakan pengambil alat dengan integrasi kedalaman (Gambar 2.17). Pengambilan langsung dengan botol sampel polietilen dilakukan pada sungai dengan kedalaman yang dangkal, sedangkan pengambilan menggunakan pengambil alat dengan integrasi kedalaman dilakukan untuk sungai dengan kedalaman yang tidak memungkinkan dilakukannya pengambilan sampel secara langsung.



Gambar 2.16. Pengambilan Sampel Air Langsung Menggunakan Botol Sampel Polietilen (SNI 6989.57:2008)



Gambar 2.17. Alat Pengambil Sampel Integrasi Kedalaman (SNI 6989.57:2008)

2.5.4. Teknik Pengambilan Sampel Air untuk Uji Isotop

Pengambilan sampel air untuk uji isotope memerlukan metode khusus dibandingkan dengan pengambilan sampel air biasa. Pengambilan sampel air untuk uji isotope dilakukan dengan menggunakan botol sampel khusus seperti yang nampak pada Gambar 2.18. Pengambilan sampel dilakukan seperti pada pengambilan sampel air, yakni dengan mencelupkan seluruh tubuh botol ke dalam air hingga penuh. Penutupan botol dilakukan di dalam air. Pengambilan sampel air untuk uji isotope berhasil jika tidak terdapat gelembung udara sedikitpun di dalam botol sampel yang telah ditutup. Sampel isotop yang akan dianalisis harus segera disimpan dalam *Ice Box* atau di dalam kulkas penyimpan sampel.

Gambar 2.18. Botol Sampel Air untuk Uji Isotop
(https://www.immunochemistry.com/products/necrosis-vs-apoptosis-assay-kit-1129.html)

Daftar Pustaka

Appelo, C.A.J. dan Postma, D. 1993. *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. Rotterdam: A.A. Balkema.

Asdak, C. 2007. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Edisi IV*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Atkinson, T.C. 1985. Present and Future Directions in Karst Hydrogeology. *Annal. Soc. Geol. Belgique, 108*: 193-296.

Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.

Fardiaz, S. 1992. *Polusi Air dan Udara.* Yogyakarta: Penerbit Kanisius.

Ford, D. dan Williams, P. 2007. *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Chicester, West Sussex: John Wiley and Sons, Ltd.

Gilli, E.; Mangan, C. Dan Murdy, J. 2012. *Hydrogeology: Objectives, Methods, Applications.* Boca Raton: CRC Press.

Gillieson, D. 1996. *Caves: Processes, Development and Management*. Oxford: Blackwell.

Goldscheider, N. 2005. Karst Groundwater Vulnerability Mapping- Application of a New Method in The Swabian Aib, Germany. *Hydrogeology Journal, 13(4):* 555-564.

Goldscheider, N. dan Drew, D. 2007. *Methods in Karst Hydrology*. London: Taylor and Francis.

Hadi, A. 2007. *Prinsip Pengelolaan Pengambilan Sampel Lingkungan.* Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.

Haryono, E. dan Adji, T, N. 2004. *Geomorfologi dan Hidrologi Karst*. Yogyakarta: Kelompok Studi Karst Fakultas Geografi UGM

MacDonalds And Partners. 1984. *Greater Yogyakarta: Groundwater Resources Study. Vol. 3c: Cave Survey.* Yogyakarta: P2AT.

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.

Permen Lingkungan Hidup Nomor 01 Tahun 2010 Tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air.

Ravbar, N. 2007. *The Protection of Karst Water*. Postojna: ZRC Publishing.

Seyhan, E. 1990. *Dasar-Dasar Hidrologi (terjemahan Sentot Subagyo).* Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Smart, P.L. dan Hobbes, S.L. 1986. Characteristics of Carbonate Aquifers: A Conceptual Basis. In *Proceedings Environmental Problem in Karst Terrains and Their Solution*. Bowling Green, KY: National Well Water Assosiation, 1-4.

SNI 6989.57: 2008 tentang Metoda Pengambilan Contoh Air Permukaan.

Soewarno. 2000. *Hidrologi Operasional Jilid Kesatu*. Bandung: PT Citra Aditya Bakti.

White, W.B. 1988. *Geomorphology and Hydrology of* Karst *Terrains*. New York, Oxford: Oxford University Press.

BAB III

Pengukuran Stratigrafi Batuan Karbonat

Moch. Indra Novian

3.1 Maksud dan Tujuan Instruksional

Maksud dari penelitian adalah untuk melakukan pengukuran dan pembuatan kolom stratigrafi terutama pada batuan karbonat/ batugamping sebagai penyusun morfologi karst berdasarkan skala yang telah ditentukan. Sedangkan tujuan yang akan dicapai, antara lain:

1. Mengetahui urutan batuan secara vertikal dan horisontal
2. Mengetahui struktur batuan
3. Mengetahui umur dan lingkungan pengendapan batuan
4. Mengetahui sejarah pembentukan batuan

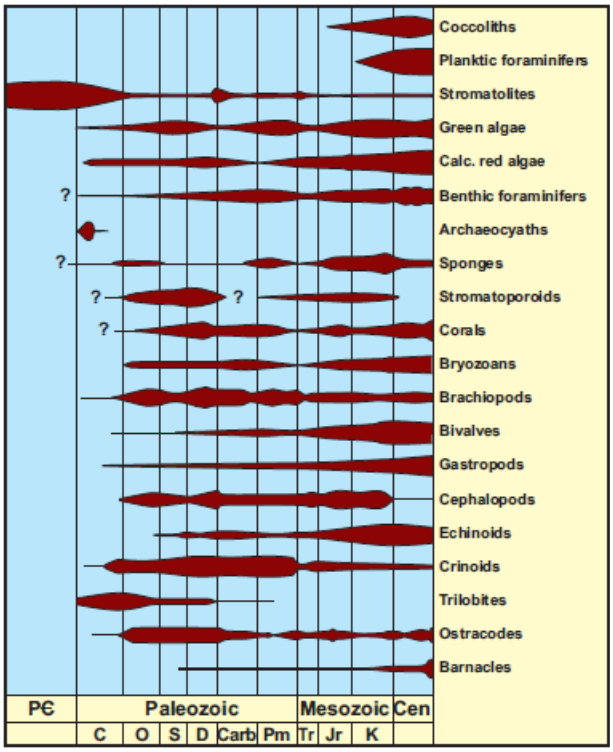
3.2 Dasar Teori

Batugamping termasuk ke dalam golongan batuan sedimen karbonat. Batuan karbonat mempunyai komposisi mineral karbonat lebih dari 50 % dan mineral ini tersusun oleh CO_2 dan satu dari beberapa kation (Scoffin, 1987). Kation yang banyak dijumpai berupa Ca, Mg, Fe dan Mn dengan mineral yang umum dijumpai berupa aragonit, kalsit dan dolomit. Beberapa ahli petrologi jaman dulu membagi batugamping hanya berdasarkan ukuran butiran yang menyusun batugamping. Berdasarkan ukuran butiran penyusunnya maka batugamping dibagi menjadi :

1. Kalsilutit : ukuran butir lebih kecil dari pasir atau < 63 μm
2. Kalkarenit : ukuran butir pasir atau antara 63 μm – 2 mm
3. Kalsirudit : ukuran butir lebih besar dari pasir atau > 2 mm

Secara umum komponen dasar batugamping terbagi atas 3 yaitu (a) butiran atau rangka yang dapat tersusun oleh skeletal (cangkang sisa organisme) dan non-skeletal dengan ukuran pasir atau lebih besar; (b) butiran halus matrik (*microcrystalline calcite* atau *micrite*) (c) semen yang secara kimiawi terbentuk setelah pengendapan butiran pada celah antar butiran dan umumnya berupa *sparry calcite*.

1. Butiran/ rangka
   a. Skeletal merupakan butiran penyusun batugamping yang terdiri dari butiran cangkang mempunyai variasi jenis organisme dan bentuk yang berbeda. Pada waktu yang berbeda akan dijumpai organisme berbeda yang menghasilkan cangkang karbonat seperti yang terlihat pada Gambar 3.1.

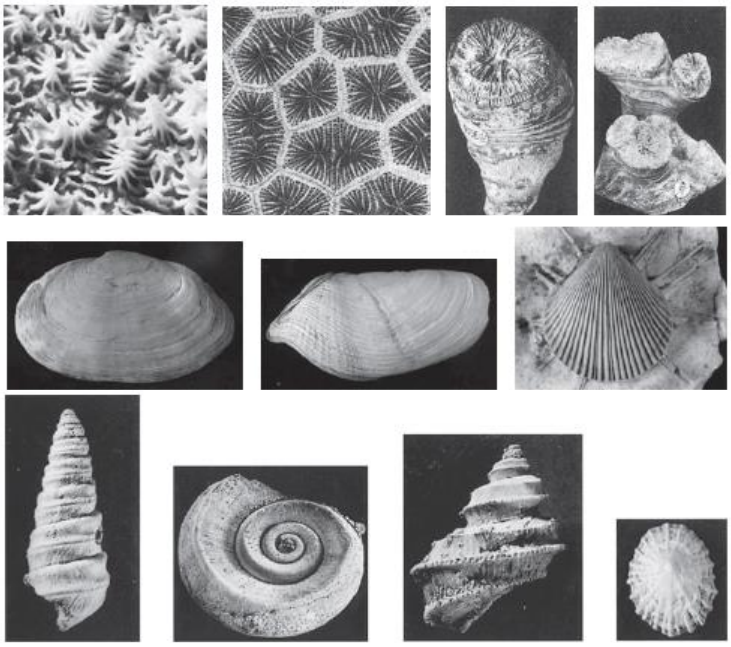


Gambar 3.1. Diagram yang menunjukkan perubahan dari waktu ke waktu macam dan jumlah organisme laut yang menghasilkan cangkang karbonat (Horowitz dan Potter, 1971 dalam Scholle & Scholle, 2003)

Beberapa organisme dapat dikenali dari pengamatan lapangan atau dalam bentuk contoh setangan karena mempunyai ukuran cangkang yang cukup besar. Namun beberapa hanya bisa dikenali lewat sayatan tipis. Hal ini disebabkan karena organisme tersebut mempunyai cangkang yang berukuran kecil atau karena cangkang yang terawetkan sebelumnya mengalami abrasi sehingga menghasilkan cangkang yang kecil. Beberapa organisme yang dapat teridentifikasi langsung di lapangan dapat dilihat pada Gambar 3.2 sementara ciri petrografis untuk organisme yang cangkangnya hanya bisa diamati di bawah mikroskop dapat dilihat pada Gambar 3.3.

Untuk interpretasi lingkungan butiran cangkang ini harus ditentukan terlebih dulu termasuk ke dalam cangkang yang biomorf atau bioklas. Biomorf akan mempunyai ciri cangkang berbentuk utuh dan tidak mempunyai orientasi arah tertentu sehingga dianggap organisme yang menghasilkan cangkang tersebut hidup dan terawetkan pada lingkungan yang sama. Sementara bioklas apabila cangkang banyak yang mengalami

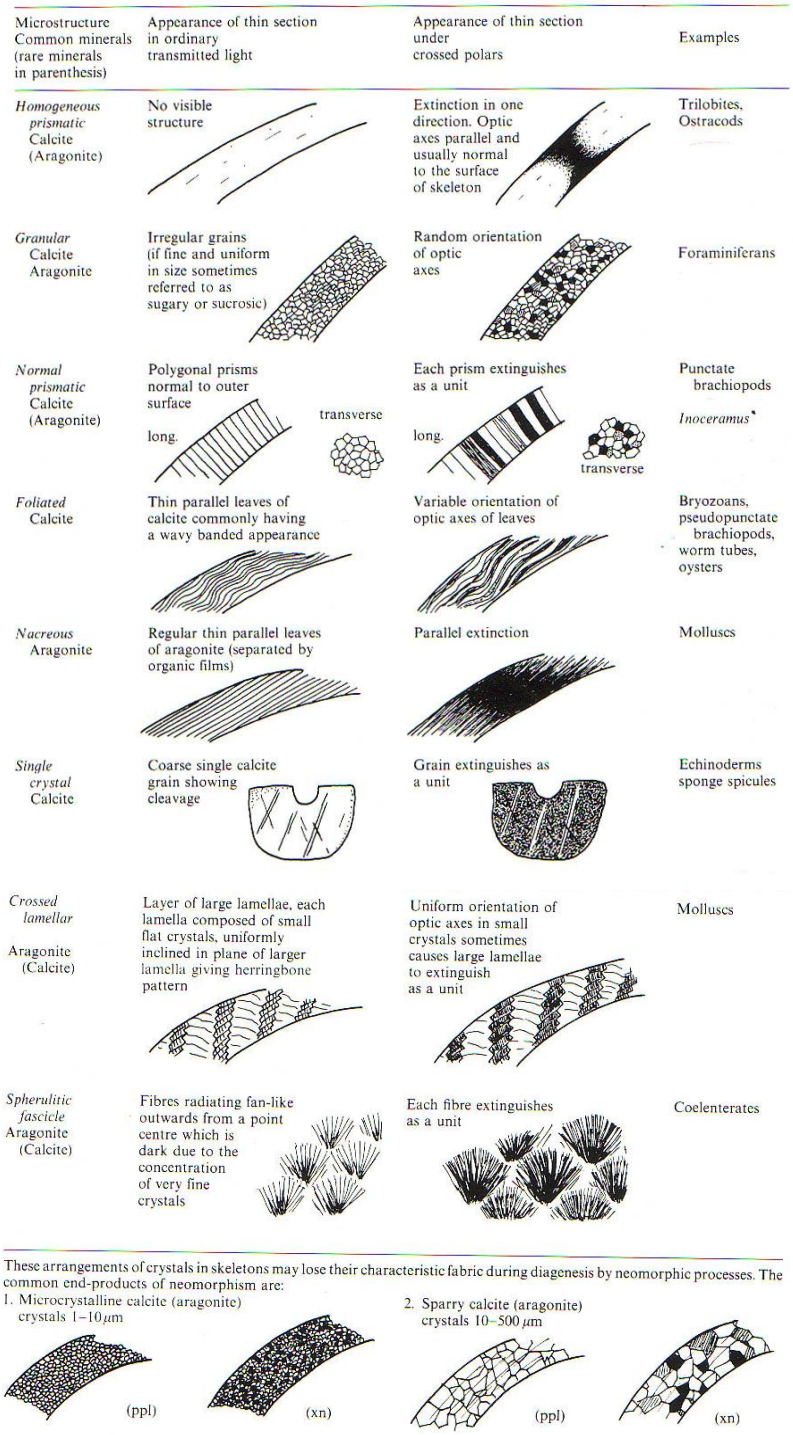
abrasi dan menunjukkan orientasi arah tertentu sehingga dianggap antara posisi organisme pada saat hidup dan terawetkan berbeda.



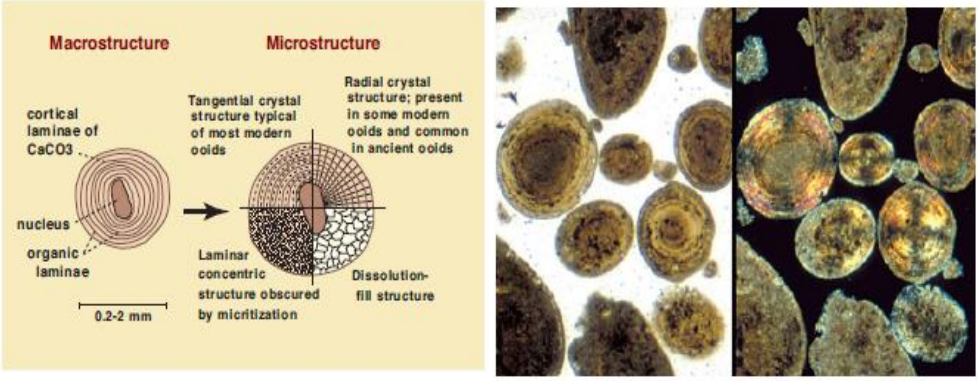
Gambar 3.2. Kenampakan beberapa organisme yang mempunyai cangakang cukup besar sehingga dapat dikenali langsung dikenali di singkapan. Baris pertama berupa koral, baris kedua pelecypoda dan baris ketiga gastropoda

b. Non-skeletal, berbeda dengan skeletal, butiran non skeletal dihasilkan dari cangkang organisme. Material non-skeletal dapat berasal dari lingkungan tempat batuan karbonat terbentuk, dapat juga berasal dari luar lingkungan pengendapan. Namun material yang terbentuk di dalam lingkungan pengendapanlah yang paling umum dijumpai. Adapun butiran non-skeletal tersebut adalah :
   1) Ooid, pisoid dan dan butiran yang berlapis
   2) Intraklas dan ekstraklas
   3) Pellet dan Pelloid
   4) Butiran selain karbonat seperti mineral-mineral asal darat, glukonit, phosphat dan mineral besi

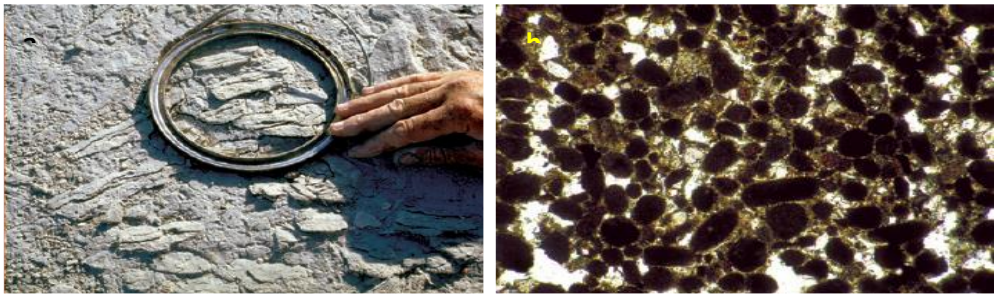
   Gambaran material-material non-skeletal dapat dilihat pada Gambar 3.4 dan 3.5.



Gambar 3.3 Kenampakan petrografi cangkang beberapa organisme penyusun batuan karbonat (Scoffin, 1987)



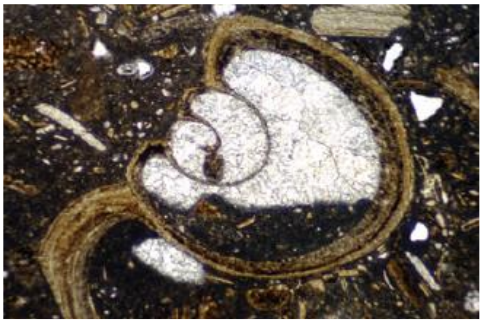
Gambar 3.4. Gambaran ooid dan pisoid. Gambar atas menunjukkan ooid bila butiran < 2mm, sementara jika > 2mm disebut sebagai pisoid. Gambar bawah menunjukkan kenampakan ooid pada pengamatan petrografi (Scholle & Scholle, 2003)



Gambar 3.5. (a) Fragmen batuan (litoklas) yang bisa berasal dari luar atau dalam lingkungan pengendapan.(b) Pellet hasil sekresi organisme.Pelloid hampir sama dengan pelllet berupa butiran yang tersusun dari mud namun dengan asal yang bermacammacam (Scholle & Scholle, 2003)

2. Matrik

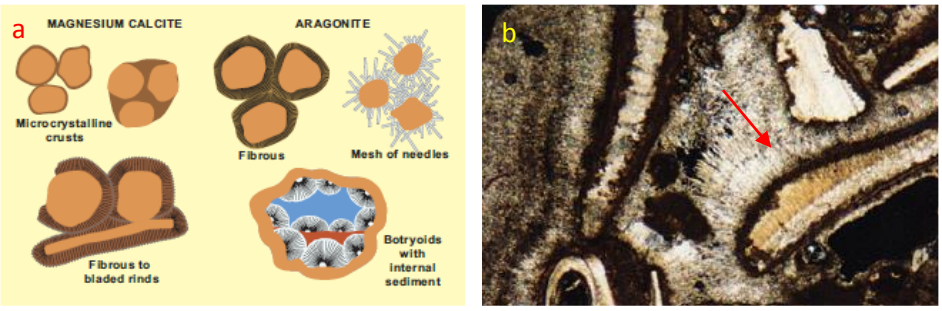
Matrik dalam karbonat sering disebut sebagai mud yang disebandingkan dengan ukuran lempung pada batuan silisiklastik. Mud dapat tersusun secara sepenuhnya oleh material karbonat disebut juga sebagai mikrit. Mud hadir pada batuan karbonat mendukung butiran atau hadir diantara butiran yang saling bersinggungan. Dalam sayatan tipis mud dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6. Matrik karbonat (mikrit) ditunjukkan butiran-butiran halus berwarna gelap. Nampak ditengah butiran besar gastropoda (Scholle & Scholle, 2003).

3. Semen

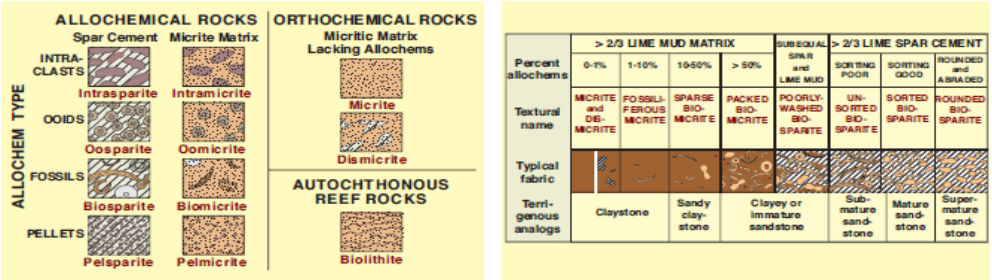
Semen karbonat pada lingkungan laut modern yang hangat akan didominasi oleh kalsit Mg tinggi, namun aragonit juga dijumpai secara intensif. Pada lingkungan yang lebih dingin kalsit Mg tinggi dominan, namun makin tinggi posisi lintang makin kurang kandungan Mg. Kenampakan semen pada sayatan tipis batuan dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7. (a) Skematik semen yyang mengisi pori antar batuan (b) Kenampakan semen di tepian butiran pada saatan tipis (Scholle & Scholle, 2003).

Seiring dengan makin majunya penelitian pada batuan karbonat maka banyak klasifikasi batuan yang dihasilkan dalam mendeterminasi batuan karbonat atu lebih khususnya batugamping. Dari sekian banyak klasifikasi yang berkembang maka klasifikasi yang sering digunakan adalah klasifikasi Folk (1962), Dunham (1962) dan Embry & Klovan (1971).

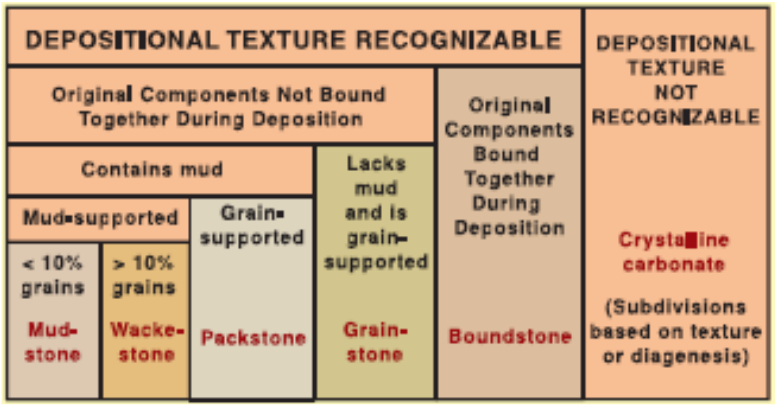
Folks (1962) membuat klasifikasi batugamping ini dengan membandingkan dengan batupasir. Sebagian besar karbonat tersusun atas tiga bagian yaitu butiran (allochem), mikrit (sebagai matrik) dan kalsit sparit sebagai semen. Butiran terdiri atas empat kelompok yaitu fosil (dengan prefik bio-), ooid (oo-), pellet (pel) dan intraklas (intra). Keempat kelompok ini nantinya akan dipakai penamaan batuan karbonat yang ditambahkan dengan sufik mikrit (bila selain butiran dijumpai matrik yang dominan) dan sparit jika semen yang dominan sebagai contoh. Biomikrit jika fosil sebagai butiran yang dominan dan mikrit lebih dominan dibandingkan sparit. Untuk klasifikasinya dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8. Klasifikasi Folk (1962). Kiri, grafik klasifikasi dengan empat komponen butiran. Kanan, delapan tingkatan yang merefleksikan sortasi dan kebundaran. Bila mikrit dominan maka batuan terbentuk pada energi rendah namun jika semen dominan maka batuan terbentuk pada energi tinggi (Scholle & Scholle, 2003).

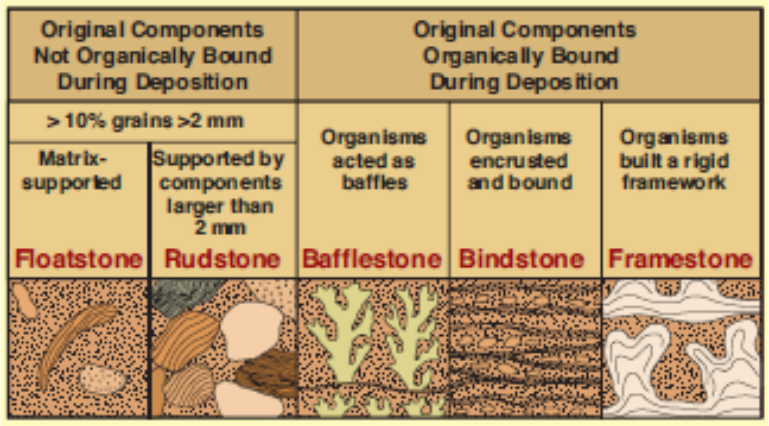
Klasifikasi Dunham (1962) juga mendasarkan pemeriannya pada tekstur batugamping, namun berbeda dengan Folks (1962). Kriteria pembagian batuannya bukan berdasarkan komposisi matrik melainkan berdasar atas asal susunan dari sedimennya. Berdasarkan asal susunannya maka pembagiannya akan didasarkan pada *mudsupported* (jika mud memisahkan butiran) dengan energi pembentukan rendah dan *grainsupported* (jika antar butiran saling bersinggungan) dengan energi pembentukan tinggi. Adapun penamaan batuannya dapat dilihat pada Gambar 3.9.

Klasifikasi Embry dan Klovan (1971) merupakan pengembangan dari klasifikasi Dunham (1962). Pada klasifikasinya Embry dan Klovan (1971) mengembangkan penamaan untuk pengendapan dengan butiran skeletal yang kasar dengan ukuran butir lebih dari 2 mm dan penamaan untuk batuan yang terbentuk oleh orgnisme yang tumbuh bersama. Skema klasifikasinya dapat dilihat pada Gambar 3.10.



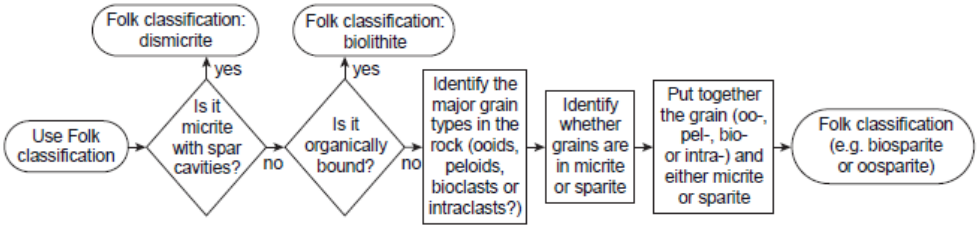
Gambar 3.9. Klasifikasi Dunham (1962). Penggolongan didasarkan atas tektur pengendapan batuannya. Dominasi butiran atau mud akan menjadi dasar pengelompokan. Untuk batuan yang berasal dari organisme yang tumbuh

bersama akan dinamakan menjadi *boundstone*, sementara jika sudah tidak teramati lagi tekstur pengendapannya maka akan dinamakan menjadi batugamping kristalin (*crystalline carbonate*) (Scholle & Scholle, 2003).

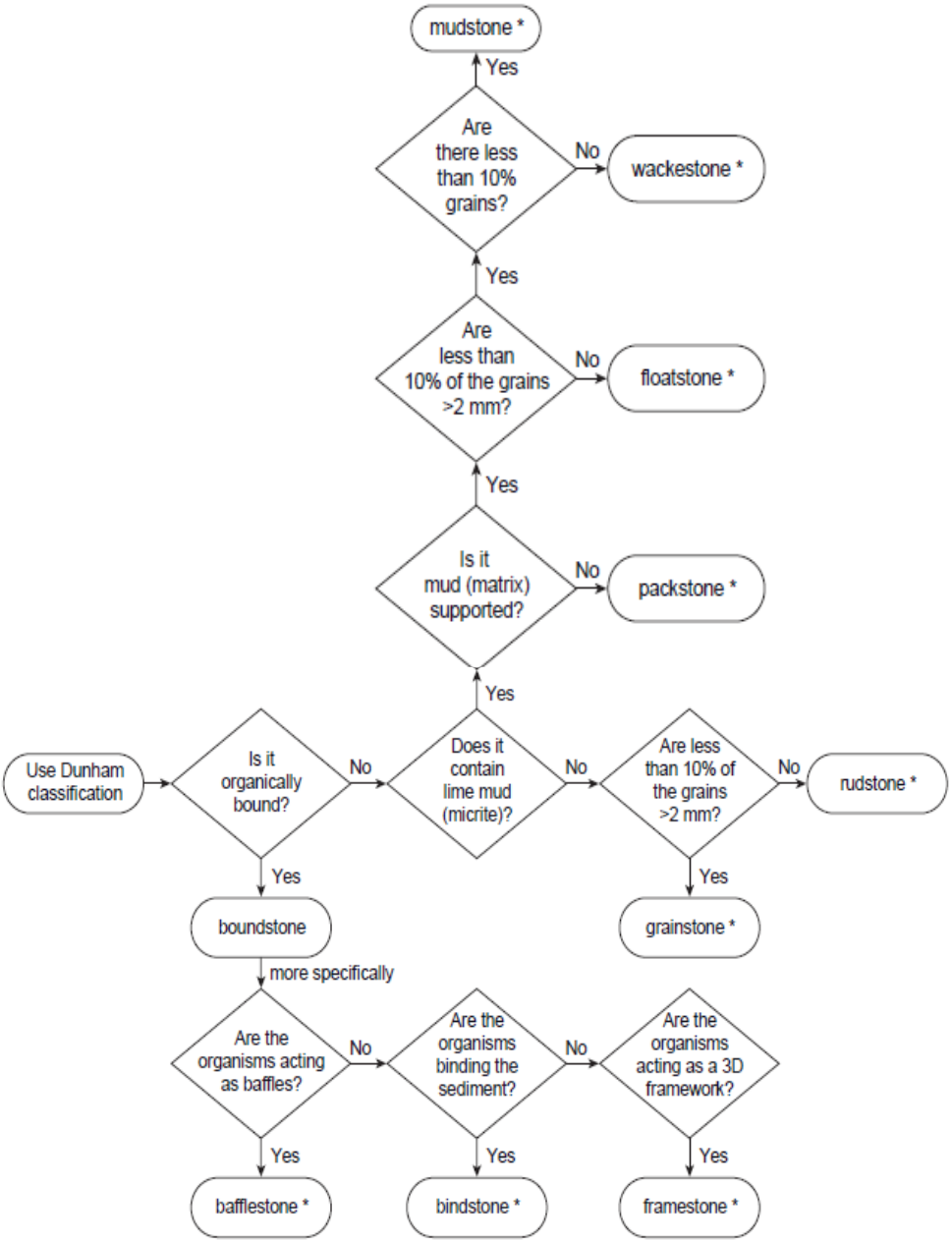


Gambar 3.10. Klasifikasi Embry dan Klovan (1971). Kelompok kiri terdiri dari *floatsone* yang menggantikan *wakcestone* dan *rudstone* yang menggantikan *pakcstone-grainstone*. *Boundstone* terbagi menjadi tiga kriteria yaitu *bafflestone*, *binstone* dan *framestone* bergantung susunan organisme pada saat tumbuh (Scholle & Scholle, 2003).

Identifikasi batugamping dilakukan sejak dari lapangan hingga laboratorium. Pengamatan singkapan akan diperlukan untuk mengetahui sebaran, bentuk, komposisi dan struktur batuan. Pengamatan terhadap contoh setangan juga dibutuhkan untuk mengetahui komposisi dan penamaan batuan sehingga apabila batuan disayat maka gambaran umum dari batuan tidak akan meleset. Untuk mempermudah di dalam penamaan batugamping ada skema sederhana yang bisa diikuti seperti pada Gambar 3.11 dan 3.12.



Gambar 3.11. Diagram alir penamaan batugamping berdasarkan klasifikasi Folk (1962) (Coe et.al, 2010).



Gambar 3.12. Diagram alir penamaan batugamping berdasarkan klasifikasi Dunham (1962). Tanda bintang menunjukkan penamaan batuan dapat ditambahkan prefik berdasarkan komposisi butiran yang dominan, contoh koral *rudstone* (Coe et.al, 2010).

3.3 Kebutuhan Data

Bila pada suatu daerah dijumpai suatu singkapan yang menerus maka sebaiknya dibuat penampang stratigrafi terukur. Penampang stratigrafi terukur (*measured stratigraphic section*) adalah suatu penampang atau kolom yang menggambarkan kondisi stratigrafi suatu jalur, yang secara sengaja telah dipilih dan telah diukur untuk mewakili daerah tempat dilakukannya pengukuran tersebut (Anonim, 2010). Batuan yang berada pada jalur pengukuran bisa berasal dari satu formasi, lebih dari satu formasi atau hanya bagian dari suatu formasi saja. Batuan tersebut seringkali secara vertikal tersusun oleh batuan yang berbeda. Perbedaan macam batuan ini yang akan menunjukkan proses dan lingkungan pengendapan yang berbeda dari waktu ke waktu.

Jalur yang dipilih biasanya akan mempunyai singkapan batuan yang relatif menerus dan panjang. Jalur ini biasanya dapat berupa tubuh sungai yang memotong jurus perlapisan batuan, bukit yang ditambang atau pada tebing tepi jalan. Apabila singkapan batuan terganggu struktur contohnya patahan maka diusahakan dicari kemenerusan lapisan yang terpotong tersebut. Data yang akan dikumpulkan dalam pengukuran stratigrafi meliputi :

1. Litologi terutama karakter dan atributnya. Karakter meliputi tekstur dan komposisi, sementara atribut berupa struktur sedimen. Keterangan lain seperti warna batuan segar dan lapuk juga dapat ditambahkan.
2. Urutan dan hubungan antar perlapisan batuan. Hubungan antar perlapisan batuan dapat tegas, erosional atau bergradasi. Hubungan lateral dalam satu perlapisanpun harus dilihat. Hubungan lateral dapat berupa menerus, membaji, menjari atau terjadi perubahan secara fasies.
3. Kedudukan batuan, berupa jurus dan kemiringan, dan ketebalan dari perlapisan batuan yang diamati.

Data yang dikumpulkan di atas tersebut kemudian digambarkan dan dicatat dalam sebuah grafik log atau kolom. Penggambaran urutan batuan yang terekam akan menggunakan skala tertentu. Skala dipilih sesuai dengan tingkat kedetilan data yang direkam. Makin detil data yang direkam makin besar skala yang dipilih.

3.4 Metode Pengukuran

3.4.1 Pengukuran Stratigrafi

Pengukuran stratigrafi suatu jalur dilakukan dengan 2 metode, yaitu :

1. Metode rentang tali.
2. Metode tongkat Jacob (*Jacob's staff method*).

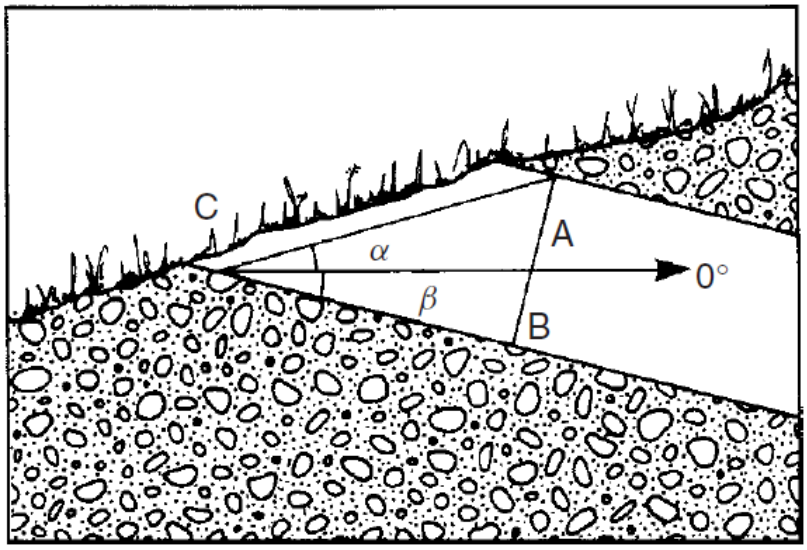
Metode rentang tali atau **Brunton dan tape** (Compton, 1985) dilakukan dengan menggunakan tali atau meteran panjang dengan panjang 30-50m. Dengan merentang tali atau meteran tegak lurus kemiringan batuan maka akan diperoleh ketebalan perlapisan batuannya. Pada daerah dengan topografi yang datar dengan

kemiringan batuan tegak atau pada bukit dengan perlapisan horizontal maka ketebalan batuan akan dapat dilihat berdasarkan panjang tali atau meterannya. Namun jika daerahnya tidak datar dengan kemiringan batuan >0° dan <90° maka diperlukan koreksi pengukuran rentang tali atau meteran sehingga diperoleh ketebalan perlapisan batuan sesungguhnya (Gambar 3.13).

Metode rentang tali dapat dilakukan oleh dua orang. Awal dan akhir jalur pengukuran diberi tanda dengan patok. Tali/ meteran panjang digunakan saat mengukur singkapan yang cukup tebal dengan jenis batuan, kemiringan topografi dan batuan yang seragam seragam. Apabila batuan, topografi dan kemiringan batuan tidak seragam atau sering berubah maka digunakan tali/ meteran pendek.

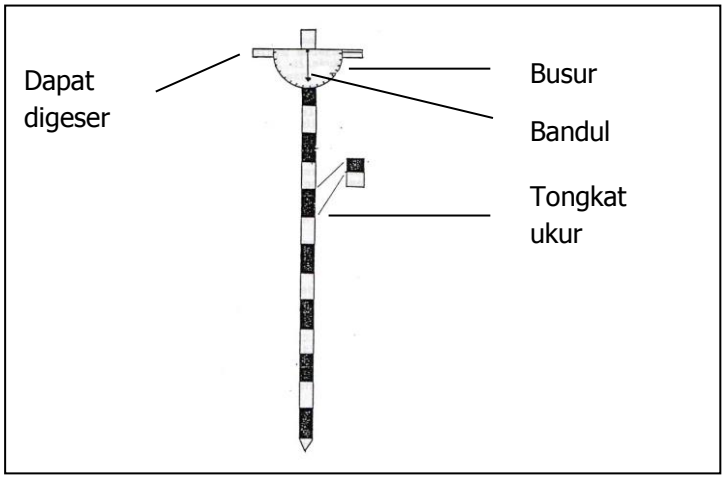
Peralatan yang dibutuhkan pada metode rentang tali berupa :

1. Alat lapangan baku, terdiri dari palu, lup dan kompas geologi; HCl; buku catatan lapangan dan alat tulis.
2. Pita ukur dengan panjang 30-50m dan 2m.
3. Peta topografi dan atau foto udara yang memuat daerah tempat dilakukan pengukuran.
4. Formulir pengukuran jalur stratigrafi.
5. Kalkulator yang diperlengkapi fungsi goniometris
6. *Clipboard* untuk landasan penggambaran/pencatatan.
7. Patok untuk memberi tanda awal dan akhir pengukuran.

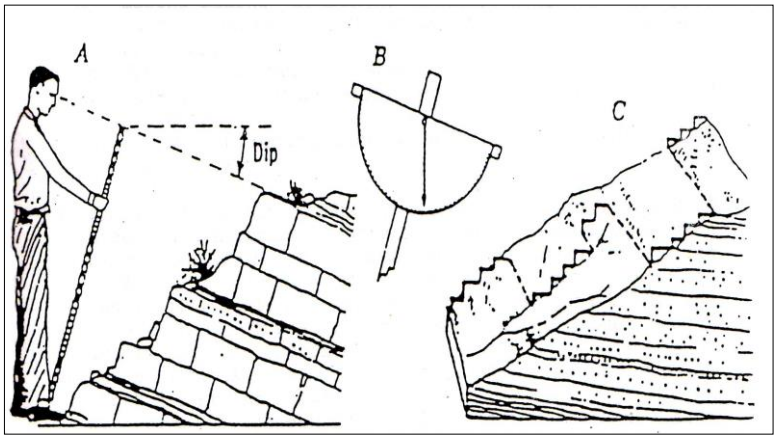


Gambar 3.13. Metode rentang tali pada singkapan dengan topografi miring dan kemiringan batuan berbeda dengan topografinya. Ketebalan perlapisan batuan sebenarnya dihitung dengan rumusan AB=AC sin (α+β) (Barnes & Lisle, 2004)

Metode Jacob pada hakekatnya adalah metode yang menggabungkan ketepatan pengukuran (efektifitas) serta kecepatan waktu (efisiensi) (Fritz & Moore, 1988 dalam Anonim, 2010). Metode ini dilakukan dengan menggunakan tongkat Jacob yang panjangnya 1,5 m. Pada tongkat diberi warna gelap - terang secara berselingan dengan tebal 10 cm sebagai patokan pengukuran ketebalan perlapisan (Gambar 3.14). Perubahan topografi dan kemiringan perlapisan batuan akan terkoreksi dengan sendirinya dengan membuat tongkat tegak lurus kemiringan batuan. Akibatnya ketebalan yang dihasilkan akan berupa ketebalan perlapisan batuan sesungguhnya. Dalam metode ini pengukuran dapat dilakukan oleh satu orang dengan cara seperti yang terlihat pada Gambar 3.15.



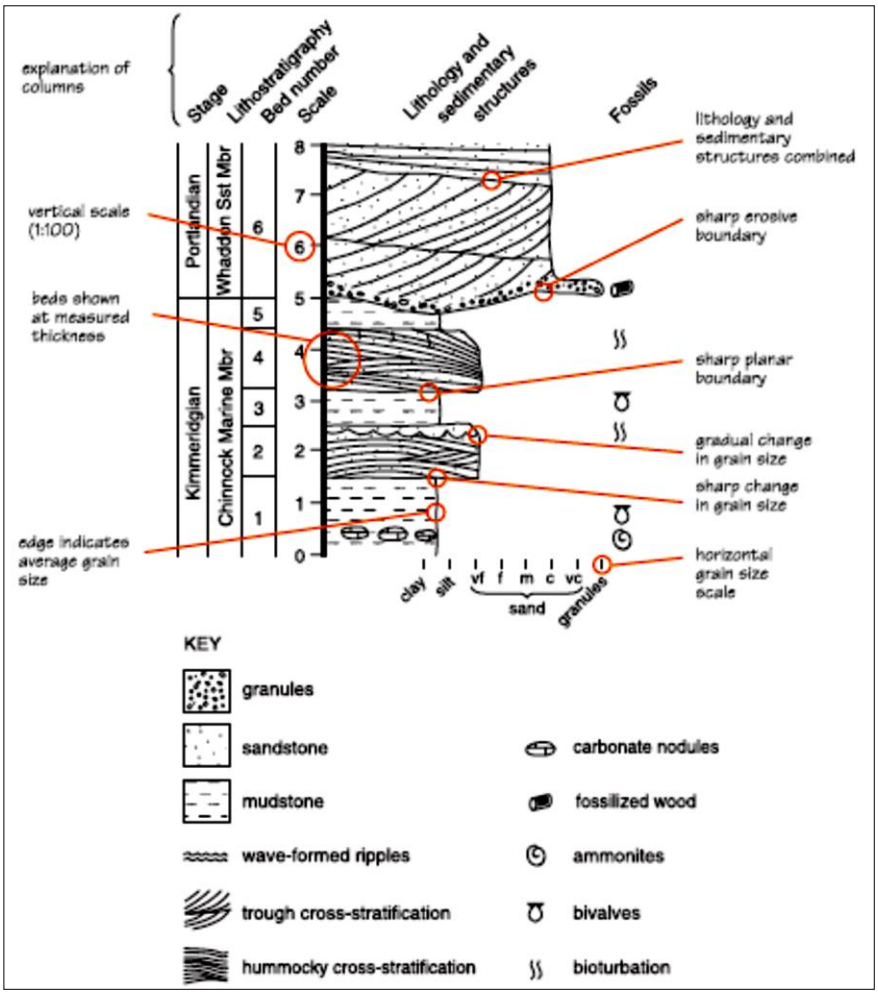
Gambar 3.14. Tongkat Jacob (*Jacob's staff*) untuk pengukuran jalur stratigrafi (Anonim, 2010).



Gambar 3.15. Pengukuran Ketebalan dengan Menggunakan Tongkat Jacob (Compton, 1985) dengan Memposisikan Tongkat Tegak Lurus Lapisan maka Kemiringan Batuan akan Langsung Dibaca pada Busur Derajat.

3.4.2 Kolom Litologi

Hasil pengukuran batuan baik pada lokasi pengamatan atau dalam suatu jalur secara standar akan direkam dan disajikan dalam bentuk log grafik/ kolom litologi. Dengan membuat kolom litologi maka data batuan yang diukur akan teringkas dengan baik dalam suatu kolom; dengan cepat memberikan impresi terhadap pergantian batuan secara vertikal sehingga repetisi dan perubahan fasies mudah teramati; mudah melakukan korelasi dengan pengukuran di tempat yang berbeda dalam umur yang sama. Contoh penggambaran rekaman batuan yang terukur dapat dilihat pada Gambar 3.16.



Gambar 3.16. Kolom litologi yang rapih dengan beberapa kenampakan yang penting. Kolom lapangan akan mempunyai bentuk yang kurang lebih sama hanya mungkin tidak ada skala vertikal dan ada beberapa kolom untuk mencatat no contoh batuan dan foto (Coe et.al, 2010).

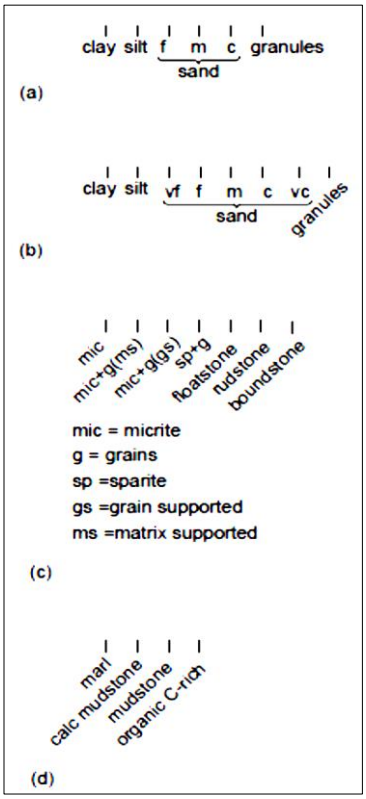
Bentuk dan isi dari kolom litologi sangat bervariasi tergantung kebutuhan dan macam data yang akan direkam. Namun meskipun bentuknya bervariasi ada beberapa hal yang harus ada di dalam suatu kolom litologi, yaitu :

1. Skala vertikal

   Skala vertikal batuan yang direkam akan bergantung tingkat ketelitian yang akan direkam. Makin teliti maka skala akan semakin besar. Umumnya untuk mengetahui perubahan secara vertikal urutan batuan cukup dengan menggunakan skala 1:100, yang berarti 100 cm pengukuran ketebalan batuan di lapangan akan digambarkan pada kolom dengan tebal 1 cm.

2. Skala horizontal

   Skala horizontal pada batuan sedimen silisiklastik akan mencerminkan ukuran butir rata-rata penyusun batuannya yang implikasinya kepada arus yang mengendapkan butiran sedimen tersebut. Biasanya ukuran butir semakin ke kanan akan menunjukkan penambahan ukuran menjadi butir yang lebih kasar (Gambar 3.17). Pada batuan karbonat termasuk batugamping sedikit lebih kompleks. Ukuran butir tidak selalu menggambarkan energi yang mengendapkan batuan. Faktor-faktor lain seperti macam biota juga berpengaruh. Sehingga pada batuan karbonat skala horisontal akan menunjukkan perubahan ke arah kanan semakin berkurang kandungan mud karbonatnya (Gambar 3.11c).



Gambar 3.17. Variasi skala horizontal batuan. (a). Skala dasar untuk batuan sedimen silisiklastik. (b). Skala untuk batuan silisiklastik dengan skala butiran pasir lebih detil. Di lapangan terkadang akan sangan membedakan antara butiran pasir halus dengan yang sangat halus. (c). Skala butir untuk batuan karbonat. (d). Pembagian skala untuk mudstones berdasarkan komposisi batuan. Pada daerah yang mengandung batuan karbonat dan silisiklastik maka sering kali skala keduanya dicantumkan (Coe et.al, 2010)

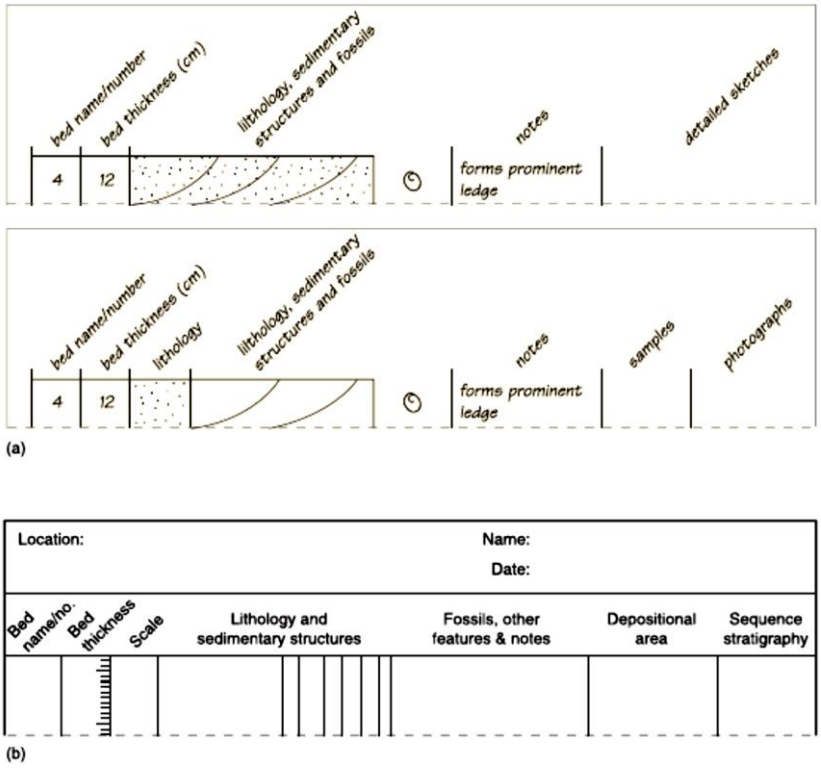
3. Batuan

   Batuan akan digambarkan sesuai dengan simbolnya. Batupasir akan digambarkan dengan simbol titik-titik, sementara batugamping seperti tumpukan batubata. Jika macam batugampingnya lebih dari satu maka pada simbol tumpukan batubata akan ditambahkan simbol lainnya.
4. Struktur sedimen

   Struktur sedimen akan digambarkan sesuai dengan simbol atau sketsa sesuai yang dijumpai pada batuan. Posisi struktur sedimen pada batuan disesuaikan dengan singkapan di lapangan.
5. Informasi lain

   Kolom-kolom tambahan dapat diberikan sesuai dengan informasi yang akan ditambahkan seperti nomenklatur litostratigrafi, fosil, zona biostratigrafi, no contoh batuan dan foto, nomer perlapisan, data arus purba dan stratigrafi sekuen. Beberapa variasi tampilan kolom litologi dapat dilihat pada Gambar 3.18.
6. Tingkatan Stratigrafi

   Tingkatan stratigrafi dicantumkan untuk mengetahui posisi unit batuan yang terekam pada kolom batuan dengan kolom batuan lain.



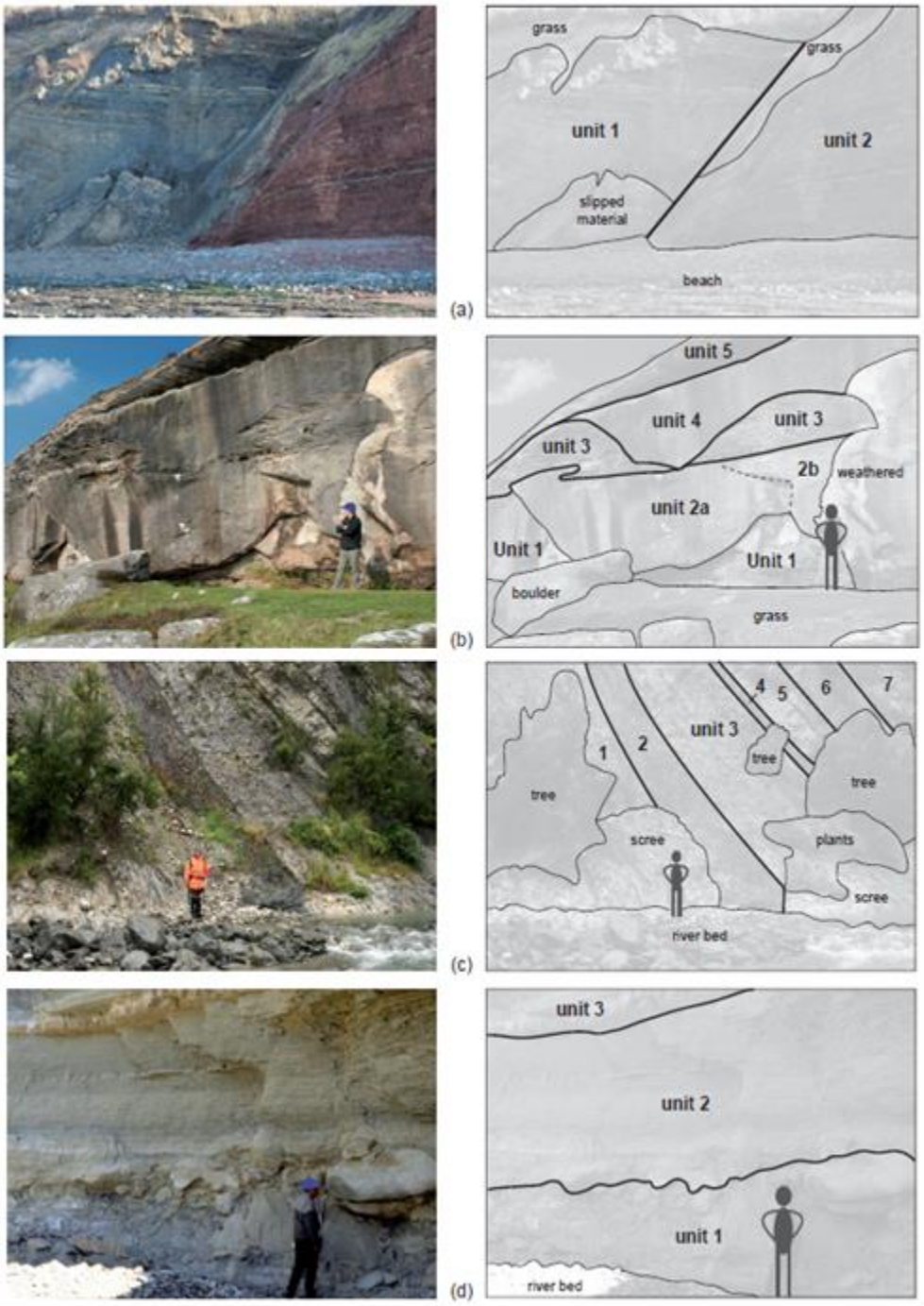
Gambar 3.18. Kolom litologi (a). Untuk buku catatan lapangan (b). Untuk lembar tersendiri (Coe et.al, 2010).

3.4.3 Langkah-langkah Pengumpulan Data

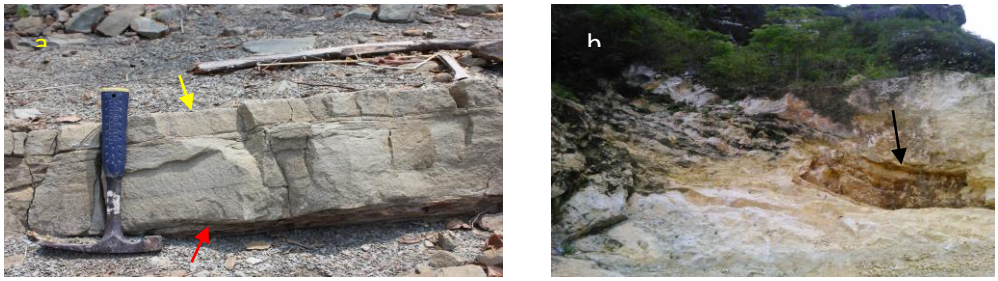
Kolom stratigrafi didapatkan dari korelasi kolom-kolom litologi yang dihasilkan dari pengamatan suatu singkapan. Pada singkapan dapat dilakukan pengamatan batuan, struktur, morfologi, proses yang bekerja pada batuan dan lain-lain. Pengamatan terhadap aspek-aspek geologi dalam singkapan terkadang begitu banyak dan kompleks sehingga perlu dilakukan penyusunan dan pengorganisasian terhadap apa yang harus dilakukan pada suatu singkapan seperti langkah-langkah berikut ini :

1. Lihat seluruh singkapan yang dijumpai dan daerah sekitarnya. Adakah singkapan yang kita jumpai sudah yang terbaik atau justru di sekitarnya masih ada singkapan lain yang lebih komplit informasi geologinya, jika memang sudah yang terbaik maka singkapan ini akan menjadi singkapan yang akan diamati.
2. Jauhi dan dekati singkapan yang terpilih kemudian lakukan pengamatan dari jarak menengah sehingga bisa teramati geometri (sebaran secara lateral), urutan vertikal dan batas batuan serta struktur yang memotong batuan (Gambar 3.19).
3. Dekati singkapan dan amati batas batuan yang ada, apakah batuan mempunyai batas tajam, tajam erosional ataukah bergradasi? Adakah ada perbedaan warna atau tekstur pada batas antar batuan? (Gambar 3.20)
4. Amati penyusun utama batuan, jika perlu gunakan lup atau kaca pembesar. Tentukan ukuran, bentuk dan macam penyusun batuannya. Jika perlu gunakan HCl untuk mengetahui kandungan material karbonatnya. Tentukan nama batuan. Pada batugamping penyusun batuan umumnya tersusun oleh sisa organisme sehingga perlu ditentukan jenis organisme dan proses pengendapannya (Gambar 3.21).
5. Tentukan struktur dan fabrik dari batuan. Pada saat menentukan struktur dapat ditentukan posisi *top* dan *bottom* dari batuan (Gambar 3.20).
6. Amati seluruh kenampakan yang dapat dipakai untuk menentukan arah pengendapan seperti adanya struktur sedimen *crossbed*, *flutecast* dan *groove marks*. Lakukan beberapa pengukuran untuk melihat konsistensinya (Gambar 3.22).
7. Untuk melihat adanya proses deformasi perhatikan lapisan batuan, urat atau struktur-struktur planar apakah sudah terlipatkan atau belum. Jika lipatan tidak jelas teramati perhatikan foliasi, belahan atau kelurusan yang mengindikasikan perlipatan (Gambar 3.23).
8. Pada perlapisan batuan yang mengalami perlipatan ataupun tidak, periksa butiran atau bagian dari batuan yang lebih kecil. Apakah butiran mengalami deformasi?Bagaimana orientasinya terhadap struktur lain?

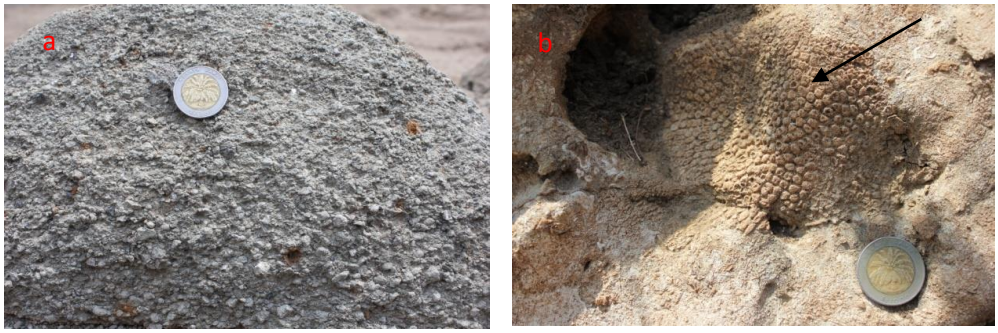
9. Periksa seluruh patahan. Adakah breksi, cermin atau bidang sesar yang jelas? Adakah bidang yang bisa dipakai untuk menentukan arah pergerakannya?Bagaimana hubungan antara patahan yang ada dengan struktur geologi lainnya?(Gambar 3.24)
10. Untuk mengetahui sifat fisik batuan, lakukan tes kompaksi dan sementasi dengan cara memukul batuan dengan palu dan merendamnya dalam air
11. Ukur jarak dan orientasi kekar pada masing-masing batuan, adakah perubahan warna pada kekar tersebut
12. Rekam dan ukur secara sistematik: (a) Ketebalan lapisan tiap unit batuan; (b) letak struktur dari semua struktur primer (struktur sedimen) dalam lapisan; (c) letak seluruh struktur sekunder seperti patahan dan lipatan.
13. Lakukan pencarian fosil secara teliti (Gambar 3.21b).
14. Ambil beberapa contoh batuan yang representatif. Contoh batuan sebaiknya sesegar mungkin dengan ukuran minimal tergantung dari ukuran butiran penyusun batuan. Jika batuan mempunyai ukuran butiran 1mm, maka contoh batuannya diharapkan mempunyai ukuran minimal 3x5x5 cm. Banyaknya contoh batuan yang diambil tergantung kolom litologi yang dihasilkan.



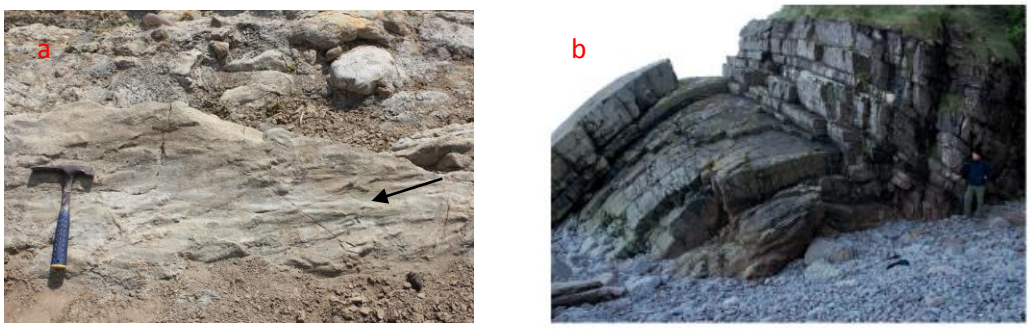
Gambar 3.19. Empat Foto dengan Pembagian Unit Batuannya yang Diamati dari Kejauhan (Coe et.al, 2010)



Gambar 3.20. Kenampakan hubungan/ kontak antar batuan. (a). Panah kuning menunjukkan batas kontak yang tegas, sementara padah merah menunjukkan batas yang gradasional. Berdasarkan kontak batuan ini jurus dan kemiringan batuan sudah terbalik, ke arah atas (panah kuning) batuan semakin tua. (b) Panah hitam menunjukkan kontak erosional batuan yang di atas memotong lapisan batuan bawah. Posisi batuan masih normal, makin ke atas batuan semakin muda.



Gambar 3.21. Tekstur batuan (a). Batuan silisiklastik dengan ukuran butir pasir-kerikil dengan sortasi buruk. (b) Batugamping dengan penyusun berupa fragmen koral (panah) dan moluska.



Gambar 3.22. (a)Struktur sedimen *flutecast* dengan arah pengendapan dari kanan ke kiri (b) Struktur lipatan dengan jurus dan kemiringan batuan yang berlawanan arah (Coe et.al, 2010)

Gambar 3.24. Struktur patahan pada batuan sedimen (a) bidang sesar digambarkan oleh garis putus-putus, arah pergerakan bisa dilihat dari perpindahan lapisan batuan dan sesuai arah panah (b). Bidang sesar pada breksi dengan gores garis yang bisa dipakai untuk menentukan arah pergerakan bidang.

Daftar Pustaka

Anonim, 2010, *Buku Panduan Geologi Lapangan: Pemetaan Geologi 2010*, Jurusan Teknik Geologi FT-UGM, Yogyakarta,112 hal.

Barnes, W.J. and Lisle, R.J., 2004, *Basic Geological Mapping*, fourth ed., John Wiley and Sons Ltd., England, p 186.

Coe, A.L., Argles, T.W., Rothery, D.A., and Spicer, R.A., 2010, *Geological Field Techniques*, Blackwell Publishing Ltd, United Kingdom, p 323.

Compton, R.R., 1985, *Geology in The Field*, John Wiley and Sons Ltd, New York, p 398.

Scoffin, T.P., 1987, *An Introduction to Carbonate Sediments and Rocks*, Chapman and Hall, New York, p 274.

Scholle, P.A. and Ulmer-Scholle, D.S., 2003, A Colour Guide to The Petrography of Carbonate Rocks : Grains, tetures, porosity, diagenesis, *AAPG Memoir 77*, AAPG, USA, p 459.

BAB IV

Pengukuran Nilai Karbon di Kawasan Karst

Eko Haryono, Ghufran Zulqisthi, dan Danardono

4.1. Maksud dan Tujuan Instruksional

Pengukuran nilai karbon di kawasan karst memiliki dua tujuan utama yakni

1. Mengukur fluks karbon inorganik dalam proses karstifikasi ;
2. Mengukur cadangan dan fluks karbon organik kawasan karst.

Berdasarkan dua tujuan utama tersebut dapat diuraikan tujuan khusus dari pengukuran nilai karbon yang dapat dilihat pada Gambar 4.1.

Gambar 4.1. Uraian Tujuan Khusus Pengukuran Karbon pada Kawasan Karst

4.2. Dasar Teori

Peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer erat kaitannya dengan penyebab terjadinya pemanasan global dan perubahan iklim. Sejumlah bukti yang dikemukakan oleh Walther, et al. (2002) memperlihatkan bahwa masalah pemanasan global yang disebabkan oleh peningkatan gas rumah kaca pada 50 tahun terakhir merupakan akibat dari aktivitas manusia. IPCC (2013) menyebutkan bahwasanya pembakaran energi fosil karbon dan konversi hutan hujan tropis menjadi penyebab utama pelepasan gas rumah kaca (*radiatively active gases*) seperti CO_2, CH_4, dan N_2O yang merupakan penyebab utama naiknya rata-rata suhu global 0.3º C setiap kurun waktu 10 tahun. Karbondioksida (CO2) merupakan salah satu gas yang memiliki efek rumah kaca (*greenhouse effect*) yaitu gas yang menyerap panas yang dilepaskan oleh bumi. Oleh karena itu, peningkatan kadar karbon dioksida berkorelasi secara positif dengan peningkatan suhu bumi (Hansen et al,1981).

Hingga saat ini, potensi *carbon reservoir* atau penyimpan karbon (inorganik dan organik) terbesar di alam merupakan kawasan karst. Hasil penelitian sebelumnya Houghton & Woodwell, (1989), kawasan karst memiliki potensi untuk menyimpan 6.1×10^7 milyar ton karbon, Simpanan karbon inorganik pada kawasan karst merupakan produk dari proses karstifikasi. Karstifikasi pada batuan karbonat terbentuk akibat reaksi antara air dan karbondioksida (CO_2). Simpanan karbon organik di kawasan karst terdapat pada proses proses yang bekerja pada vegetasi dan mikro-organisme tanah menghasilkan satuan ekosistem yang unik.

4.2.1 Karbon Inorganik dalam Proses Karstifikasi

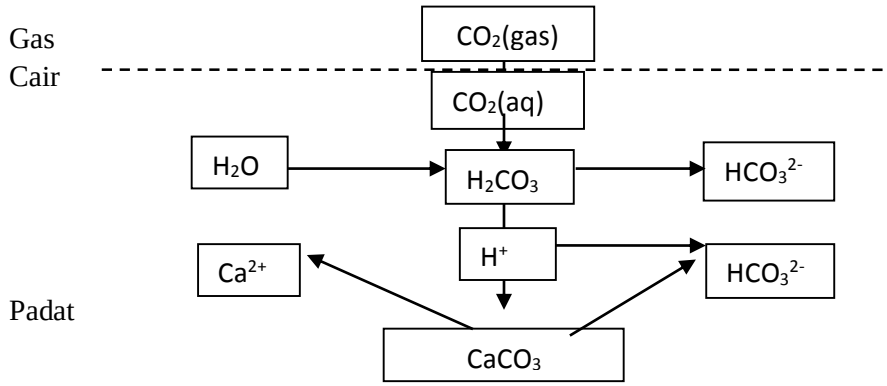
Proses pembentukan bentuklahan karst ini didominasi oleh proses pelarutan atau yang sering disebut karstifikasi. Proses inilah yang berfungsi dalam penyerapan karbon di atmosfer maupun tanah. Proses pelarutan atau karstifikasi secara ringkas dirumuskan sebagai berikut (Liu dan Zhao, 2000)

$$CaCO_3 + H_2O + CO_2 \longrightarrow Ca^{2+} + 2\,HCO_3^- \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4.1)$$

Karbondioksida yang berada di atmosfer bereaksi dengan air membentuk anion bikarbonat. Anion bikarbonat dalam air menunjukkan tingkat kejenuhan terhadap kalsium karbonat ($CaCO_3$). Pada proses pelarutan batuan karbonat, air yang kontak dengan batuan karbonat akan mengikat karbondioksida dari udara. Hasil reaksi dari air, karbondioksida, dan kalsium karbonat akan menghasilkan kation kalsium dan anion bikarbonat.

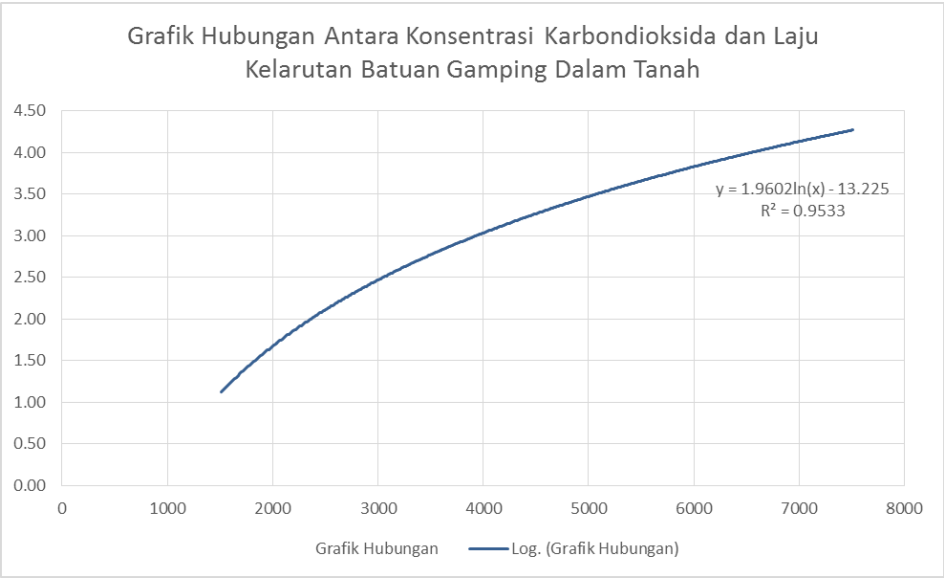
Proses karstifikasi juga terkait dengan siklus karbon global. Pengaruh karstifikasi dalam siklus karbon dijelaskan dalam kajian *Karst Dynamic System* (KDS). KDS menjelaskan bahwa proses karstifikasi diikuti oleh transfer karbon pada 3 fase, yaitu padat, cair dan gas seperti yang terdapat dalam Gambar 4.2. Fase padat

didominasi oleh batuan karbonat, fase cair terdiri dari kandungan ion seperti asam karbonat dan bikarbonat, serta fase gas tersusun atas karbondioksida..



Gambar 4.2 Skema Proses Pelarutan Batugamping (Trudgil, 1985)

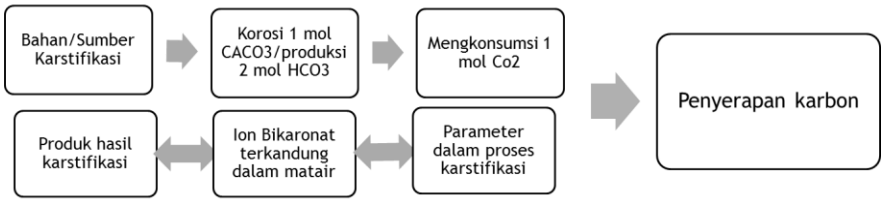
Dilihat dari proses kimianya, keberadaan karbondioksida (CO_2) memiliki peranan penting dalam proses pelarutan atau karstifikasi. Karbondioksida (CO_2) dan air (H_2O) berperan sebagai reaktan untuk membentuk ion H^- yang akan melarutkan batuan karbonat. Hal ini menyebabkan besarnya konsentrasi karbondioksida (CO_2) akan mempengaruhi terhadap daya larut batuan karbonat. Semakin tinggi konsentrasi karbondioksida (CO_2) dalam proses pelarutan atau karstifikasi maka semakin tinggi pula daya larut batuan karbonat. Hubungan antara konsentrasi karbondioksida (CO_2) dengan daya larut batuan karbonat ditunjukkan oleh Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Hubungan Konsentrasi CO_2 dengan Daya Larut Batuan Karbonat (Zulqisthi, 2014)

Berbagai metode perhitungan penyerapan karbon dalam proses karstifikasi telah berkembang hingga saat ini. metode penentuan penyerapan karbon sebelumnya pernah dilakukan oleh Daoxian (2002) dan Zhongceng (1999) menggunakan pendekatan *Karst Dynamic System* (KDS). Metode tersebut dinamakan *Standart Limestone Tablets* dan *Hidrokimia*. Metode ini menggunakan pengukuran laju pelarutan langsung pada model batuan karbonat yang memiliki dimensi dan kandungan ion karbonat terukur serta kandungan alkalinitas pada mataair. Aplikasi dari kedua metode ini secara khusus memungkinkan dapat dilakukan analisis kuantitatif mengenai hubungan antara proses karstifikasi dan penyerapan karbondioksida di atmosfer dalam suatu Daerah Tangkapan Air (DTA) kawasan karst. Oleh karena kedua metode ini dapat menjelaskan lebih detil mengenai proses KDS, maka kedua metode tersebut digunakan dalam penelitian ini dalam menghitung penyerapan karbondioksida pada kawasan karst.

Pengukuran alkalinitas terutama anion bikarbonat dapat digunakan untuk prediksi potensi jumlah serapan karbon atmosfer. Selain itu, debit mataair juga sangat berpengaruh terhadap jumlah serapan karbondioksida dan kandungan bikarbonat. Semakin besar debit maka kandungan bikarbonat akan menurun karena konsentrasinya dalam air menurun. Melalui data debit dan kandungan bikarbonat akan dihitung potensi serapan karbon atmosfer. Selain menggunakan kandungan bikarbonat, laju pelarutan batuan karbonat juga dapat digunakan dalam perhitungan penyerapan karbon. Dimana korosi dari 1 mol $CaCO_3$ atau produksi dari 2 mol 2 HCO_3^- membutuhkan konsumsi 1 mol CO_2 dari atmosfer. Oleh karena itu, metode ini dapat digunakan untuk menghitung flux penyerapan karbon. Konsep perhitungan penyerapan karbon secara sederhana dapat dilihat dari bagan dibawah (Gambar 4.4)



Gambar 4.4. Konsep Perhitungan Potensi Penyerapan Karbon (Zulqisthi, 2014)

4.2.2 Karbon Organik pada Kawasan Karst

Cadangan karbon organik karst identik dengan kandungan biomassa yang terdapat di dalam ekosistem permukaan kawasan karst. Biomassa dalam suatu ekosistem adalah total berat atau volume organisme dalam suatu area atau volume tertentu (IPCC, 2003). Biomassa sering juga didefinisikan sebagai total jumlah materi hidup di atas permukaan pada suatu pohon dan dinyatakan dengan satuan ton berat kering per satuan luas (Brown, 1997). Pengukuran cadangan karbon organik karst

mengharuskan pengukuran biomassa dari seluruh komponen penyusun ekosistem kawasan karst yang menjadi tampungan karbon utama. Kantong karbon organic utama kawasan karst terdiri dari biomassa atas permukaan, biomassa bawah permukaan, bahan organik mati, dan bahan organik tanah.

1. **Biomassa atas permukaan** adalah semua material hidup di atas permukaan. Termasuk bagian dari kantong karbon ini adalah batang, tunggul, cabang, kulit kayu, biji, dan daun dari vegetasi baik dari strata pohon maupun dari strata tumbuhan bawah di lantai hutan;
2. **Biomassa bawah permukaan** adalah semua biomassa dari akar tumbuhan yang hidup. Pengertian akar ini berlaku hingga ukuran diameter tertentu yang ditetapkan. Hal ini dilakukan sebab akar tumbuhan dengan diameter yang lebih kecil dari ketentuan cenderung sulit untuk dibedakan dengan bahan organik tanah dan seresah;
3. **Bahan organik mati** meliputi kayu mati dan seresah. Seresah dinyatakan sebagai semua bahan organik mati dengan diameter yang lebih kecil dari diameter yang telah ditetapkan dengan berbagai tingkat dekomposisi yang terletak di permukaan tanah. Kayu mati adalah semua bahan organik mati yang tidak tercakup dalam seresah baik yang masih tegak maupun yang roboh di tanah, akar mati, dan tunggul dengan diameter lebih besar dari diameter yang telah ditetapkan.
4. **Bahan organik tanah** mencakup karbon pada tanah mineral dan tanah organik termasuk gambut.

Disamping pengukuran cadangan karbon organik, akan dilakukan juga pengukuran fluks karbon organic yang didasarkan pada nilai NEP (*Net Ecosystem Production*). NEP merupakan perhitungan penyerapan karbon yang dapat dilakukan oleh suatu ekosistem dengan asumsi penyerapan bersih karbon pada vegetasi dikurangi emisi karbon yang dikeluarkan oleh tanah. Penyerapan bersih karbon lebih sering dikenal dengan nama NPP (*Net Primary Production*). Nilai NPP dapat digunakan untuk menggambarkan penyerapan bersih karbon pada tanaman yang dihasilkan melalui proses fotosintesis dan respirasi tanaman. Perhitungan NPP didasarkan pada analisis kerapatan vegetasi yang dihubungkan dengan kondisi iklim mikro di ekosistem tersebut. NPP ini dapat didekati dengan teknik analisis citra penginderaan jauh.

Emisi karbon yang dikeluarkan tanah sering dinyatakan dengan respirasi tanah. Respirasi tanah dapat digunakan untuk menggambarkan besarnya emisi karbondioksida yang dihasilkan tanah pada suatu ekosistem tertentu. Nilai respirasi tanah dapat diperoleh melalui pengukuran langsung dilapangan dengan menjerat karbondioksida yang dikeluarkan oleh tanah ke atmosfer. Guna menunjang nilai respirasi tanah diperlukan juga pengukuran nilai karbondioksida yang terkandung di dalam tanah sehingga dapat diketahui mekanisme aliran karbon yang terjadi dalam suatu ekosistem.

4.3. Kebutuhan Data

Data yang dibutuhkan untuk pengukuran nilai karbon di kawasan karst antara lain:

1. Laju pelarutan *limestone tablet;*
2. Cadangan karbon organik hutan meliputi biomassa permukaan, biomassa bawah permukaan, bahan organik mati dan bahan organic tanah;
3. Flux karbondioksida tanah;
4. Flux respirasi tanah;
5. Kandungan alkalinitas dan kalsium yang terkandung di dalam air mataair.

4.4. Metode Pengukuran

4.4.1. Pengukuran Laju Pelarutan dan Nilai Serapan Karbon Menggunakan *Limestone Tablet*

Alat dan bahan yang digunakan dalam pengukuran ini antara lain :

1. *Global Positioning System Receiver (GPS),* untuk mengetahui lokasi absolut;
2. *Standard Limestone Tablets* sejumlah 30 buah. Tablet ini memiliki spesifikasi diameter 4 cm, total luas permukaan sebesar 28.91 cm^2, berat ± 12 g dan memiliki kandungan $CaCO_3$ sebesar 99.03 %;
3. *Limestone Tablets* yang dibuat dari sampel batuan karbonat pada lokasi pengukuran sejumlah 30 buah dengan ukuran 4 x 4 cm , berat ± 12 g dan memiliki kandungan $CaCO_3$ mendekati 90 %.;
4. Oven pemanas;
5. Aquades;
6. Timbangan analitik;
7. Toples Kedap Udara;
8. Bor Tanah;
9. Sekop;
10. Kamera;
11. Alat Tulis.

Pada Metode *Standard Limestone Tablets* diperlukan langkah-langkah untuk mendapatkan nilai selisih berat antara sebelum dan sesudah ditanam (Gambar 2.1). Adapun langkah-langkah perlakuan sampel tablet adalah sebagai berikut:

1. Tablet dicuci dengan aquades sebanyak 3 kali;
2. Tablet dikeringkan dengan suhu 101° celcius selama 8 jam;
3. Tablet didinginkan dalam eksikator ;
4. Berikan kode/nama pada setiap *limestone tablets*
5. Tablet ditimbang, balance accuracy 0.000/g;
6. Diamkan dalam wadah kering tertutup;

Gambar 4.5. Pengovenan *Tablet* pada suhu 101° celcius (A) dan Penimbangan *Tablet* dengan Timbangan Analitik 0.000/g (B) (Zulqisthi, 2014)

7. Sampel *Limestone Tablets* ditanam dengan rentang waktu selama 1 tahun pada variasi kondisi lokasi yang berbeda dengan jumlah minimal sebanyak 3 buah dalam satu lokasi.
8. Tanam sampel *Limestone Tablets* pada kedalaman tanah -30 cm , pada kedalaman ini diasumsikan terjadi proses oksidasi enzimatik mikroorganisme dalam tanah, serta ditanam setinggi 100 cm diatas permukaan untuk mengetahui pengaruh kondisi atmosfer lokal terhadap laju pelarutan batuan karbonat;
9. Lokasi penanaman berada pada kawasan karst yang sesuai dengan lokasi pengambilan sampel *limestone tablets*, dengan penempatan secara random dengan jarak interval kurang lebih 100 m per tablet. Pemilihan lokasi harus memenuhi syarat antara lain : 1) Mudah di akses, 2) Mudah dikenali, 3) Tidak pada lokasi aktivitas manusia (logging, perkebunan sawit dll);
10. Foto proses penanaman *Limestone Tablets* dan lokasi penanaman serta catat lokasi absolut penanaman dengan GPS;
11. Setelah satu tahun, ambil *Limestone Tablets* yang telah ditanam kemudian lakukan kembali langkah 1-5.

Gambar 4.6. *Limestone Tablet* yang Telah Ditanam (Zulqisthi, 2014)

4.4.2. Pengukuran Nilai Serapan Karbon dengan Alkalinitas

Alat dan bahan yang digunakan dalam pengukuran ini antara lain:

1. *Global Positioning System Receiver (GPS),* untuk mengetahui lokasi absolut;
2. *Alkalinity test kit,* untuk mengetahui kandungan HCO_3^- dalam air;
3. Ca^{2+} *test kit,* untuk mengetahui kandungan Ca^{2+} pada rembesan;
4. *Automatic logger water level,*untuk mencatat tinggi muka air secara otomatis;
5. *Automatic rain gauge,* untuk mengukur curah hujan secara otomatis;
6. Logger AWLR HOBO
7. Gelas ukur, untuk mengukur volume air sampel;
8. Pita Ukur;
9. Botol untuk pelampung;
10. Plastik, untuk penampung kedap air;
11. Kamera,untuk mendokumentasikan kegiatan lapangan;
12. Alat tulis, untuk rekam data hasil pengukuran.

Pada pengukuran flux karbon pada mataair karst diperlukan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Tentukan lokasi mataair yang akan dilakukan pengukuran, catat lokasi absolut mataair menggunakan GPS;
2. Pasang logger TMA dan ukur debit mataair (lihat petunjuk pemasangan logger dan pengukuran debit mataair pada bab hidrologi);
3. Lakukan titrasi pada mataair menggunakan *Alkalinity test kit* dan Ca^{2+} *test kit*
   a. Titrasi menggunakan Alkalinity test kit (prosedur ini hanya berlaku dengan Alkalinity test kit dengan merk dagang Merck)
      1) Buka kotak *Alkalinity test kit*
      2) Bilas tabung/vessel dengan air mataair untuk proses homogenisasi pada tabung
      3) Ambil sampel air pada mataair sebanyak 5ml menggunakan alat penyemprot/*syringe* kedalam tabung/vessel
      4) Sebelum dilakukan titrasi lakukan cek pH pada mataaair menggunakan pH meter, jika pH < 4.3 maka nilai alkalinitas dianggap 0, jika pH 4.3- 8.2 maka reagen yang digunakan adalah R-2, sedangkan jika pH > 8.2 maka reagen yang digunakan adalah R-1
      5) Tambahkan reagen sebanyak 2 tetes kedalam sampel air kedalam tabung apabila menggunakan reagen R-1 maka air akan berubah menjadi warna merah setelah ditambahkan reagen, apabila menggunakan reagen R-2 maka air akan berubah menjadi berwarna biru

6) Lakukan proses titrasi menggunakan larutan R-3, pastikan katup berwarna hitam terisi penuh larutan (tidak ada buih) dan tepat berada di angka 0. Proses titrasi dihentikan apabila warna cairan berubah menjadi tak berwarna apabila menggunakan reagen R-1 dan warna cairan berubah menjadi merah/pink apabila menggunakan reagen R-2
7) Catat nilai R-3 yang digunakan untuk proses titrasi dalam mg/l

Gambar 4.7. Proses Tirasi dengan Alkalinity Test (Zulqisthi, 2014)

4. Lakukan titrasi pada mataair menggunakan Ca^{2+} *test kit*
   a. Titrasi menggunakan Ca^{2+} test kit (prosedur ini hanya berlaku dengan Ca^{2+}test kit dengan merk dagang Merck)
      1) Sebelum dilakukan titrasi lakukan cek pH pada mataaair menggunakan pH meter. Titrasi ini hanya bisa digunakan untuk pH 6-8
      2) Buka kotak Ca^{2+} *test kit*
      3) Bilas tabung/vessel dengan air mataair untuk proses homogenisasi pada tabung
      4) Ambil sampel air pada mataair sebanyak 5ml menggunakan alat penyemprot/*syringe* kedalam tabung/vessel
      5) Tambahkan reagen Ca-1 sebanyak 10 tetes kedalam sampel air kedalam tabung
      6) Tambahkan reagen Ca-2 sebanyak 2 tetes kedalam sampel air kedalam tabung

7) Lakukan proses titrasi menggunakan larutan Ca-3, pastikan katup berwarna hitam terisi penuh larutan (tidak ada buih) dan tepat berada di angka 0. Proses titrasi dihentikan apabila warna cairan berubah dari merah keunguan menjadi biru keunguan. Catat nilai Ca-3 yang digunakan untuk proses titrasi dalam mg/l

4.4.3. Pengukuran Cadangan Karbon Organik

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam pengukuran cadangan karbon organik hutan yaitu :

1. GPS dengan tingkat kesalahan jarak maksimal 10 meter sebagai alat penentu posisi koordinat;
2. *Phi band* sebagai alat pengukur diameter pohon;
3. Meteran minimal ukuran 30 meter sebagai alat pengukur panjang;
4. *Laser Distance Meter* digunakan untuk mengukur kelerengan dan pengukur tinggi pohon;
5. Bor tanah dan *Ring Soil Sampler* sebagai alat pengambil sampel tanah;
6. Timbangan gantung sebagai pengukur berat;
7. Kompas sebagai penunjuk arah orientasi;
8. Gergaji kecil;
9. Gunting stek;
10. Parang;
11. Checklist;
12. Wadah contoh atau sampel.

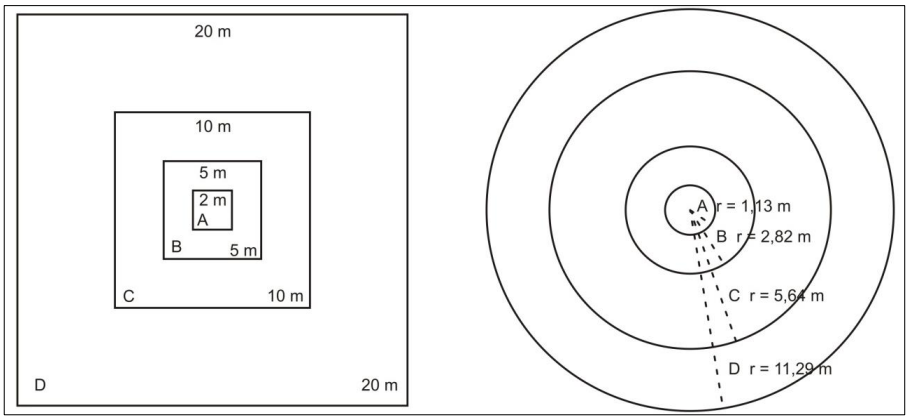
Adapun langkah – langkah pengukuran cadangan karbon organik hutan sebagai berikut.

1. Pembuatan Plot Contoh di lapangan

   Pembuatan plot contoh disesuaikan dengan kondisi lapangan dimana plot contoh dapat berbentuk lingkaran, persegi panjang, ataupun bujur sangkar. Ukuran plot contoh disesuaikan dengan tingkatan pertumbuhan vegetasi yaitu sebagai berikut.

   a. Semai (vegetasi kayu dengan diameter < 2 cm dan tinggi ≤ 1,5 m) dengan luasan minimal 4 m^2
   b. Pancang (vegetasi kayu dengan diameter 2 cm sampai < 10 cm) dengan luasan minimal 25 m^2
   c. Tiang (vegetasi kayu dengan diameter 10 cm sampai < 20 cm) dengan luasan minimal 100 m^2
   d. Pohon (vegetasi kayu dengan diameter ≥ 20 cm) dengan luasan minimal 400 m^2.

Adapun ilustrasi pembuatan plot contoh di lapangan dapat dilihat pada gambar 4.8.



Gambar 4.8. Ilustrasi Bentuk Plot Contoh (SNI, 2011)

Keterangan Gambar 4.8:

A : sub plot untuk semai, seresah, tumbuhan bawah

B : sub plot untuk pancang

C : sub plot untuk tiang

D : sub plot untuk pohon

Adapun langkah – langkah pembuatan plot contoh yaitu :

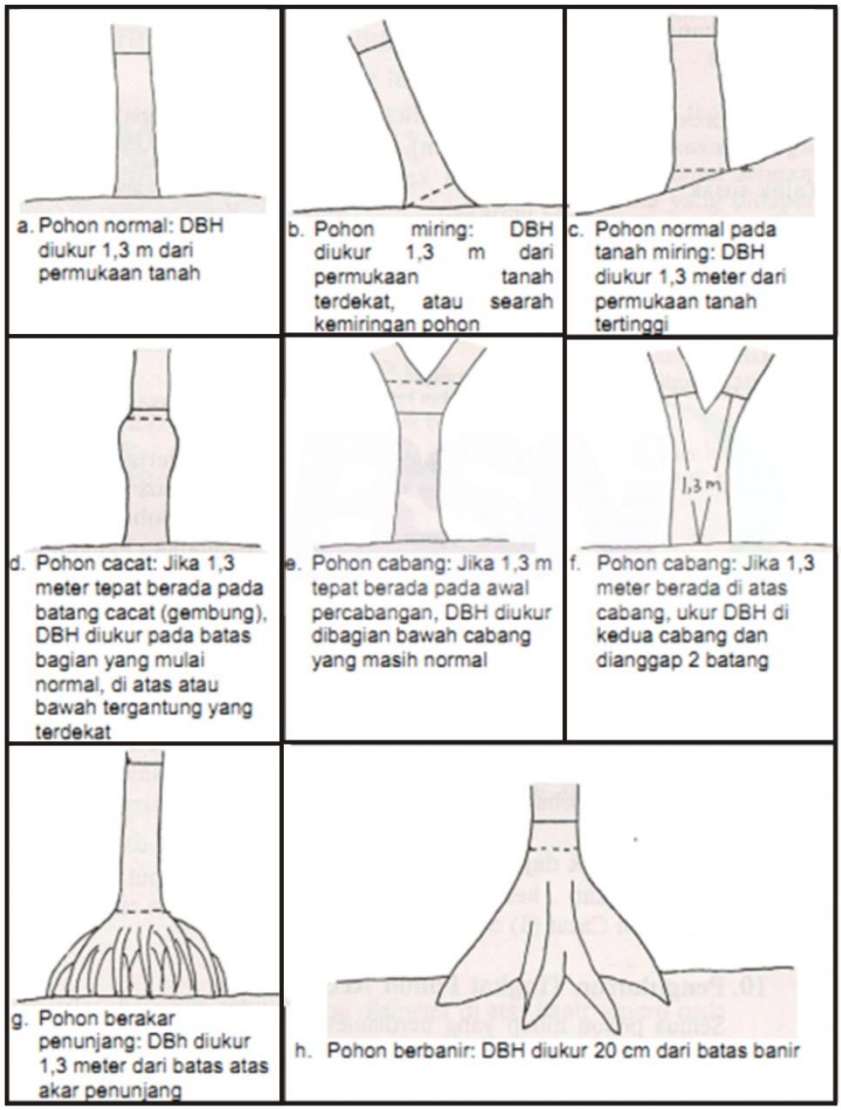
1) Buatlah subplot untuk semai terlebih dahulu dengan ukuran seperti tertera di atas dengan membentangkan meteran;
2) Plot lokasi koordinat pada titik tengah subplot semai dengan GPS;
3) Buatlah subplot selanjutnya yaitu pancang, kemudian tiang, dan dilanjutkan dengan sub plot pohon dengan menggunakan meteran;
4) Plot lokasi koordinat pada empat titik simpul subplot pohon dengan GPS.

2. Pengukuran Biomassa Pohon

Adapun pengukuran biomassa pohon dapat dilakukan dengan langkah sebagai berikut.

1) Lakukan identifikasi semua nama jenis pohon yang berada dalam subplot untuk pohon;
2) Ukurlah juga diameter setinggi dada pada ketinggian ± 1,3 meter (dbh) dari setiap pohon tersebut;
3) Catat data dbh dan nama jenis pohon ke dalam checklist;
4) Ulangi langkah 1 sampai 3 pada subplot tiang dan pancang;
5) Hitunglah biomassa pohon pada setiap sub plot (pohon, tiang, pancang) dengan persamaan alometrik.

Pengukuran diameter setinggi dada di lapangan pada berbagai kondisi pohon dapat mengacu pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9. Ilustrasi Pengukuran Diameter Pohon pada Berbagai Kondisi Pohon (SNI, 2011)

3. Pengukuran Biomassa Tumbuhan Bawah

   Adapun pengukuran biomassa tumbuhan bawah dapat dilakukan dengan langkah sebagai berikut.

   1) Potonglah semua bagian tumbuhan bawah di atas permukaan tanah dengan menggunakan gunting stek pada sub plot tumbuhan bawah;
   2) Masukkan semua tumbuhan bawah yang telah terpotong ke dalam wadah dan kemudian timbang berat basah total semua tumbuhan bawah;
   3) Catat berat basah tumbuhan bawah ke dalam checklist;

4) Ambillah dan timbang berat contoh tumbuhan bawah ± 300 gram sebagai sampel tumbuhan bawah;
5) Catat dan berilah penomoran pada sampel tumbuhan bawah;
6) Keringkan dengan oven di laboratorium dengan kisaran suhu 70°C sampai 80°C hingga mencapai berat konstan;
7) Timbanglah berat kering tumbuhan bawah;
8) Catat berat kering tumbuhan bawah ke dalam checklist;
9) Lakukan analisis karbon organik pada sampel tumbuhan bawah tersebut untuk melihat kandungan karbonnya.

4. Pengukuran Biomassa Seresah

Adapun pengukuran biomassa seresah dapat dilakukan dengan langkah sebagai berikut.

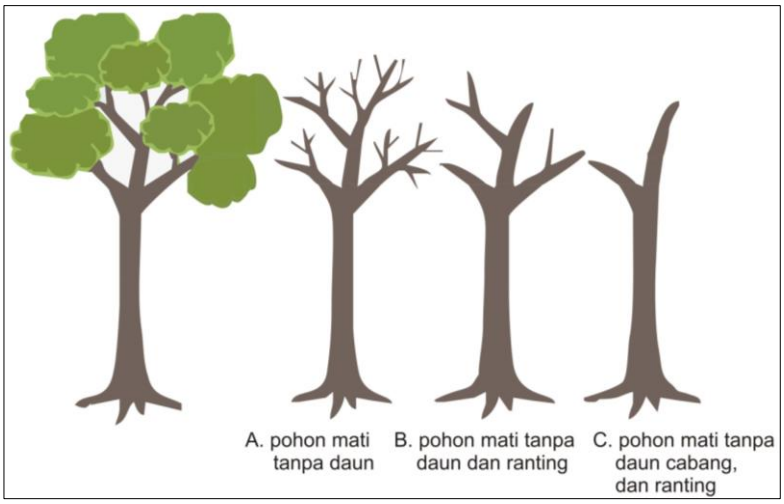
1) Kumpulkan semua seresah yang berada pada sub plot seresah;
2) Masukkan semua seresah ke dalam wadah dan kemudian timbang berat basah total semua seresah;
3) Catat berat basah seresah ke dalam checklist;
4) Ambillah dan timbang berat contoh seresah ± 300 gram sebagai sampel seresah;
5) Catat dan berilah penomoran pada sampel seresah;
6) Keringkan dengan oven di laboratorium dengan kisaran suhu 70°C sampai 80°C hingga mencapai berat konstan;
7) Timbanglah berat kering seresah;
8) Catat berat kering seresah ke dalam checklist;
9) Lakukan analisis karbon organik pada sampel seresah tersebut untuk melihat kandungan karbonnya.

5. Pengukuran Biomassa Pohon Mati dan Kayu Mati

a. Pengukuran biomassa pohon mati

Adapun langkah – langkah pengukuran biomassa pohon mati dapat dilakukan sebagai berikut.

1) Amati jenis dan ukurlah dbh dari pohon mati;
2) Catat jenis dan ukuran dbh pohon mati ke dalam checklist;
3) Tentukan tingkat keutuhan pohon mati dengan bentuk tingkat keutuhan dapat dilihat pada Gambar 4.10;
4) Hitunglah biomassa pohon mati dengan menggunakan persamaan alometrik dikalikan dengan faktor koreksi dari tingkat keutuhan pohon mati (lihat Gambar 4.10).



Gambar 4.10. Tingkat Keutuhan Pohon Mati (SNI, 2011)

Keterangan Gambar :

A : tingkat keutuhan pohon dengan koreksi 0,9

B : tingkat keutuhan pohon dengan koreksi 0,8

C : tingkat keutuhan pohon dengan koreksi 0,7

b. Pengukuran biomassa kayu mati

Adapun langkah – langkah pengukuran biomassa kayu mati dapat dilakukan sebagai berikut.

1) Ukurlah diameter kayu mati pada bagian pangkal dan ujung kayu;
2) Ukurlah panjang total dari kayu mati tersebut;
3) Catat diameter dan panjang kayu mati tersebut ke dalam checklist;
4) Hitunglah volume kayu mati dengan menggunakan rumus Brereton;
5) Hitunglah berat jenis kayu mati dengan mendasarkan pada pengamatan empiris atau langsung di lapangan dari tingkat pelapukan kayu mati;
6) Hitunglah biomassa kayu mati dengan rumus sebagai berikut.

$B_{km} = V_{km} \times BJ_{km}$ ..... (4.2)

Keterangan :

B_{km} : biomassa kayu mati (dalam kilogram)

V_{km} : volume kayu mati (dalam m^3)

BJ_{km} : berat jenis kayu mati (dalam kg/m^3)

6. Pengukuran Biomassa di Bawah Permukaan Tanah

Pengukuran biomassa di bawah permukaan tanah dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

B_{bp} = NAP x B_{ap} ..... (4.2)

Keterangan :

B_{bp} : Biomassa di bawah permukaan tanah (dalam kilogram)

NAP : nilai nisbah akar pucuk

B_{ap} : nilai biomassa akar permukaan (dalam kilogram)

7. Pengukuran Kandungan Karbon Organik Tanah
   a. Pengukuran pada tanah mineral kering

      Adapun langkah – langkah pengukuran kandungan karbon organik tanah pada tanah mineral kering yaitu :

      1) Ambillah contoh tanah pada lima titik pada plot contoh yang telah dibuat, pengambilan sebaiknya dilakukan pada empat simpul plot dan titik tengah plot contoh;
      2) Lakukan pengambilan contoh tanah dengan cara mengkompositkan atau mencampurkan contoh tanah dari kelima titik pengambilan tersebut pada lapisan tanah atas pada kedalaman ± 20 – 30 cm;
      3) Letakkan *ring soil sampler* pada masing – masing titik pengambilan contoh tanah;
      4) Ambil contoh tanah dari *ring soil sampler* dan kemudian timbang berat basahnya di lapangan;
      5) Catat berat basah tanah di lapangan dan berikan penomoran pada sampel tanah yang diambil di lapangan;
      6) Kering-anginkan contoh tanah di laboratorium dan kemudian timbang berat kering tanah tersebut;
      7) Lakukan analisis berat jenis tanah dan kandungan bahan organik tanah sampel.
   b. Pengukuran pada tanah gambut

      Adapun langkah – langkah pengukuran kandungan karbon organik tanah pada tanah gambut yaitu :

      1) Ukur kedalaman gambut pada setiap jarak 200 meter sampai dengan 300 meter pada jalur rintisan menuju plot contoh;
      2) Ambillah contoh tanah gambut minimal 3 contoh dari tiap tingkat kematangan gambut;
      3) Lakukan analisis laboratorium untuk mendapatkan kerapatan lindak (*bulk density*) dan kandungan karbonnya.
   c. Pengukuran pada tanah mineral mangrove

      Adapun langkah – langkah pengukuran kandungan karbon organik tanah pada tanah mineral mangrove yaitu :

1) Ambillah contoh tanah pada lima titik pada plot contoh yang telah dibuat, pengambilan sebaiknya dilakukan pada empat simpul plot dan titik tengah plot contoh;
2) Lakukan pengambilan contoh tanah dengan cara mengkompositkan atau mencampurkan contoh tanah dari kelima titik pengambilan tersebut pada lapisan tanah atas pada kedalaman ± 0 – 5 cm;
3) Letakkan *ring soil sampler* pada masing – masing titik pengambilan contoh tanah;
4) Ambil contoh tanah dari *ring soil sampler* dan kemudian timbang berat basahnya di lapangan;
5) Catat berat basah tanah di lapangan dan berikan penomoran pada sampel tanah yang diambil di lapangan;
6) Kering-anginkan contoh tanah di laboratorium dan kemudian timbang berat kering tanah tersebut;
7) Lakukan analisis berat jenis tanah dan kandungan bahan organik tanah sampel.

4.4.4. Pengukuran Nilai Karbondioksida Tanah

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam pengukuran fluks karbondioksida dalam tanah yaitu :

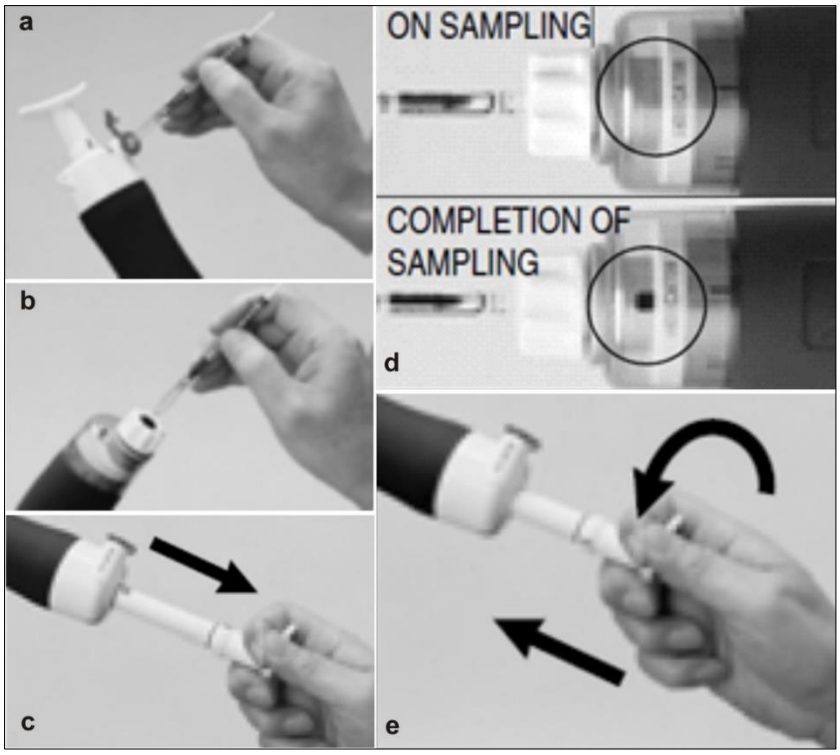
1. GPS sebagai alat penentu posisi koordinat;
2. Sekop dan Cangkul untuk membuat profil penampang tanah;
3. Meteran untuk mengukur kedalaman tanah;
4. *Kitagawa Gas Detector* dan CO_2 *tube* untuk mengukur fluks karbondioksida dalam tanah;
5. Kamera untuk dokumentasi lapangan;
6. Checklist dan Alat tulis.

Tahapan pengukuran fluks karbondioksida (CO_2) dalam tanah dilakukan dengan menggunakan Kitagawa Gas Detector dan CO_2 *tube*. Adapun langkah pengukuran karbondioksida (CO_2) yaitu:

1. Buatlah profil penampang tanah secara vertikal dengan menggunakan sekop dan cangkul atau cari singkapan tanah yang dapat merepresentasikan profil tanah;
2. Bersihkan tanah bagian terluar untuk menampakkan bagian tanah yang masih segar dan belum terganggu oleh aktivitas fisik dan kimia dari luar tanah;
3. Plot lokasi pengambilan sampel dengan menggunakan GPS dan catat di dalam checklist;
4. Potong bagian atas dan bawah *CO_2 tube* dengan cara memasukkannya ke dalam *tip cutter* pada alat *Kitagawa Gas Detector* kemudian diputar dan

ditekan hingga bagian yang dimasukkan ke *tip cutter* patah (Gambar 4.11(a)).

5. Hubungkan *CO_2 tube* ke dalam bagian atas alat *Kitagawa Gas Detector* dengan memperhatikan instruksi arah masuknya *CO_2 tube* pada bagian tubuh *CO_2 tube* (Gambar 4.11(b)).
6. Tarik handel secara lurus dengan melihat garis merah pada handel dengan garis merah pada tubuh alat *Kitagawa Gas Detector*. Tarik handel sampai penuh sampai skala 100cc terlihat (Gambar 4.11(c)).
7. Masukkan ujung *CO_2 tube* ke dalam tanah, kemudian tunggu dalam 5 menit sampai proses sampling selesai yang ditandai dengan kemunculan *flow indikator* (Gambar 4.11(d)).
8. Kembalikan handel seperti semula dengan memutar handel 90° searah atau berlawanan jarum jam untuk melepaskan kuncian handel (Gambar 4.11(e))
9. Lihat terjadinya perubahan warna pada *CO_2 tube*, apabila semua *tube* mengalami perubahan warna maka perlu dilakukan pengulangan pengambilan sampel dengan hanya menarik handel setengah (sampai terlihat skala 50cc);
10. Setelah pengukuran selesai baca besarnya konsentrasi CO_2 pada *CO_2 tube* dengan melihat batas maksimum terjadinya perubahan warna sehingga skala yang terlihat pada maksimum perubahan warna merupakan besarnya konsentrasi CO_2 dalam tanah tersebut;
11. Catat hasil pengukuran karbondioksida ke dalam checklist;
12. Ulangi langkah 4 sampai 11 pada beberapa kedalaman tanah untuk mengetahui variasi karbondioksida tanah pada setiap kedalaman tanah.



Gambar 4.11. Pengukuran Fluks Karbondioksida (CO_2) dengan Menggunakan *Kitagawa Gas Detector* dan CO_2 *Tube* (Danardono, 2013)

4.4.5. Pengukuran Respirasi Tanah

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam pengukuran respirasi tanah dalam tanah yaitu :

1. GPS sebagai alat penentu posisi koordinat;
2. *Soil Gas Chamber* sebagai penjerap gas yang dikeluarkan tanah;
3. *Kitagawa Gas Detector* dan CO_2 *tube* untuk mengukur kadar karbondioksida pada respirasi tanah;
4. Sekop dan Cangkul untuk membantu dalam pemasangan *soil gas chamber*;
5. Kamera untuk dokumentasi lapangan;
6. Checklist dan Alat tulis.

Tahapan pengukuran respirasi tanah dapat dilakukan dengan menjerap gas yang dikeluarkan tanah menggunakan *soil gas chamber*. Gas yang tertampung dalam *soil gas chamber* dapat diukur kadarnya dengan menggunakan *soil gas chamber*. Adapun langkah pengukuran respirasi tanah yaitu :

1. Tanam *soil gas chamber* pada tanah sesuai lokasi yang telah ditentukan sebelumnya sampai tubuh *soil gas chamber* tertanam ± 30 cm;

Lokasi penanaman *soil gas chamber* dilakukan pada beberapa perbedaan penutup lahan sehingga dapat diketahui variasi respirasi tanah secara spasial; *Soil Gas Chamber* dapat dimodifikasi dengan menggunakan paralon ukuran 2 dim dan tinggi ± 30 cm. Adapun langkah pemasangan soil gas chamber dengan menggunakan paralon yaitu :

a. Tanam paralon yang telah dipotong sesuai ukuran pada tanah pada tanah sesuai lokasi yang telah ditentukan sebelumnya sampai tubuh paralon tertanam ± 30 cm;
b. Tutup bagian atas paralon dengan menggunakan plastik bening dan ikat plastik tersebut dengan menggunakan karet gelang sehingga plastik tidak terlepas dari paralon.

Gambar 4.12. Ilustrasi Cara Penanaman *Soil Gas Chamber*

2. Plot lokasi koordinat pemasangan *soil gas chamber* dan berilah penanda di dekatnya agar *soil gas chamber* dapat dikenali dan mudah dicari;
3. Catat lokasi pemasangan *soil gas chamber* pada checklist dan berikan keterangan nomor pemasangan;
4. Diamkan *soil gas chamber* selama 3 hari agar gas yang dikeluarkan tanah dapat terakumulasi di dalam *chamber*;
5. Setelah 3 hari, ukurlah kadar karbondioksida di dalam *soil gas chamber* dengan cara menancapkan ujung *Kitagawa Gas Detector* dan CO_2 *tube* pada bagian atas *chamber*;

Gambar 4.13. Ilustrasi Penancapan *Kitagawa Gas Detector* ke dalam *Chamber*

6. Penggunaan *Kitagawa Gas Detector* dan CO_2 *tube* secara lengkap dapat dilihat pada **sub bagian pengukuran karbondioksida dalam tanah**;
7. Catat hasil pengukuran karbondioksida dalam respirasi tanah ke dalam checklist;
8. Ulangi langkah 1 sampai 7 untuk kondisi penutup lahan lain yang terdapat dalam lokasi kajian.

Daftar Pustaka

Brown, S. 1997. Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forest: a Primer. *FAO Forestry Paper*. FAO. Rome.

Danardono. 2013. Distribusi Karbondioksida (Co_2) Tanah pada Kawasan Karst Gunungsewu (Kasus Profil Tanah Daerah Sekitar Mata Air Ngeleng, Petoyan). *Skripsi*. Yogyakarta : Fakultas Geografi UGM.

Daoxian, Y. 2002. *The Carbon Cycle in Karst,* IGCP Report. Institute of Karst Geology. Guilin.

Hansen, J, D.Johnson, A.Lacis. 1981. Climate Impact of Increasing Atmospheric Carbon Dioxide. *Science , Volume 213, Number 4511*. Hal : 957-966

Houghton, R.A. and Woodwell, G.M., 1989. Global Climate Change. *Sci. Amer*. 260, 18-26

IPCC. 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis: Working Group 1 Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. New York: Cambridge University Press.

IPCC. 2003. *Good Practice Guidance for Land-Use, Land-Use Change and Forestry*. Japan : IGES.

IPCC. 2006. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Japan : IGES.

Liu, Z. & Zhao J., 2000: Contribution of carbonate rock weathering to the atmospheric CO2 sink. *Environmental Geology*. 39, pp. 1053-1058.

Trudgil.1985. *Limestone Geomorphology*. London: Longman

Walther, G.-R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J., Fromentin, J-M., Hoegh-Guldberg, O And Bairlein, F. 2002. Ecological Responses To Recent Climate Change. *Nature (416)*: 389-395.

Zulqisthi, Ghufran . 2014.Tingkat Laju Pelarutan Dan Penyerapan Karbon Di Kawasan Karst Gunung Sewu Menggunakan *Standard Limestone Tablets* Dan Hidrokimia Studi Dta Mata Air Ngeleng, Giritirto, Purwosari, Gunung Kidul. *Skripsi*. Yogyakarta: Fakultas Geografi. Universitas Gadjah Mada

Zhongcheng, Jiang dan Yuan Daoxian. 1999. CO2 Source-Sink in Karst Processes in Karst Areas of China. *Episodes , Vol 22 no.1*. Hal : 33 -35.

SNI 7724 : 2011 mengenai Pengukuran dan Perhitungan Cadangan Karbon-Pengukuran Lapangan untuk Penaksiran Cadangan Karbon Hutan.

BAB V

Survei Keanekaragaman Hayati Tumbuhan

Paulus Matius

5.1 Maksud dan Tujuan Instruksional

Tujuan dari survei keanekaragaman hayati tumbuhan pada kawasan eksokarst, antara lain :

1. Mengetahui Kekayaan jenis vegetasi
2. Mengetahui Keragaman jenis vegetasi
3. Mengetahui Potensi vegetasi (Basal area dan volume)
4. Mengetahui Struktur vegetasi dan komposisi jenis
5. Membandingkan 2 komunitas vegetasi atau lebih
6. Mengetahui hubungan antara vegetasi dengan faktor-faktor lingkungannya;

5.2 Dasar Teori

Vegetasi merupakan kumpulan tumbuh-tumbuhan yang terdiri dari beberapa jenis yang hidup bersama-sama pada suatu tempat dan berinteraksi dengan sesama tumbuhan itu sendiri maupun dengan organisme lain dan lingkungannya, sehingga merupakan suatu sistem yang hidup dan tumbuh serta dinamis (Marsono dan Sastrosumarto, 1981). Keberadaan suatu vegetasi dipengaruhi oleh yang dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan yang meliputi faktor klimatik, edafik, flora dan fauna di mana vegetasi tersebut berada (Wijana, 2014).

Faktor klimatik yang mempengaruhi keberadaan vegetasi meliputi garis lintang, suhu, sinar matahari, kelembaban udara, curah hujan dan angin. Faktor klimatik membentuk formasi-formasi vegetasi tertentu yang berbeda berdasarkan pengaruh faktor-faktornya seperti vegetasi hutan hujan tropis, vegetasi hutan musim, vegetasi hutan hujan iklim sedang, hutan iklim dingin dan sebagainya. Faktor edafik yang mempengaruhi keberadaan vegetasi meliputi tipe fisik dan kimia tanah, batuan induk, pH tanah, air, salinitas dan topografi. Disamping itu flora dan fauna mempengaruhi keberadaan vegetasi dalam hubungannya dengan simbiose dan kompetisi interspesifik dan antar spesifik serta sistem penyebaran benih-benih tumbuhan.(Wijana, 2014).

Kawasan karst merupakan kawasan ekosistem khusus, yang lahannya didominasi oleh proses pelarutan batuan, sehingga terciptanya lorong-lorong pelarutan yang menghubungkan bagian permukaan dengan sistem sungai bawah tanah, yang menyebabkan kondisi kering di permukaan (eksokarst) dan sumber air yang melimpah di bawah permukaan (endokarst). Kekhasan ekosistem karst menyebabkan pula kekhasan jenis flora dan fauna yang terdapat di permukaan (eksokarst) maupun di bawah permukaan (endokarst). Dari keseluruhan jenis tumbuhan yang ada dalam kawasan karst, jenis endemik mencapai 21 % (Göltenboth et al 2012).

Ekosistem karst menurut Whitmore (1975), MacKinnon et al (1994) dan Göltenbothet al (2012) terdiri dari 2 yaitu :

1). Tipe kokpit atau labirin yang merupakan rangkaian perbukitan bergua berbentuk kerucut dengan kelerengan mencapai 30-40 derajad

2). Tipe menara yang merupakan bukit-bukit curam berkelerengan 60-90 derajad dengan ketinggian 50-100 m, yang terisolir,dan terdapat gua-gua pada dinding-dindingnya dan satu sama lain terpisah oleh lembah-lembah yang datar.

Keanekaragaman hayati kawasan Karst Sangkulirang-Berau terutama keragaman vegetasi maupun fauna pada saat sekarang perlu diteliti dengan seksama agar dapat dikenal nilai-nilai keragaman yang ada yang dapat bermanfaat sebagai pertimbangan perlunya konservasi kawasan karst tersebut di masa depan. Untuk mempelajari keanekargaman jenis vegetasi dibagian luar Karst (eksokarst), dapat dilakukan dengan metode analisis vegetasi. Analisis vegetasi tumbuhan merupakan suatu cara mempelajari komposisi jenis dan struktur vegetasi, untuk mengetahui sebaran spesies dan jenis-jenis dominan pada suatu tempat melalui survei lapangan langsung.

5.2.1. Kerapatan Individu

Kerapatan individu atau densitas menunjukkan keberadaan suatu jenis dalam komunitas vegetasi apakah jenis tersebut sangat melimpah, melimpah, banyak, agak banyak, sedikit atau jarang. Kerapatan individu dihitung dalam satuan luas (m^2, ha) (Soerianegara dan Indrawan, 1984; Indriyanto,2006; Wijana, 2014).

1. Kerapatan pohon

   Kerapatan pohon dihitung dengan menjumlah seluruh individu pohon yang terdapat dalam jalur inventarisasi atau seluruh subplot (100 subplot), yang karena luasnya 1 ha, maka kerapatan yang didapat adalah

kerapatan per ha.

2. Kerapatan pancang, semak

Kerapatan pancang dan semak dihitung sebagai berikut:

Luas seb uah subplot berukuran 5 m X 5 m adalah 25 m^2, sehingga luas 100 subplot adalah 100 X 25 m^2 adalah 2500 m^2. Kerapatan pancang per ha di dapat dengan mengalikan luas 100 plot (2500 m^2) dengan 4.

3. Kerapatan semai, terna dan perdu

Kerapatan vegetasi tingkat semai dihitung sebagai berikut :

Luas sebuah subplot untuk semai adalah 1 m X 1 m, sehingga luas 100 subplot dalam 100 m2. Kerapatan semai per ha adalah adalah jumlah semai yang didapat dalam seluruh plot semai (100 m^2) dikalikan dengan bilangan 100.

5.2.2. Sebaran Jenis (Frekuensi)

Sebaran jenis (frekuensi) menunjukkan pola sebaran suatu jenis dalam suatu komunitas vegetasi yang bisa mengelompok atau tersebar merata. Sebaran jenis (frekuensi) didapat dengan menghitung persen (%) kehadiran suatu jenis dalam seluruh plot. Bila individu banyak namun frekuensi kecil menunjukkan jenis tersebut tumbuh mengelompok, sedang bila diikuti dengan frewensi yang besar juga menunjukkan jenis tersebut tersebar merata.(Soerianegara dan Indrawan, 1984; Indriyanto,2006; Wijana, 2014).

5.2.3. Luas Bidang Dasar (Basal Area) Pohon per Ha (Dominansi)

Luas bidang dasar (basal area) pohon adalah luas penampang melintang pohon dalam suatu tegakan vegetasi. Luas bidang tegakan vegetasi dasar umumnya dihitung di dalam m^2 per ha, yang didapat dengan menjumlah seluruh luas bidang dasar pohon yang terdapat dalam plot contoh dan dikonversikan ke ha. (Soerianegara dan Indrawan, 1984; Indriyanto,2006; Wijana, 2014).

Luas bidang dasar pohon (LBDS) atau Basal Area (BA) di hitung berdasarkan rumus :

$$\text{LBDS (BA)} = \frac{1}{4} \times \pi \text{ diameter } (d)^2 \text{ atau} = \frac{1}{4} \times \pi\ (d/100)^2 \quad \text{.....} \quad (5.1)$$

5.2.4. Nilai Penting Jenis (NPJ)

Nilai Penting Jenis menunjukkan kedudukan suatu jenis dalam suatu komunitas vegetasi. Nilai ini merupakan jumlah nilai total dari kerapatan relatif (KR), frekuensi relatif (FR) dan dominansi relatif (DR) dengan rumus sebagai berikut (Curtis dan Cottam, 1964; Mueller-Dombois dan Ellenberg.,

1974):

NPJ = KR (%) + FR (%) + DR (%) ..... (5.2)

Dimana :

$$KR = \frac{\text{Jumlah kehadiran individu suatu jenis dalam plot}}{\text{Jumlah kehadiran individu seluruh jenis dalam plot}} X\ 100\ (\%) \quad .. (5.3)$$

$$FR = \frac{\text{Jumlah frekuensi kehadiran suatu jenis dalam plot}}{\text{Jumlah frekuensi kehadiran seluruh jenis dalam plot}} X\ 100\ (\%) \quad .... (5.4)$$

$$DR = \frac{\text{Jumlah luas bidang dasar suatu jenis dalam plot}}{\text{Jumlah bidang dasar seluruh jenis dalam plot}} X\ 100\ (\%) \quad .. (5.5)$$

5.2.5. Indeks Keragaman Vegetasi

Vegetasi bisa terdiri beragam jenis, atau hanya beberapa jenis atau seragam. Untuk mengukur keragaman suatu komunitas vegetasi digunakan rumus indeks keragaman. Rumus yang paling umum dipakai adalah Shannon-Wiener sebagai berikut (Krebs, 1985; Magurran 1988):

$$H' = -\sum_{I=1}^{s}(pi)(Inpi) \quad ..... (5.6)$$

Dimana:

H' = indeks keragaman Shannon -Wiener S =jumlah jenis

Pi = proporsi jumlah individu ke-i (ni/N)

ln = log natural/naperian= 2,178...

5.2.6. Eveness

Eveness atau kemerataan merupakan derajad kemerataan kemelimpahan individu antara jenis tumbuhan dalam suatu komunitas vegetasi (Lloyd & Ghelardi 1964). Nilai kemerataan bergerak dari 0 sampai dengan 1, dimana nilai 0 menunjukkan jenis seragam nilai 1 menunjukkan kemerataan sebaran individu jenis sama semua.

Rumus untuk mendapatkan nilai kemerataan sebaran jenis adalah:

$$E = \frac{H'}{Hmax} \text{ atau } E = \frac{H'}{logs} \quad ..... (5.7)$$

Dimana :

E (Eveness) = indeks kemerataan

H' = indeks keanekaragaman Shannon -Wiener

H'max = nilai keanekaragaman maksimum
H'max = logS
S = jumlah seluruh jenis dalam suatu komunitas yang diteliti

5.2.7. Indeks Dominasi

Indeks dominansi merupakan nilai parameter yang menyatakan keterpusatan dominansi suatu spesies dalam suatu komunitas. Nilai dominansi tinggi menunjukkan dominansi terpusat pada satu species, sedang dominansi rendah, dominansi terdapat pada beberapa atau banyak spesies. Rumus indeks dominansi adalah (Odum, 1993; Indriyanto, 2005)

$$ID = \sum (ni/N)^2 \quad (5.8)$$

Dimana :

ID = indeks dominansi
ni = jumlah individu jenis ke i
N = Jumlah individu seluruh spesies

5.2.8. Indeks Kesamaan

Guna mengetahui apakah komunitas- komunitas vegetasi dari masing-masing lokasi mempunyai kesamaan atau sampai sejauh mana perbedaan jenis-jenis vegetasi dalam komunitas tersebut perlu dilakukan uji kesamaan atau ketidaksamaan komunitas. Ada beberapa rumus kesamaan komunitas yang diajukan beberapa peneliti (Mueller-Dombois dan Ellenberg, 1974) yang meliputi indeks kesamaan Jaccard, Sorensen, Geleason, Ellenberg, Spatz, Motyka. Metode yang paling umum dan sederhana adalah Indeks kesamaan Jaccard dan Sorensen yang hanya mendasarkan ketidaksamaan pada jenis yang hadir/tidak hadir dalam dua komunitas, sedang indeks yang lain memasukkan nilai kuantitatif dari vegetasi berupa biomassa. Adapun indeks persamaan Jaccard dan Sorensen adalah sebagai berikut (Chao et al, 2006) :

$$IS_s = \frac{2c}{A+B} x\ 100 \quad (5.9)$$

Dimana:

A = Jumlah kehadiran jenis pada tipe vegetasi 1

B = Jumlah kehadiran jenis pada tipe vegetasi 2

c = jumlah jenis yang hadir pada tipe vegetasi 1 dan 2

Nilai IS_S bergerak dari 0 sampai dengan 100 %. Nilai 0 menunjukkan tidak ada satupun jenis dari kedua komunitas tersebut yang sama, yang berarti komunitas tersebut sangat berbeda

5.2.9. Pengecekan status konservasi

International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN), yang disebut juga dengan World Conservation Union (WCU) merupakan sebuah organisasi internasional yang didedikasikan untuk konservasi sumberdaya alam, yang didirikan tahun 1948. Badan ini berpusat di Gland, Swiss. IUCN beranggotakan 78 negara, 112 badan pemerintah, 735 organisasi non-pemerintah dan ribuan ahli dan ilmuwan dari 181 negara. Tujuan IUCN adalah untuk membantu komunitas di seluruh dunia dalam konservasi alam

Kategori Status konservasi IUCN Red List adalah kategori yang digunakan oleh IUCN dalam melakukan klasifikasi terhadap spesies-spesies berbagai makhluk hidup yang terancam kepunahan. Berdasarkan status konservasi ini, IUCN mengeluarkan IUCN Red List of Threatened Species yang disingkat IUCN Red List, yaitu daftar status kelangkaan suatu spesies. Daftar merah IUCN digagas pertama kali tahun 1964, untuk menetapkan standar daftar speies dan upaya penilaian konservasinya, dengan tujuan memberi informasi , analisis status, kecenderungan dan ancaman terhadap spesies serta mempercepat tindakan upaya konservasi keanekaragaman hayati. Kategori status konservasi dalam IUCN Red List pertama kali dikeluarkan pada tahun 1984 dengan kategori sebagai berikut (IUCN, 2015) :

1. *Extinct* (EX; Punah) adalah status konservasi yag diberikan kepada spesies yang terbukti, bahwa individu terakhir spesies tersebut sudah mati. Dalam IUCN
2. *Extinct in the Wild* (EW; Punah Di Alam Liar) adalah status konservasi yang diberikan kepada spesies yang hanya diketahui berada di tempat penangkaran atau di luar habitat alami mereka. Dalam IUCN Redlist tercatat 38 hewan dan 28 tumbuhan yang berstatus *Extinct in the Wild.*
3. *Critically Endangered* (CR; Kritis) adalah status konservasi yang diberikan kepada spesies yang menghadapi risiko kepunahan di waktu dekat..
4. *Endangered* (EN; Genting atau Terancam) adalah status konservasi yang diberikan kepada spesies yang sedang menghadapi risiko kepunahan di alam liar yang tinggi pada waktu yang akan datang.
5. *Vulnerable* (VU; Rentan) adalah status konservasi yang diberikan kepada

spesies yang sedang menghadapi risiko kepunahan di alam liar pada waktu yang akan datang.

6. *Near Threatened* (NT; Hampir Terancam) adalah status konservasi yang diberikan kepada spesies yang mungkin berada dalam keadaan terancam atau mendekati terancam kepunahan, meski tidak masuk ke dalam status terancam.
7. *Least Concern* (LC; Berisiko Rendah) adalah kategori IUCN yang diberikan untuk spesies yang telah dievaluasi namun tidak masuk ke dalam kategori manapun.
8. *Data Deficient* (DD; Informasi Kurang), Sebuah takson dinyatakan informasi kurang ketika informasi yang ada kurang memadai untuk membuat perkiraan akan risiko kepunahannya berdasarkan distribusi dan status populasi.
9. *Not Evaluated* (NE; Belum dievaluasi); Sebuah takson dinyatakan "belum dievaluasi" ketika tidak dievaluasi untuk kriteria-kriteria di atas.

5.2.10. Pengecekan status jenis flora dalam regulasi perdagangan berdasarkan CITES

CITES *(Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora)* atau konvensi perdagangan internasional tumbuhan dan satwa liar spesies terancam adalah perjanjian internasional antarnegara yang disusun berdasarkan resolusi sidang anggota IUCN tahun 1963. Konvensi tersebut bertujuan melindungi tumbuhan dan satwa liar terhadap perdagangan internasional spesimen tumbuhan dan satwa liar yang mengakibatkan kelestarian spesies tersebut terancam. CITES merupakan kerjasama antar negara anggota untuk menjamin perdagangan tumbuhan dan satwa liar dilaksanakan sejalan dengan perjanjian CITES, dimana ekspor, impor, reekspor dan introduksi spesies yang terdaftar dalam apendiks CITES harus mendapat izin otoritas pengelola dan rekomendasi otoritas keilmuan CITES di negara tersebut.

Spesies yang diusulkan masuk dalam apendiks CITES dibahas dalam Konferensi Para Pihak. Para pihak bisa mengusulkan suatu spesies walaupun habitat spesies tersebut tidak berada dalam wilayah negara pengusul. Usulan bisa disetujui masuk dalam apendiks CITES asalkan didukung suara mayoritas 2/3 dari para pihak, walaupun ada para pihak yang berkeberatan. Apendiks CITES berisi sekitar 5.000 spesies satwa dan 28.000 spesies tumbuhan yang dilindungi dari eksploitasi berlebihan melalui perdagangan internasional. Spesies terancam dikelompokkan ke dalam apendiks CITES

berdasarkan tingkat ancaman dari perdagangan internasional, dan tindakan yang perlu diambil terhadap perdagangan tersebut.

CITES terdiri dari tiga apendik yaitu :

1. **Apendiks I:** daftar seluruh spesies tumbuhan dan satwa liar yang dilarang dalam segala bentuk perdagangan internasional
2. **Apendiks II:** daftar spesies yang tidak terancam kepunahan, tapi mungkin terancam punah bila perdagangan terus berlanjut tanpa adanya pengaturan
3. **Apendiks III:** daftar spesies tumbuhan dan satwa liar yang dilindungi di negara tertentu dalam batas-batas kawasan habitatnya, dan suatu saat peringkatnya bisa dinaikkan ke dalam Apendiks II atau Apendiks I.

5.2.11. Pengecekan terhadap jenis-jenis yang dilindungi berdasarkan PP 7 tahun 1999 tentang pengawetan jenis tumbuhan dan satwa

Pengawetan menurut pengertian dalam PP 7 tahun 1999 adalah adalah upaya untuk menjaga agar keanekaragaman jenis tumbuhan dan satwa beserta ekosistemnya baik di dalam maupun di luar habitatnya tidak punah, dengan tujuan untuk menghindarkan jenis tumbuhan dan satwa dari bahaya kepunahan, menjaga kemurnian genetik dan keanekaragaman jenis tumbuhan dan satwa, memelihara keseimbangan dan kemantapan ekosistem yang ada agar dapat dimanfaatkan bagi kesejahteraan manusia secara berkelanjutan. Terdapat 5 kelompok tumbuhan yang terdaftar dalam PP 7 tahun 1999 wajib dilakukan pengawetan, yang meliputi kelompok palem (palmae) sebanyak 14 jenis, Raffleciacia (bunga bangkai) 1 jenis, anggrek (Orchidaceae) sebanyak 29 jenis, kantung semar (Nephentes) semua jenis dan tengkawang 13 jenis.

5.3 Metode Pengukuran

5.3.1 Pengukuran Survei Keanekaragaman Hayati

Alat dan bahan yang digunakan dalam survei keanekaragaman hayati tumbuhan pada kawasan eksokarst adalah :

1. Tally sheet untuk data analisis vegetasi tingkat pohon
2. Tally sheet untuk vegetasi tingkat pancang
3. Tally sheet untuk vegetasi tingkat semai
4. Phi-band atau pita ukur penjahit untuk mengukur diameter atau keliling pohon
5. Kompas untuk menentukan arah jalur
6. Klinometer untuk mengukur kelerengan dan tinggi pohon
7. GPS untuk menentukan lokasi penelitian

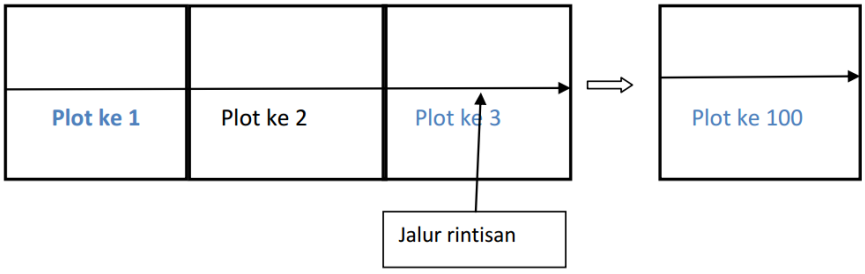
8. Kamera untuk memotret organ tumbuhan
9. Meteran (50 m atau 100 m) untuk mengukur panjang jalur dan plot
10. Teropong untuk melihat bagian tumbuhan yang tinggi
11. Peralatan dan bahan untuk mengumpul herbarium untuk tumbuhan yang belum diketahui jenisnya:
    a. Gunting stek untuk memotong specimen herbarium
    b. Karung plastik ukuran 50 kg untuk untuk tempat specimen
    c. Kantong plastik besar,sedang dan kecil untuk menyimpan specimen
    d. Alkohol atau spiritus untuk bahan pengawet specimen
    e. Kertas koran pembungkus specimen
    f. Kertas karton tebal untuk mengepres specimen
    g. Etiket gantung
    h. Buku catatan lapangan/ paspor tumbuhan
    i. Staples
    j. Cutter
    k. Pensil 2B untuk menulis etiket gantung
    l. Spidol waterproof
    m. Tali raffia untuk mengikat/ mengepak specimen

Pelaksanaan survei lapangan dilakukan dengan cara sebagai berikut:

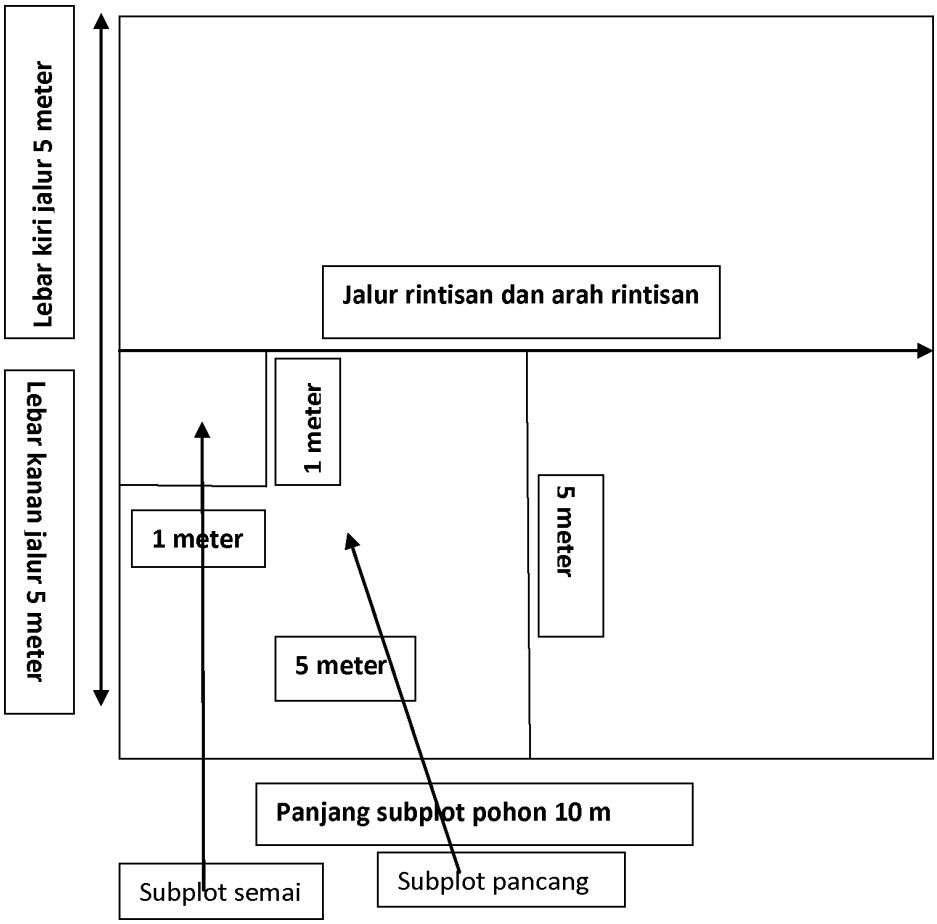
1. Membuat plot secara sistematik sepanjang 1 km dengan lebar plot 10 m (luas 1 ha) dilakukan pada lembah, lereng dan punggung bukit karst (3 jalur). Arah jalur mengikuti arah lembah, lereng dan punggung bukit.
2. Plot tersebut dapat dibagi menjadi 2 dengan panjang masing-masing 500 m (2 jalur untuk masing-masing kondisi topografi).
3. Sumbu plot melalui tengah-tengah plot
4. Membagi plot menjadi subplot/ kwadrat 10 m X 10 m, sehingga terdapat 100 subplot tiap kondisi lahan (Gambar 5.1)
5. Membuat 1 subplot/kwadrat berukuran 5 m X 5 m dan 1 m X 1 m dalam setiap plot berukuran 10 m X 10 m (Gambar 5.2).
6. Mengklasifikasi vegetasi menjadi 3 tingkatan pertumbuhan:
    a. Pohon : adalah tumbuhan yang berdiameter setinggi dada (dbh) 10 cm atau lebih, termasuk palem dan liana diinventarisir dalam subplot berukuran 10 m X 10 m dan dicatat posisi pohon dalam kordinat X dan Y (Gambar 5.3)
    b. Pancang dan semak : tumbuhan yang berdiameter di bawah 10 cm dan ketinggian di atas 2 meter, termasuk palem dan liana diinventarisir dalam sublot berukuran 5 X 5 m

c. Semai, terna, perdu dan tumbuhan bawah lainnya : tumbuhan yang ketinggiannya di bawah 2 m, termasuk palem dan liana diukur dalam plot berukuran 1 X 1 m
d. Palem, rotan, terna , bambu dan perdu berumpun di hitung sebagai 1 rumpun

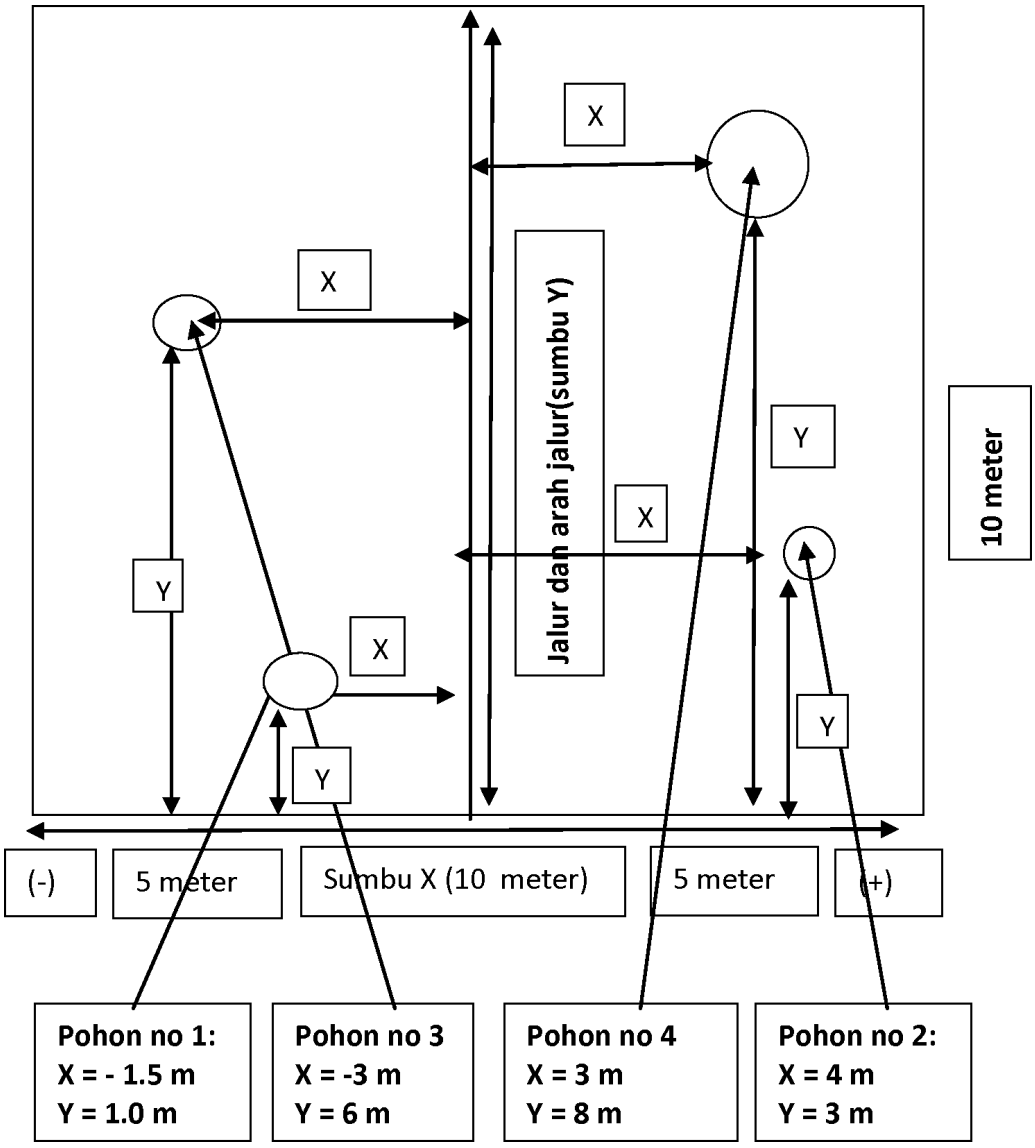
7. Menginvetarisasi setiap jenis vegetasi yang ada pada jarak paling jauh 5 m pada sisi kiri- kanan sumbu plot dan di dalam plot berukuran 5 mX 5 m dan 1 m X 1 m
8. Item (parameter) yangdiukur/ dicatat adalah dari setiap subplot:
   Untuk pohon parameter yang diukur adalah (Tabel 1).
   a. Nama jenis
   b. Jumlah individu tumbuhan
   c. Diameter setinggi dada (dbh) atau keliling batang setinggi dadah untuk tumbuhan tingkat pohon dengan memakai phiband atau meteran jahit.
   d. Tinggi pohon bebas cabang dan tinggi total (pertama diukur kemudian diprediksi)
9. Untuk tingkat pancang dan semai cukup dihitung jumlah individu
10. Untuk jenis yang belum diketahui dilakukan pengambilan herbarium dengan mencatat beberapa ciri lapangan tumbuhan (dicatat dalam buku catatan lapangan/ paspor tumbuhan) dengan disertai foto-foto bagian tumbuhan yang penting.
11. Kondisi umum lapangan penelitian seperti kondisi tanah, topografi, kondisi vegetasi, tutupan lahan, dideskripsi secara umum di lapangan.



Gambar 5.1. Subplot dengan ukuran 10 m X 10 m sepanjang jalur rintisan.



Gambar 5. 2. Subplot untuk pohon (10 m x10 m), pancang (5 x 5 m) dan semai / tumbuhan (1 m x 1m) berbentuk bujur sangkar (kwadrat).



Gambar 5.3. Posisi pohon di dalam subplot berukuran 10 m X 10 m

5.3.2 Pedoman Koleksi Sampel Tumbuhan Untuk Herbarium

Alat dan bahan yang digunakan dalam survei keanekaragaman hayati tumbuhan pada kawasan eksokarst adalah (Ristoja, 2012)

1. Etiket gantung (kertas dan tali) digunakan untuk penomoran sampel dan kertas merang untuk membungkus sampel selama di lokasi.
2. Kantong plastik ukuran 40x60 cm digunakan untuk menyimpan sampel dan kantong plastik ukuran 80x120 cm digunakan untuk menyimpan kumpulan sampel yang ada di dalam plastik ukuran 40x60 cm.
3. Plastik z*iplock* ukuran 2 kg dan 10x20 cm digunakan untuk menyimpan buah dan biji.
4. Sarung tangan digunakan saat pengambilan sampel terutama untuk sampel yang dikhawatirkan menimbulkan cidera di permukaan kulit (gatal-gatal, rasa terbakar atau bentuk alergi lain).
5. Lakban cokelat digunakan untuk menutup (*seal*) plastik yang berisi sampel dan kumpulan sampel di dalam kantong plastik berukuran 40x60 cm dan 80x120 cm.
6. Gunting tumbuhan dan *cutter set* digunakan untuk memotong bagian sampel dari tumbuhan.
7. Buku catatan lapangan/paspor tumbuhan digunakan untuk menulis semua informasi sampeltumbuhan yang diambil.
8. Pensil 2B digunakan untuk mencatat di etiket gantung dan buku catatan lapangan.
9. Spidol permanen untuk menulis data sampel di kantong plastik.
10. GPS untuk mencatat koordinat lokasi pengambilan sampel.
11. Spiritus/alkohol untuk pengawet sampel saat di lokasi pengambilan sampel.
12. C*utting branch*, golok, cetok/alat untuk menggali bagian sampel yang susah dijangkau
13. Tali raffia untuk pengikat dalam pengepakan sampel dari lapangan

Pelaksanaan survei lapangan dilakukan dengan cara sebagai berikut (Ristoja,2012):

1. Ambil sampel yang representatif:
   a. Ukuran : ukuran 30 x40 cm, jika terlalu besar maka dibuat secara berseri (ujung, tengah, pangkal) dan diberi nomer koleksi yang sama.
   b. Bagian : seluruh bagian tumbuhan lengkap
   c. Jumlah : 3 sampel per jenis tumbuhan (untuk koleksi di Laboratorium Dendrologi dan Ekologi Fakultas KehutananUniversitas Mulawarman dan Fakultas Geografi Universitas Gajah Mada)
2. Sampel dari tumbuhan berukuran besar:
   a. Batang, cabang atau ranting: dipotong seukuran 20-30 cm diutamakan yang terdapat bunga dan atau buah.
   b. Tumbuhan dengan variasi daun (ukuran, tipe dan warna) diambil cabang atau ranting yang memiliki variasi daun tersebut.
   c. Kulit batang: kelupas dengan ukuran 5x10 cm
   d. Catat tempat munculnya ranting, warna dan tekstur kulit batang pada batang tua dan muda.
   e. Catat karakter lain: ada tidaknya getah, warna getah, tekstur getah, bau, rasa.
3. Herba (terna) atau semak:
   a. Sampel berukuran besar dipotong menjadi beberapa bagian yaitu batang/ cabang yang terdapat bunga dan daun bagian atas tetap pada posisi sebenarnya (potongan batang dengan daun bagian tengah/ potongan dengan bagian dalam tanah).
   b. Setiap bagian diberi label dan catat tinggi tumbuhan sebenarnya.
   c. Jika sampel berukuran kecil maka seluruh bagian tumbuhan diambil sebagai sampel.
   d. Akar atau bagian lainnya (umbi, rimpang): dibersihkan dari tanah yang menutupinya. Jika kedua organ tersebut terlalu besar maka diiris menjadi beberapa bagian.
4. Koleksi Tumbuhan Paku dan Rumput-rumputan
   a. Koleksi seluruh bagian/organ tumbuhan termasuk bagian yang ada di dalam tanah (akar, rimpang, umbi). Jika ukuran tumbuhan kecil, sebaiknya dikoleksi dalam jumlah 5-10 individu (selama berasal dari satu populasi yang sama, contoh anggrek tanah). Koleksi tersebut diberikan nomor koleksi yang sama atau dapat ditempel

pada kertas herbarium yang sama atau ditempel pada kertas herbarium yang berbeda tetapi diberi nomor koleksi yang sama.

b. Jangan mencampur sampel dari jenis tumbuhan berbeda, tempat tumbuh berbeda, dikumpulkan pada hari berbeda
c. Setiap pengambilan sampel harus disertakan etiket gantung yang telah diisi dengan format yang telah ditentukan. Penulisan etiket gantung menggunakan pensil 2B.
d. Sampel yang telah diberi etiket gantung dibungkus kertas koran dan diatur sedemikian rupa. Sampel dimasukkan ke dalam kantong plastik ukuran 40x60 cm, kemudian sampel dibasahi/disemprot spiritus secukupnya (cek kelembaban setiap hari). Ujung plastik dilipat dan direkatkan menggunakan lakban cokelat.8. Sebanyak 5-10 sampel dalam kantong plastik ukuran 40x60 cm disimpan dalam satu kantong plastik ukuran 80x120 cm kemudian diikat di bagian ujung.

5. Penomoran Lokasi

Pemberian nomor koleksi specimen tumbuhan saat melaksanakan koleksi di lapangan sangat berguna untuk mencocokkan herbarium dengan informasi yang terdapat dalam catatan lapangan serta memudahkan manajemen data. Nomor yang sama diberikan pada bagian-bagian yang dikoleksi dari tumbuhan yang sama dan hari yang sama. Teknis penomoran koleksi adalah sebagai berikut:

a. Catat tanggal koleksi Contoh : 15.12.2015 atau 15/12/2015
b. Catat nomor koleksi, nomor koleksi harus berurutan 01, 02, 03 dst...
c. Catat nama atau Inisial nama kolektor (pengumpul data) Contoh : Paulus Matius diberi inisial PM
d. Lokasi koleksi : misal Karst Gunung Berium Sankulirang Catat nama lokal tumbuhan (kalau ada)

Catatan lapangan digunakan untuk mencatat semua ciri-ciri morphologi tumbuhan yang tidak akan terlihat pada koleksi dan habitat/tempat tumbuh jenis yang dikoleksi. Catatan lapangan dibuat saat koleksi sampel tumbuhan di lapangan. Teknik pencatatan lapangan adalah sebagai berikut:

a. Gunakan **pensil 2B** untuk mencatat informasi spesimen agar tulisan tidak akan rusak terkena air atau kelembaban.

b. Tulis nomor koleksi, nama kolektor atau inisial nama kolektor, tanggal koleksi dan nama lokal specimen (bila ada), dan lokasi koleksi seperti yang tertera pada etiket gantung speciment tersebut.
c. Catat habitus tumbuhan yang dikoleksi : pohon, semak, terna/herba, palem/rotan, liana, paku, bambu.
d. Catat ciri-ciri morpologi specimen : akar, batang , kulit batang, warna kulit batang, getah, percabangan, Daun, Bunga, Buah dan Biji
e. Habitat (tempat tumbuh) tumbuhan yang dikoleksi : lereng, lembah, puncak gunung, tanah pasir, liat, batu-baatuan padas, tumbuh pada tanah, tumbuh menempel pada batang, cabang, menempel pada batu dsb.

5.3.3 Pedoman Dokumentasi SpecimenTanaman

Tidak semua bagian tumbuhan dapat dikoleksi dikarenakan tumbuhan perawakan tumbuhan yang besar, ataupun karena warna ataupun penampakan organ segar tidak bisa dilihat pada specimen kering atau basah. Oleh karenanya tumbuhan bagian-bagian tumbuhan tersebut harus didokumentasikan melalui pemotretan. Pengambilan dokumentasi tersebut tidak boleh dilakukan secara sembarangan karena hasilnya harus dipertanggungjawabkan untuk kepentingan identifikasi dan dokumentasi. Beberapa hal yang harus diperhatikan untuk pengambilan foto tumbuhan antara lain yaitu (Ristoja, 2012) :

1. Gunakan kamera digital dengan resolusi minimal 8 Megapiksel (MP).
2. *Focusing*: penajaman imaji suatu obyek tumbuhan (perawakan utuh dan bagian-bagian tumbuhan), usahakan obyek yang difoto harus fokus, tidak kabur/*blur*.
3. Gunakan mode makro (*macro mode*) untuk memotret bagian tumbuhan pada jarak sangat dekat sehingga akan memperlihatkan bentuk dan struktur bagian tumbuhan tersebut
4. Tulis nomor koleksi, tanggal koleksi dan nomor jalur dan plot di papan akrilik (cara penulisan menyesuaikan etiket gantung) di samping bawah kiri obyek yang akan difoto.
5. Dokumentasikan selengkap mungkin bagian-bagian tumbuhan. Dokumentasi tersebut tergantung pada jenis atau perawakan tumbuhan sebagai obyek.

Bagian-bagian tumbuhan yang perlu didokumentasikan antara lain yaitu:

1. Tumbuhan Berbiji Tertutup Berkayu (Ristoja, 2012)

Bagian yang didokumentasikan, yaitu:

a. Perawakan
b. Cabang dan kulit batang difoto secara vertikal (tegak)
c. Daun: permukaan atas dan bawah helai daun, pangkal, ujung dan tepi daun serta tata letak daun
d. Bunga: Susunan karangan bunga penampakan samping, atas, bawah dan bagian dalam untuk menunjukan jumlah dan bagian-bagian perhiasan bunga.
e. Buah: tata letak buah, buah tampak samping, bagian dalam buah dan biji

2. Herba

Bagian yang didokumentasikan, yaitu:

a. Perawakan: jika menemukan lebih dari satu individu difoto seluruh bagian tumbuhan saat belum berbunga, saat berbunga dan saat berbuah
b. Batang difoto vertikal (tegak) untuk menunjukkan tata letak daun, orientasi pangkal daun dan tangkai daun
c. Daun
   1) Daun yang terletak di bagian dasar atau batang bawah, dengan ujung daun, menghadap bagian bawah
   2) Daun yang terletak di bagian dasar atau batang bawah, dengan ujung daun menghadap bagian bawah
   3) Daun yang terletak di atas, dengan ujung daun menghadap bagian atas
   4) Permukaan bawah dan atas daun yang menunjukkan bagian pangkal, tepi, ujung dan pertulangan daun
d. Bunga
   1) Susunan karangan bunga
   2) Bunga tampak samping, atas, bawah dan bagian dalam untuk menunjukkan perhiasan bunga.
e. Buah
   1) Tata letak buah,
   2) Buah tampak samping, bagian dalam buah
   3) Biji

3. Tumbuhan Biji Terbuka

Bagian yang didokumentasikan yaitu:

a. Perawakan
b. Cabang atau kulit batang yang difoto secara vertikal (tegak)

c. Ranting yang menunjukkan posisi daun dan bekas perlekatan daun yang difoto secara horizontal (mendatar)
d. Daun
   1) Seluruh daun, ujung terletak di bawah
   2) Fasikulus (berkas), menunjukkan jumlah daun dalam satu berkas
   3) Tata letak daun
e. Konus
   1) Konus jantan
   2) Konus betina terbuka
   3) Konus betina tertutup
   4) Biji

4. Tumbuhan Paku dan Tumbuhan Tidak Berbiji

Bagian yang didokumentasikan yaitu:

a. Perawakan
   1) Seluruh bagian tumbuhan saat fase vegetatif
   2) Seluruh bagian tumbuhan saat fase generatif (menunjukkan struktur reproduksi)
b. Daun:
   1) Seluruh permukaan atas daun
   2) Seluruh permukaan bawah daun dengan tampak kumpulan sorus
   3) Tepi permukaan atas daun
   4) Tepi permukaan bawah daun juga difoto jika merupakan daun majemuk
   5) Batang atau pangkal daun

5.3.4 Pedoman Pembuatan Herbarium Kering

Teknik pengawetan sampel tumbuhan secara umum dapat dibagi menjadi dua yaitu pengawetan kering dan pengawetan basah (Ristoja , 2012). Pengawetan kering dilakukan untuk pembuatan herbarium kering yaitu pengawetan dengan cara mengepres sampel tumbuhan kemudian dikeringkan. Pengawetan basah ditujukan untuk pembuatan herbarium basah yaitu jenis pengawetan dengan cara menggunakan bahan kimia tertentu (biasanya formalin atau alkohol) untuk mengawetkan sampel tumbuhan. Alat dan bahan yang digunakan dalam pembuatan herbarium kering adalah

1. Sasak/alat pengepres digunakan untuk mengepres sampel tumbuhan dan sabuk sasak digunakan mengikat tumpukan sampel di antara 2 sasak.

2. Kertas karton tebal digunakan untuk melindungi sampel sedemikian rupa sehingga letak sampel tidak berubah dan tetap rata
3. Kertas koran digunakan untuk pembatas antar sampel dengan sampel lainnya
4. Oven digunakan untuk proses pengeringan sampel
5. Pinset digunakan untuk mengatur letak sampel pada kertas herbarium
6. Kertas herbarium bebas asam digunakan untuk menempel sampel tumbuhan
7. Selotip bebas asam digunakan untuk membantu merekatkan bagian ranting, cabang atau batang sampel pada kertas herbarium
8. Lem bebas asam digunakan untuk merekatkan label herbarium pada kertas herbarium
9. Label herbarium bebas asam digunakan untuk menuliskan identitas sampel sesuai dengan catatan lapangan
10. Amplop bebas asam digunakan untuk menyimpan bagian sampel yang mudah gugur dan sulit untuk ditempel, contoh: bunga dan biji
11. Species folder digunakan untuk menyimpan herbarium kering
12. Genus folder digunakan untuk menyimpan herbarium kering yang telah disimpan di species folder dengan genus yang sama.

Dalam pembuatan herbarium kering hal terpenting adalah mengeringkan sampel koleksi secepat mungkin untuk mencegah kerontokan daun, infeksi jamur dan mempertahankan warna asli. Tujuan pengepresan yaitu untuk mengepres sampel dalam ukuran dan struktur yang memperlihatkan karakter utama dan memudahkan penyimpanan di lemari herbarium. Tahap-tahap pembuatan herbarium kering adalah sebagai berikut:

1. Sampel tumbuhan termasuk etiket gantung yang menyertai dikeluarkan dari kantong plastik dan diletakkan di dalam kertas koran.
2. Posisi sampel diatur sedemikian rupa yang merepresentasikan keseluruhan bagian tumbuhan pada kondisi aslinya yang menunjukkan morfologi semua bagian sampel untuk memaksimalkan informasi tumbuhan tersebut. Teknik pengaturan posisi sampel tergantung bentukmorfologi tumbuhan dapat dibedakan sebagai berikut (Ristoja, 2012):
    a. Herba berukuran kecil ditata dan dipres seluruh bagian tumbuhan pada kertas koran yang sama.
    b. Herba berperawakan tinggi sebaiknya ditekuk membentuk huruf V terbalik, N atau M agar nantinya seluruh bagian termuat dalam satu

kertas herbarium. Jika ukuran masih terlalu besar maka sampel dipotong menjadi dua bagian atau lebih dan diletakkan pada kertas yang berbeda tetapi diberi nomor koleksi yang sama.

c. Rimpang atau umbi yang berukuran besar diiris melintang di bagian tengah dan diiris membujur di bagian tepi, ketebalan irisan 3-5 mm. Saat ditempelkan pada kertas herbarium, salah satu sisi potongan diletakkan membelakangi sedang sisi lain menghadap ke depan untuk menunjukkan struktur bagian dalam.
d. Bunga dan bagian bunga disusun hati-hati, bedah bagian bunga yang besar untuk menunjukkan organ internal.
e. Buah yang besar sebaiknya dibelah untuk menunjukkan lapisan dinding/ kulit bagian dalam untuk mempermudah pengeringan.

3. Penyusunan sampel saat dipres juga harus memperhatikan jenis sampel yang dikoleksi.Tumbuhan dengan organ tebal, kaku atau jenis tumbuhan sukulen sebaiknya disusun di bagian luar/tepi dekat dengan sasak/alat pres pada posisi tegak agar terkena panas lebih banyak dan mempercepat proses pengeringan.
4. Setiap 3-5 tumpukan merang dibatasi oleh kertas karton, kemudian sejumlah maksimal10 tumpukan karton tersebut (30-50 sampel) diatur sedemikian rupa dijepit sasak/alat pres kemudian diikat dan dikencangkan dengan sabuk sasak/alat pres (jika perlu tumpukan sampel ditekan dengan telapak kaki saat mengencangkan sabuk).
5. Sampel tumbuhan yang telah dipres kemudian dikeringkan. Pengeringan dapat dilakukan dengan menggunakan oven pada suhu 50 °C. Proses pengeringan berkisar 2-3 hari tergantung pada jenis tumbuhan, kelembaban dan temperatur tempat yang digunakan.
6. Spesimen yang telah dikeringkan kemudian dipindahkan secara hati-hati ke kertas herbarium. Susun secara hati-hati pada kertas herbarium. Penyusunan spesimen yang ideal menampilkan unsur kebenaran, informasi botani memadai, proporsional, kerapian, dan keindahan. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam penyusunan spesimen antara lain (Ristoja, 2012):
   a. Sisakan ±1 cm di tiap tepi kertas herbarium untuk memudahkan pengambilan atau pemindahan herbarium.
   b. Spesimen tunggal ditata posisinya tepat di tengah kertas herbarium dan biasanya diletakkan vertikal atau diagonal di sepanjang kertas.

c. Arah atau orientasi tumbuhan harus merepresentasikan kondisi alaminya, sebagai contoh bunga di atas dan akar di bawah.
d. Susun organ spesimen sedemikian rupa sehingga memperlihatkan semua bagian, contoh: organ daun harus diperlihatkan bagian atas dan bawah, bagian dalam bunga dan buah.

7. Tempel spesimen menggunakan selotip bebas asam dengan memperhatikan hal-hal sebagai berikut:
   a. Selotip diletakkan ke posisi tengah pada setiap organ yang ditempel, misalnya ranting atau tangkai daun serta panjang setiap sisi selotip sebaiknya sama. b. Selotip diletakkan tegak lurus cabang, batang maupun pertulangan daun
   b. Hindari menempel selotip pada bagian penting yang mencirikan specimen tumbuhan tersebut misalnya daun penumpu, bunga dan ligula.
   c. Pemakaian selotip yang banyak jumlahnya diperlukan untuk menempel bagian yang keras dan berat, misalnya buah atau pada bagian yang dekat dengan tepi kertas.
   d. Hindari penggunaan selotip yang terlalu banyak untuk satu cabang atau batang.
   e. Apabila spesimen berukuran besar dan tebal, maka cara penempelan pada kertas herbarium dengan cara dijahit dengan benang *good year* dan jarum goni.
8. Bagian tumbuhan yang mudah lepas/rontok dari bagian lainnya misalnya bunga dan biji maka bagian tersebut disimpan di dalam amplop kertas bebas asam kemudian ditempelkan di kanan atas pada kertas herbarium. Penempelan amplop menggunakan sesedikit mungkin lem bebas asam pada bagian tengah amplop.
9. Tempel label herbarium di bagian kanan bawah kertas herbarium menggunakan lem bebas asam hanya di bagian tepi kanan label herbarium. Hal tersebut dilakukan agar label herbarium mudah dilepas apabila ada penggantian informasi tanpa memindah maupun merusak spesimen. Tulis data dari etiket gantung dan catatan lapangan ke label herbarium. Label herbarium berisi antara lain (Ristoja, 2012):
   a. Nama (Instansi) herbarium
   b. Nama suku (family)
   c. Nama jenis lengkap dengan author (yang mempublikasikan).
   d. Tempat pengambilan sampel meliputi nama daerah dengan propinsi
   e. Data posisi garis lintang *(latitude)* dan garis bujur *(longitude)*

f. Ketinggian tempat (altitude)
g. Data tempat tumbuh (habitat)
h. Nama kolektor (orang yang mengambil sampel, sesuai di etiket gantung)
i. Nomor koleksi dan tanggal pengambilan sampel
j. Nama lokal (*local name*)
k. Perawakan (*habit*)
l. Ciri dan sifat morfologi (description atau notes) dan kegunaan (bila diketahui)
m. Nama lengkap pendeterminasi dan tanggal determinasi

Daftar Pustaka

Alamendah, 2011. Daftar Tumbuhan Endemik Indonesia. http://alamendah.org/2011/08/25/daftar-tumbuhan-endemik-indonesia/ diakses 13 Oktober 2015

Anonim, 1999. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia no 7 tahun 1999 tentang Pengawetan Jenis Tumbuhan dan Satwa .

Beruang Madu, Endemic flora and fauna of Borneo. www.beruangmadu.org/education/endemic-flora-and-fauna-of-borneo/? Diakses tanggal 15 Oktober 2015

Chao, A.. Chazdon R. L., Colwell. R.K., Shen, T.J. 2006. Abundance-based Similarity Indices and Their Estimation When There are Unseen Specie Samples. Biometrics 62, pp 361-371.

CITES, 2015. The CITES Appendices. https://www.cites.org/eng/app/appendices.php. diakses 6 Oktober 2015.

Curtis J.T. and Cottam, 1964. *Plant Ecology Work Book Laboratory. Field and Reference Manual*. Mineapolis: Burgers Publishing Company,

Göltenboth, F., Timotius, K.H., Milan, P.P., Margraf, J. Ekologi Asia Tenggara, Kepulauan Indonesia. Universitas Kristen Satya Wacana, Universitat Hohenheim, NatureLife-International, Visayas State University. Elsevier.. Penerbit Salemba Teknika.

Hairanwali, Aneka Species Tanaman Endemik Indonesia https://hairanwali.wordpress.com/spesies-tanaman-endemik-ndonesia/ diakses 26.oktober 2015

Indriyanto, 2005. Ekologi Hutan. Penerbit Bumi Aksara, Jakarta.

IUCN, 2015. The IUCN RED LIST OF THREATENED SPECIES. http://www.iucnredlist.org/search. diakses 5 Oktober 2015.

Krebs, J. Ch. 1985. Ecology. The Experimental Analysis of Distribution and Abundance. Third Editions. Harper and Row Publishing.

Lloyd, M., and R. J. Ghelardi. 1964. A table for calcu-lating the "equitability" component of species diver-sity. J. Anim. Ecol. 33: 217-225.

MacKinnon, K., Hatta, G., Halim, H., Mangalik, A. 1996. The Ecology of Kalimantan. Indonesian Borneo. The Ecology of Indonesia Series volume III. Periplus Editions.

Magurran. A. E. 1988. Ecological diversity and Its measurements. Univeristy Press, Cambridge.

Marsono, Dj. dan Sastrosumarto, 1981. Pengaturan Struktur, Komposisi dan Kerapatan Tegakan Hutan Alam dalam Rangka Peningkatan Nilai Hutan Bekas Tebangan HPH. Makalah Lokakarya Sistem Silvikultur TPI di Bogor. Bogor.

Mueller-Dombois. Dieter and Ellenberg. Heinz, 1974. Aims and Methods of Vegetation Ecology. John Wiley and Sons, New York, London, Sydney, Tokyo.

Odum, E.P. 1993. Dasar-Dasar Ekologi. Edisi ketiga (diterjemahkan Tjahjono Samingan). Gajah Mada University Press, Jogjakarta.

Ristoja, 2012. Panduan Herbarium, Dokumentasi dan Deskripsi Tumbuhan. Eksplorasi Pengetahuan Lokal Etnomedisin danTumbuhan Obat di Indonesia Berbasis Komunitas (RISTOJA). KEMENTERIAN KESEHATAN RI. BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN KESEHATAN2012.

Surianegara I dan Indrawan, 1984. Ekologi Hutan Indonesia. Jurusan Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor.

Whitmore, T.C. 1975. Tropical Rain Forests of The Far East. Clarendon Press Oxford.

Wijana, Nyoman. 2014. Metode Analisis Vegetasi. Penerbit Plantaxia, Yogyakarta.

Wikiwand, Daftar nama tumbuhan Endemik Indonesia. http://www.wikiwand.com/id/Daftar nama tumbuhan endemik Indonesia

BAB VI

Identifikasi Morfologi Lorong Gua di Kawasan Karst

Eko Haryono dan Muhammad Ainul Labib

6.1 Maksud dan Tujuan Instruksional

Gua merupakan suatu rongga alami pada batuan yang dapat dimasuki oleh manusia, serta sebagai saluran bagi air yang mengalir di dalamnya dengan diameter saluran lebih besar dari 5-15 mm, kisaran nilai minimum tersebut dapat terjadinya aliran turbulen yang dapat terjadinya pelarutan batuan dan transpor sedimen (Gilleson, 1996, Klimchouk, 2003, Ford dan Williams, 2007). Adanya proses pengendapan, pelarutan, dan runtuhan akan membentuk morfologi dan interior lorong gua, yang merekam kondisi lorong gua pada masa lampau.

Maksud pedoman survei gua ini memberikan informasi mengenai morfologi lorong dan interior gua. dengan tujuan

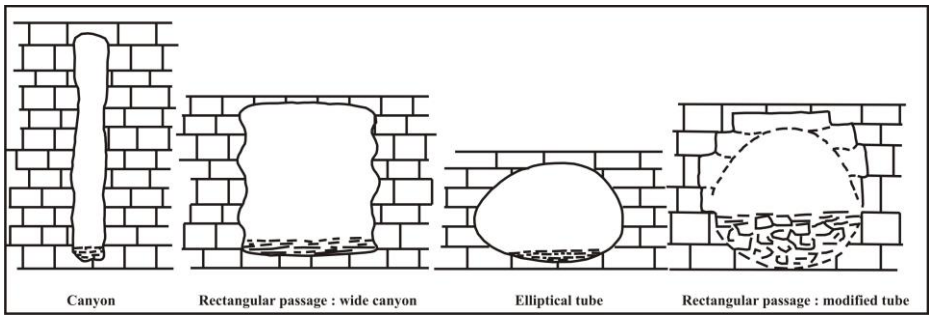
1. Dapat melakukan pemetaan lorong gua
2. Dapat mengidentifikasi kondisi morfologi dan interior lorong gua
3. Untuk mengetahui jenis morfologi dan interior lorong gua

6.2 Dasar Teori

6.2.1 Macam-macam Lorong Gua

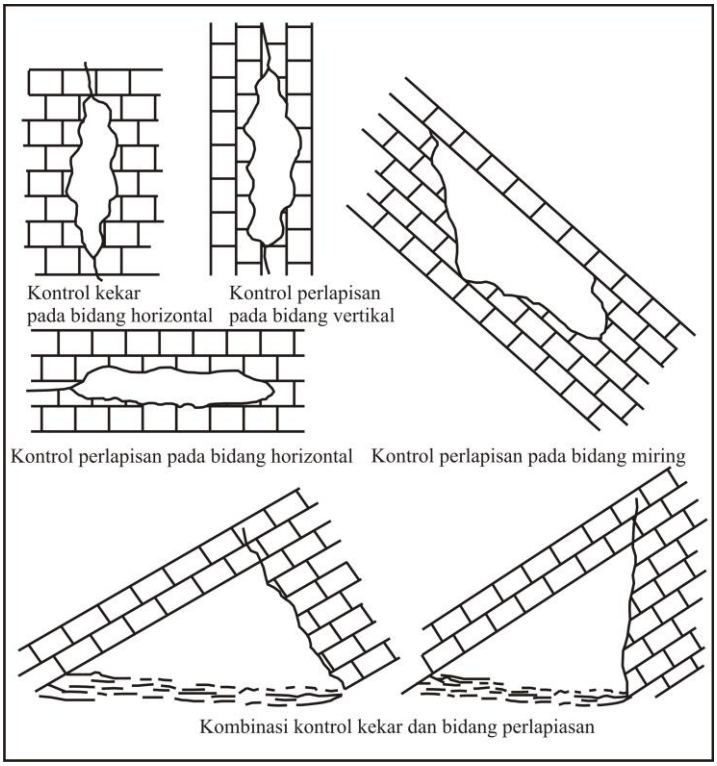
Morfologi gua (speleomorfologi) merupakan kajian geomorfologi mengenai gua yang mendeskrispsi gua dan bentuk di bawah tanah yang disebabkan oleh korosi, erosi, dan runtuhan (Bogli, 1980). Ford dan Williams (2007) menambahkan adanya bentukan akibat perubahan muka airtanah maupun bentukan akibat adanya banjir. White (1988) mengklasifikasi bentukan berdasarkan kontrol struktural dan hidraulik. Bentukan yang umum secara garis besar lorong memiliki bentuk berupa *canyon* ataupun *elliptical tube* (Gambar 6.1). Lorong tipe *canyon* biasanya memiliki bentuk lorong dengan jarak atap dengan nilai yang lebih tinggi dibanding jarak antar dinding kiri dan kanan. Lorong ini kemungkinan dapat terbentuk karena adanya proses penurunan muka air tanah secara perlahan. Meski sebagaian besar dipengaruhi oleh proses hidraulik tetapi lorong ini sangat terpengaruh adanya kontrol kekar yang ada. *Elliptical tube* terbentuk karena air tanah mengalir pada saluran yang berbentuk elips. Lorong ini dapat terjadi juga karena adanya pengaruh pelapisan batuan pada batugamping dan terjadi pada daerah yang

relatif rendah. Kedua tipe lorong ini umumnya memiliki dinding yang relatif halus.



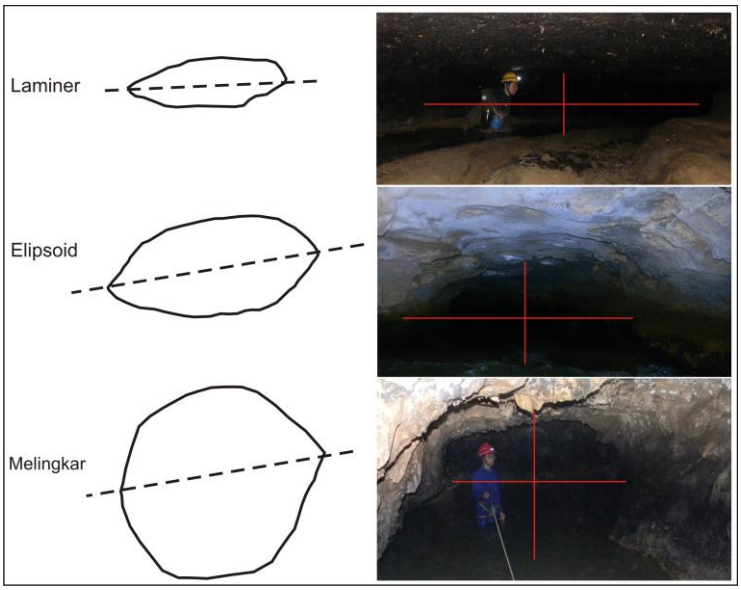
Gambar 6.1. Tipe Lorong Akibat Kontrol Hidraulik (White, 1988)

Lorong berkembang karena terkontrol oleh struktur dan litologi batuannya. Lorong ini bergantung pada kondisi kekar, bidang perlapisan, ataupun keduanya dimana terdapat jalur air tanah yang utama. Kemiringan pelapisan juga memiliki pengaruh yang penting. Beberapa contoh tipe lorong karena adanya pengaruh kontrol struktural dapat dijelaskan pada Gambar 6.2.



Gambar 6.2. Kenampakan Kontrol Struktural pada Lorong Gua (White, 1988)

Selain itu, Sweeting (1972) mengklasifikasi berdasarkan pengaruh aliran laminer, elipsoid, dan melingkar (Gambar 6.3) yang membentuk morfologi gua yang terdapat pada kondisi freatik. Bentukan tersebut dapat dilihat dengan melihat ukuran perbedaan antara panjang dan lebar. Bentukan akibat aliran laminer memiliki perbedaan lebar yang lebih besar dari tinggi atap gua. Bentukan elipsoid memiliki perbedaan lebar yang lebih panjang sedikit daripada tinggi lorong. Sedangkan bentukan melingkar memiliki panjang dan lebar yang hampir sama. Selanjutnya, Iguzquiza, Dkk (2011) membuat 3 klasifikasi dilihat dari ukuran penampang lorong gua. Perhitungan ini berdasarkan rasio lebar dan tinggi atap gua, dengan membagi menjadi bentuk ngarai (*canyon*) (R<1), bentuk lingkaran (R=1), dan bentuk setengah lingkaran (R>1).



Gambar 6.3. Kenampakan Morfologi Akibat Kontrol Hidraulik pada Kondisi Freatik (Sweeting, 1972)

Bogli (1980) selanjutnya membuat penamaan mengenai morfologi gua berupa *large form* dan *smalls form*. *Large form* berupa lorong vertikal (*shaft*), lorong *rectangular*, *elliptical*, *chambers*, yang selanjutnya akan membuat terjadi modifikasi dalam perkembangan lorong. Lorong vertikal (*shaft*) (Gambar 4 (a)) merupakan kenampakan hasil pelarutan dari air meteorik pada kawasan epikarst yang mengalir secara vertikal, aliran tersebut akan mengalir dengan cepat pada kondisi vadose. Faktor dominan yang mempengaruhi adanya lorong vertikal dengan kemiringan 70/90° berupa

faktor tektonik, hal ini menunjukkan perkembangan patahan yang sangat tajam berada di sepanjang kekar vertikal (Baron, 2002). Karakteristik lorong vertikal berupa terbentuk karena adanya sistem peruntuhan batuan yang adanya di permukaan (*avent*) yang terhubung dengan *chambers*. Lorong vertikal terbentuk di daerah doline/lembahan Lorong vertikal membentuk satu tingkatan maupun beberapa tingkatan lorong (*single/multipitch*).

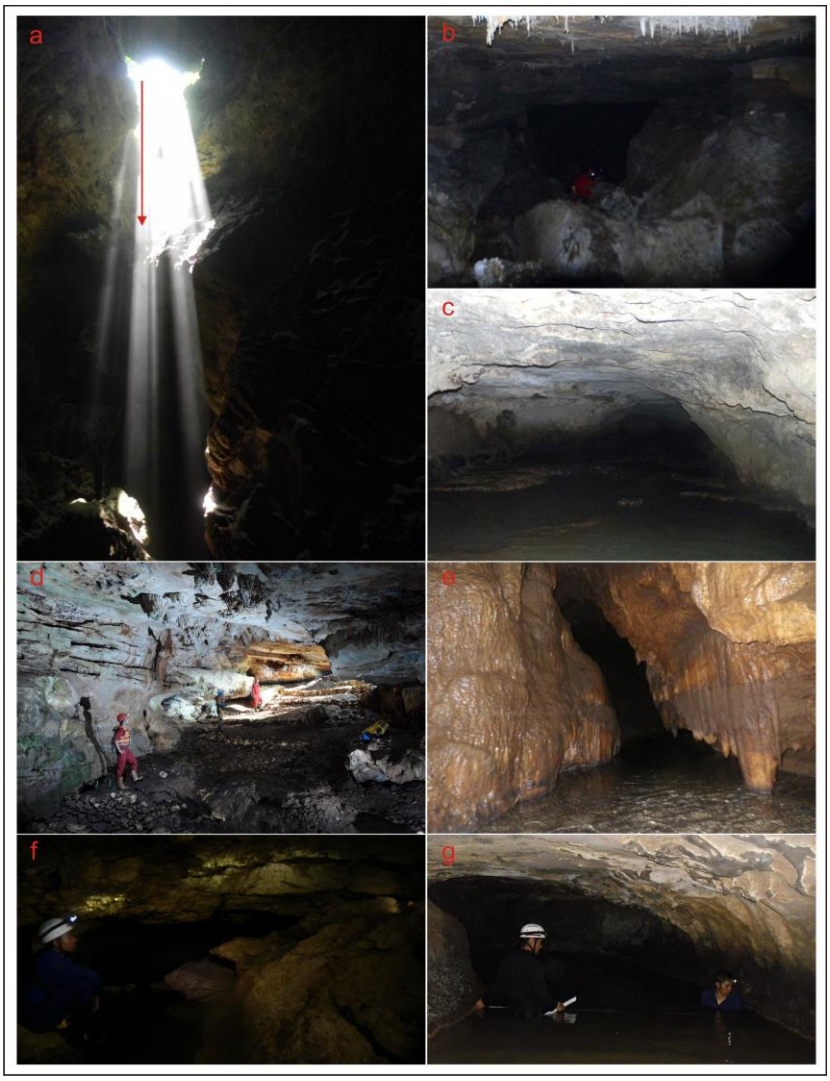
Rectangular passage (Gambar 6.4 (b dan f)) merupakan modifikasi dari bentukan elips dan *canyon*. Bentuk lorong ini cenderung menyudut membentuk lorong segi empat, terjadi akibat pengaruh kondisi tektonik baik adanya tekanan maupun tegasan, yang menghasilkan runtuhan batuan di lantai gua, sedangkan pada dinding dan atap terdapat adanya bentukan hasil kristalisasi endapan yang terbentuk dari materi yang pengendapan akibat terbawa oleh air rembesan. Penentuan tipe ini dapat diketahui adanya runtuhan, biasanya bentukan lorong yang menyudut selalu berasosiasi dengan breakdown karena pengaruh aktivitas tektonik.

Bentukan *elliptical passage* (Gambar 6.4 (c dan g)) merupakan tipe lorong yang memiliki bentuk cenderung membulat. Lorong tipe ini berada pada kondisi freatik dengan sedikit dijumpai runtuhan pada lorong gua. terdapat 2 tipe *elliptical* yaitu *Asymetrical* dan *symetrical elliptical passage*. *Assymetrical ellipse passage* merupakan tipe *ellipse passage* yang bentuknya tidak simetris sedangkan *symetrical* memiliki bentuk yang simetris. Pada lorong *symetrical* lebih berkembang daripada *asymetrical*.

Ruangan (*chambers*) (Gambar 6.4 (d)) merupakan ruangan/lorong dalam tanah yang memiliki dimensi yang besar (Monroe, 1970). Secara umum ruangan yang terbentuk di daerah penelitian cenderung membulat. Ruangan juga dapat berupa sebuah bagian lorong dalam gua yang memiliki ukuran lebar dan luas yang berbeda di atas rata-rata ukuran lorong pada gua tersebut. Kenampakan ruangan dapat berupa suatu bagian lorong gua besar yang terdapat dalam suatu sistem perguaan atau lorong gua yang terdiri atas banyak lorong sempit, terjadi proses runtuhan akibat adanya sirkulasi aktif dari air tanah yang membentuk kubah/*chamber* pada lorong gua, pertemuan lorong vertikal dengan lorong horizontal karena perlebaran pada dinding gua akibat adanya proses struktural yang membentuk lorong vertikal.

Joint passage Bentuk Lorong yang cenderung meninggi dipengaruhi oleh kondisi struktur yang dominan. Lorong berbentuk oval dimana lebar lorong lebih kecil dibandingkan tinggi lorong. Hal yang sangat mudah untuk diamati dari tipe *joint passage* ini adalah bentuk lorong cenderung vertikal. Adanya lorong yang memiliki bentuk miring (Gambar 6.4 (e)), hal tersebut

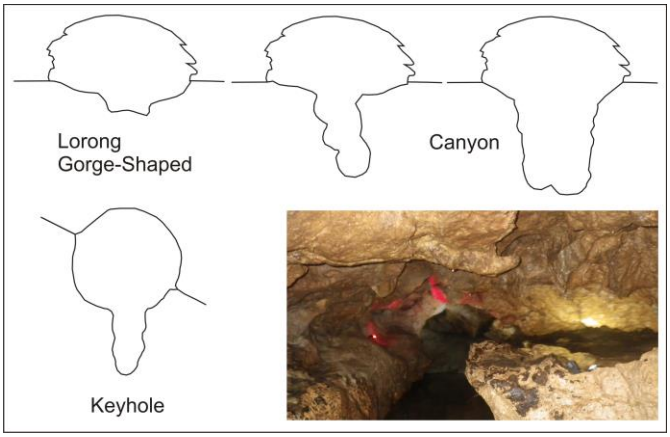
diawali dari tipe kekar sebelumnya. Apabila bidang kekar cenderung mengarah miring maka kemungkinan pelebaran lorong mengikuti bidang kekar dan cenderung miring



Gambar 6.4. Morfologi lorong gua

Perkembangan lorong gua dapat terjadi perubahan kondisi, dari kondisi freatik (sungai bawahtanah) menjadi kondisi vadose (lorong fosil), yang akan berpengaruh pada lorong gua. perubahan tersebut dapat diketahui dari perkembangan morfologi lorong gua, di antaranya adanya perkembangan alur-alur dalam gua berupa *gorge*. *Gorge* merupakan kenampakan gerusan di dasar lorong gua. bentuk cekung yang berada di dasar lorong ini diakibatkan

oleh air yang mengalir yang mampu mengerosi batuan di dasar lorong gua. bila terjadi gerusan terus-menerus akan membentuk *keyhole* yang akan memperdalam lantai gua akibat perubahan muka airtanah. Fase selanjutnya adanya *canyon*, yang terbentuk setelah dinding pada *kayhole* semakin melebar akibat adanya sungai bawahtanah yang mengerosi/melarutkan dinding gua, serta adanya runtuhan pada dinding gua.



Gambar 6.5. Perkembangan Penampang Lorong Gua dari Bentukan *Gorge – Keyhole –Canyon* (Bogli, 1980)

Smalls form/speleogen merupakan bentukan yang lebih kecil. Bentukan ini terdapat pada kondisi freatik maupun vadose. *Smalls forms* merupakan indikator sederhana dalam mengamati dan mengetahui proses yang terjadi di dalam gua. *Solution notch* (Gambar 6.6 (g)) terbentuk akibat pengaruh derasnya air yang mampu untuk mengikis dinding gua, sehingga membentuk lengkung pada dinding gua. Perbedaan kondisi pada gua akibat banjir atau kondisi perlapisan mempengaruhi kenampakan morfologi *solution notch. Potholes* (Gambar 6.6 (b)) merupakan bentukan akibat adanya tetesan dari atap gua yang membentuk cekungan pada lantai gua.

Solutions pocket cenderung berasosiasi dengan aktivitas tektonik yaitu adanya *crack* (retakan) pada batuan (Gambar 6.6 (b)). Retakan pada dinding atau atap gua akan membawa rembesan yang melewati celah rekah batuan selanjutnya akan melarutkan batuan sehingga terlarut dan menggerus permukaan batuan hingga melengkung membentuk kenampakan *solution pocket*. Proses penggerusan pada batuan didukung proses korosi oleh aktivitas udara di dalam gua, campuran air yang mengalir di dalam gua, dan air dari celah rekah batuan tersebut.

Scallops (Gambar 6.6 (c)) lebih memiliki keteraturan dibanding dengan *solution pocket.* Aliran sungai bawahtanah yang mengalir pada batugamping akan bergerak dengan kecepatan berbeda dengan aliran yang bergelombang sehingga mengkikis dinding gua dengan kondisi yang berbeda, dan akan membentuk kondisi dinding seperti gelombang. Bentukan berlekuk-lekuk sering ditemui pada kondisi freatik dan kondisi vadose. Pada kondisi vadose, bentukan berlekuk-lekuk banyak ditemui di lantai gua. Bentukan ini dapat dijadikan indikator adanya aliran air bawahtanah yang terjadi akibat adanya perubahan kecepatan aliran air bawahtanah pada masa lampau, sehingga membentuk seperti lantai bertingkat di lantai gua yang bentuknya teratur.

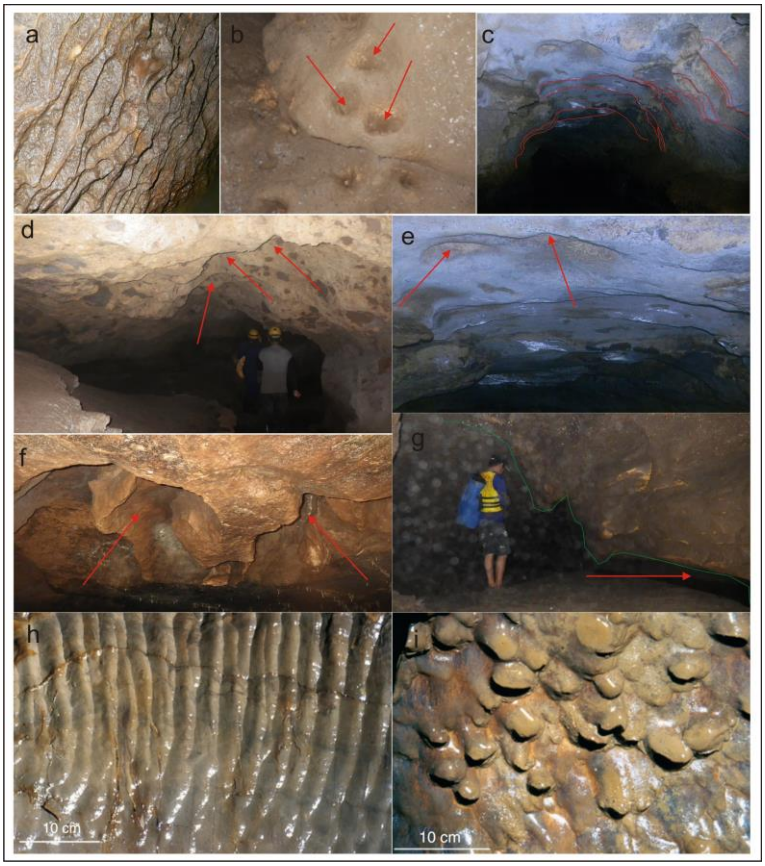
Pendant merupakan pilar sisa antara batuan dari *anastomosis* (Gambar 6.6 (a)). Bentukan pendant dapat berkembang pada bidang perlapisan dan kekar. Bentukan ini merupakan tingkatan dari *anastomosis.* Terdapat di permukaan lorong gua karena adanya erosi seperti dinding, lantai dan atap gua. Bentukan *pendant* dapat terbentuk oleh aliran air yang kontak dengan batuan. *Anastomosis* merupakan kenampakan kecil membentuk lubang kecil yang cenderung menghubungkan antara lubang satu dengan yang lain. Lubang yang menganyam terhubung satu sama lain ditemukan pada bidang perlapisan dan singkapan di gua. Air yang merembes dari celah rekah batuan secara pelan-pelan tercampur yang mengakibatkan korosi. Percampuran tersebut merembes ke celah, sehingga menghasilkan bentuk-bentuk yang sama.

Meandering (Gambar 6.6 (f)) di atap gua terbentuk karena adanya aliran air yang mengalir pada bidang perlapisan atau retakan yang terdapat pada batuan. Aliran air akan membentuk lubang di atap gua sesuai dengan retakan, aliran ini akan memperdalam membentuk penampang lubang pada atap gua. Bentukan ini dapat dilihat pada kondisi lorong yang memiliki ketinggian atap yang rendah yang tidak mempunyai kemiringan yang curam sehingga aliran air dapat mengikis batuan di atap gua saat terjadinya banjir maupun saat terjadinya pengendapan sedimen pada lorong gua.

Cupola merupakan lorong yang terkontrol oleh proses hidraulik dan pada bidang perlapisan. Lorong gua akan berbentuk elips dengan sedikit terdapat ornamen gua. Lorong gua yang mengalami banjir mengakibatkan tertutupi oleh air, sehingga lorong-lorong tersebut akan penuh dengan air. Pada atap gua akan terdapat udara, sirkulasi udara tersebut akan berputar pada lorong atap gua tersebut yang akan terjadi korosi pada batugamping tersebut, yang dalam waktu tertentu akan membentuk lengkungan (Gambar 6.6 (e)). Adanya bentukan lengkungan menandakan daerah ini merupakan lorong freatik yang selalu terisi oleh air pada masa lampau. Saat lengkungan tersebut

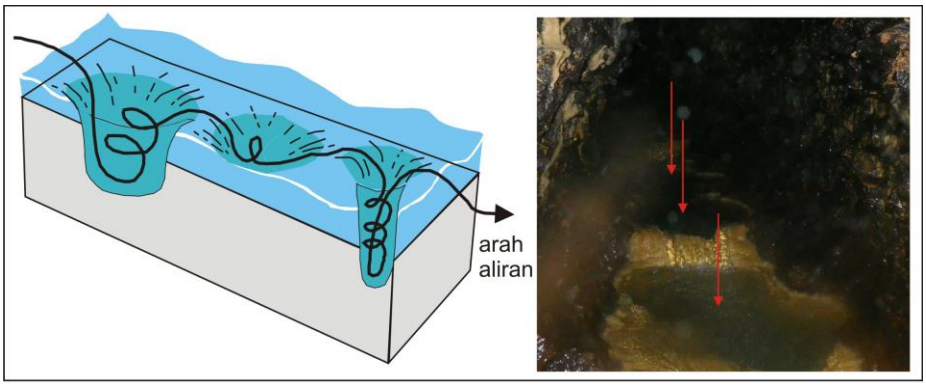
semakin besar, Bogli (1980) menyebut lengkungan tersebut sebagai *ceiling half-tube passage* yang membentuk lengkungan setengah lingkaran pada atap gua

Flutes (Gambar 6.6 (h)) merupakan kenampakan saluran dengan penampang berbentuk setengah lingkaran dihubungkan dalam jaringan. Ukuran *flutes* dengan panjang lebih dari 100 mm, lebar rata-rata 50 mm lebar dan kedalaman sekitar 15 mm. *Cups/pits* (Gambar 6.6 (i)) merupakan bentukan dari mikromorfologi gua. Dimana bentukan ini menyerupai *pocket*, namun pocket memiliki ukuran yang lebih besar. *Cups* banyak terjadi di dinding gua dengan lebar sekitar 5-20 cm. Bentukan ini cenderung mengelompok. Keberadaan cups mengindikasikan terjadi periode banjir yang cepat.



Gambar 6.6. Kenampakan *Speleogen* a) *Pendant* b) *Potholes* c) *Scallops* d) *Solutions Pocket* e) *Cupola* f) *Meandering* g) *Solutions Notch* h dan i berupa *Flutes* dan *Cups/pits* di Ambil dari Slabe dan Prelovsek, 2013.

Bentukan *potholes* (Gambar 6.7) dapat juga berkembang pada sungai bawahtanah dengan membentuk lubang-lubang pada lantai gua. Mekanisme terjadinya bentukan lubang dapat terjadi pada Aliran air yang turbulen saat periode banjir yang dapat menggerus lantai gua. Dalam selang waktu yang lama, lantai gua akan membentuk cerukan, yang aliran tersebut akan berkonsentrasi pada cerukan itu. Kondisi tersebut akan mengikis lantai gua yang dibuat oleh pusaran air stasioner yang terisi dengan adanya pasir dan kerikil dan kontak dengan batuan dasar yang memperdalam lantai gua. Kekuatan sentrifugal mendorong partikel padat di atas lantai lubang tersebut ke pinggiran mana mereka menghaluskan dinding. Adanya perbedaan ketinggian pada dasar gua yang mempengaruhi percepatan aliran air yang jatuh/mengalir pada dasar gua.

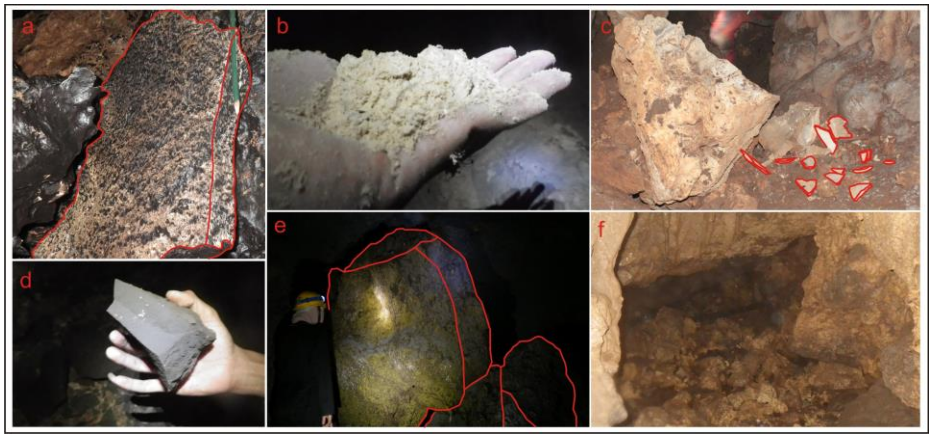


Gambar 6.7. Kenampakan *Potholes* (Slabe dan Prelovsek, 2013)

Bentukan yang terdapat di lorong gua berupa runtuhan (*breakdown*). Bogli (1980) mengartikan sebagai semua proses yang menyebabkan dinding dan langit-langit rongga bawahtanah yang memecah secara alami. Ford dan Williems (2007) menambahkan penjelasan mengenai kenampakan yang ada berupa bergerigi pada dinding atau atap gua, terdapat tumpukan batu bersudut yang terlihat pada lorong gua yang terbentuk dari hasil modifikasi kondisi freatik berubah ke kondisi vadose.

Sweeting (1972) mengelompokan runtuhan menjadi empat *block*, *slab*, *plate*, dan *chip*. *Block breakdown* merupakan runtuhan batuan dari atap dan dinding gua, tipe ini biasanya terdapat pada *chambers* yang membentuk bongkahan/blok persegi panjang. *Slab breakdown* merupakan lempengan tebal pada batuan yang tidak teratur yang disebabkan pemecahan dari perlapisan batuan pada atap gua. *Plate breakdown* berbentuk lempengan tipis yang ukurannya lebih kecil dari *slab breakdown*, bentukan ini disebabkan

oleh aliran atau tekanan yang melonggarkan lempengan batugamping. *Chip breakdown* merupakan fragmen kecil dari batugamping yang terjatuh, potongan-potongan yang datar dan rapuh, dan lapisan batuan pada skala lepas.



Gambar 6.8. Runtuhan Lorong Gua (a) *Slab* (c dan e) *Block* (b,d, dan f) *Chip* (c) *Plate*

6.2.2 Macam-macam Ornament Gua

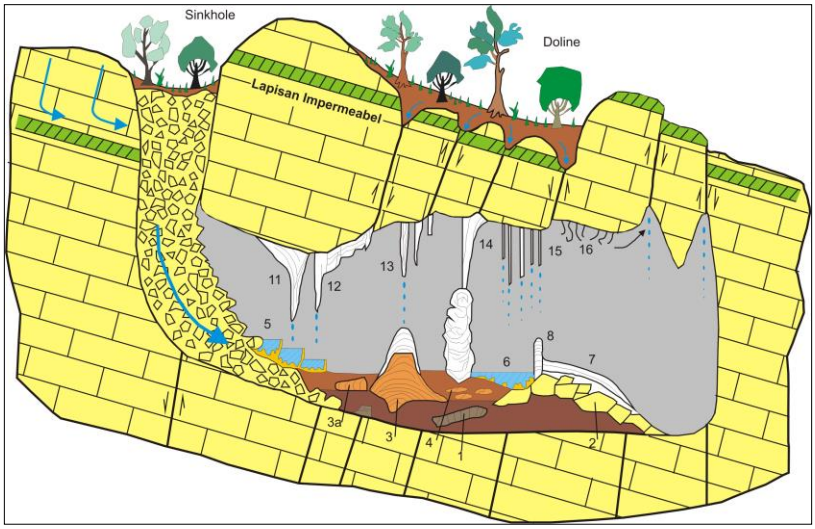
Ornament gua atau disebut dengan *speleothem* merupakan bentukan pada lorong gua sebagai hasil dari proses pelarutan dan pengendapan mineral kalsit oleh aliran air. Bentukan *speleothem* dibagi menjadi empat tipe yaitu *dripstone, flowstone, rhimestone,* dan *exchentic*. Tipe *dripstone* terbentuk akibat tetesan air vadose. tipe ini berupa stalaktit, yang memiliki bentuk memanjang dan meruncing ke bawah, menempel pada atap gua. Ini terjadi karena air yang mengandung larut yang tinggi menetes melalui celah rekah pada lorong gua. stalakmit terbentuk dari proses terjadinya stalaktit. Ketika air menetes jatuh ke lantai gua, terjadi penguapan air, maka timbul penumpukkan larutan kapur yang membentuk kerucut memanjang dan meruncing ke atas, *sodastraw* berbentuk seperti stalaktit tapi diameternya kecil sebesar diameter air, dan pillar/*collum* bisa terbentuk bila stalakmit dan stalaktit bersatu membentuk sebuah dekorasi tersendiri

Flowstone terbentuk akibat aliran air vadose melalui atap dan dinding lorong gua. aliran air ini dapat mengalir pada celah rekah batuan maupun pada bidang perlapisan. Terdapat tiga jenis *flowstone* yaitu *canopy* yang terbentuk oleh aliran vadose yang mengalir di atas bongkahan batuan, *drapery* terbentuk melalui celah vertikal (*joint*) yang memiliki bentukan seperti lembaran yang terlipat, menggantung di atap atau dinding gua, dan

*shield*s berbentuk oval atau melingkar, dengan diameter hingga 3 m, terbentuk karena adanya retakan pada bidang batuan.

Rhimestone berbentuk seperti bendungan yang terbentuk ketika terjadi pengendapan air, CO_2 menghilang dan menyisahkan kalsit yang bersusun-susun. *Rhimestone* terdiri dari *gourdam* yang memiliki kenampakan menyerupai petakan-petakan sawah, pada bentukan kecil berupa *microgourdam*. *Gourdam* terbentuk karena pengandapan kalsit.

Exentric antara lain *Oolith* atau mutiara gua terjadi melalui pengendapan kristal kalsit, yang menyelubungi butiran pasir, lapis demi lapis, akibat butiran pasir itu secara kontinu dalam media air jenuh $CaCO_3$. Pasir ini bergulir, karena terusik oleh tetesan air terus-menerus dari atap gua. mutiara gua dapat ditemukan di atas lantai gua yang berbentuk cekungan, Helaktit bentuk stalaktit yang bercabang sejajar dengan gua, bahkan pertumbuhannya kadang tidak ke bawah tetapi ke atas menuju atap seperti melawan daya tarik Bumi (gravitasi), Helakmit bentukan seperti stalagmit yang perkembangannya melawan gravitasi Bumi, dan *Shelfstone* seperti gelombang datar, dan horizontal yang berada di tepi kolam gua.



Gambar 6.9. Sketsa Ornamen Gua 1) runtuhan stalagmit 2) bongkahan batuan 3) stalagmit yang lebih tua dan runtuhannya 4) runtuhan stalaktit 5) rhimestone (gaurdam) 6) center pool 7) flowstone di lantai 8) stalagmit 9,14) column 10) conical stalagmite 11) stalaktit dengan drapery 12) drapery 13) conical stalaktit 15) sodastraw16) helaktit (Kampe, 2013)

6.2.3 Macam-Macam Bentukan Antropogenik

Gua merupakan lorong yang terbentuk secara alamiah. Pada masa prasejarah, Lorong alamiah ini dapat dijadikan sebagai ruang atau hunian bagi perorangan atau kelompok masyarakat. Gua-gua yang sering digunakan sebagai hunian berupa ceruk atau gua yang panjang lorongnya pendek. Pada masa tersebut, terdapat hasil karya manusia berupa gambar-gambar yang berada di dalam lorong gua. Gambar tersebut menunjukkan suatu pengalaman, perjuangan, dan harapan hidup. Selain itu, dapat memberikan penjelasan mengenai sumber terkait dengan cara hidup dan mengumpulkan makanan yang menggambarkan kehidupan sosial ekonomi pada masyarakat masa itu (Permana, 2014)

Hasil karya manusia pada masa prasejarah tersebut merupakan hasil yang dapat memberikan penjelasan mengenai kehidupan yang ada pada masa lampau. Pola dan konteks gambar dapat memberikan motif pada gambar gua baik figuratif maupun non figuratif. Selain itu, teknik pembuatan gambar gua dapat dipelajari baik dari warna pembuatan gambar gua dan teknik dalam pembuatan gambar gua.

Pada masa kini, kenampakan gua yang disebabkan oleh manusia berupa adanya vandalisme yang dilakukan perusakan secara sengaja. Kerusakan ini dapat mengubah kondisi di dalam gua. ini dapat dilakukan dengan menggali (mineral) atau pengambil sarang/kelelawar, penelusur gua (coret-coret gua/memotong ornamen), dan pengelola wisata yang dapat merusak kondisi di dalam gua yang tidak sesuai dengan prinsip pengelolaan gua

6.3 Kebutuhan Data

Data yang dikumpulkan dalam kegiatan ini berupa data kenampakan-kenampakan morfologi dan interior lorong gua berupa akibat adanya erosi, korosi, sedimentasi maupun runtuhan gua serta data pemetaan lorong gua yang menyangkut data koordinat gua, panjang, arah, kemiringan gua, atap gua, lebar lorong gua, irisan lorong gua berupa tampak samping, atas, dan tampak depan.

6.4 Metode Pengukuran

6.4.1 Metode Pemetaan Gua

Alat dan bahan yang digunakan untuk pemetaan gua, antara lain terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Alat dan Bahan

Alat pemetaan	Kompas jenis Suunto; klinometer jenis Suunto; rol meter @ 30 meter, jenis *fiberglass*; meteran kayu lipat @ 1 meter; Laser Disto; *workheet* pemetaan anti air; tas *mapping* anti air; alat tulis anti air; *abnel level* untuk menghitung kemiringan;
Peralatan individu untuk *single rope technique*	*Seat harness; chest harness; delta maillon rapide; oval maillon rapide; cowstail + 2 carabiner non screwgate; hand ascender (jammer); chest ascender (croll; descender; carabiner: 1 oval screwgate, 1 oval non screwgate, 1 delta screwgate; dan foot loop.*
Peralatan kolektif untuk *single rope technique*:	Tali *kernmantle* jenis statik; webbing atau tali pita; carabiner bebas untuk pemasangan lintasan vertikal; pengaman sisip; hammer/palu tebing; driver/alat bor tebing; *bolt*/bor tebing ; *hanger*/kaitan carabiner di tebing; *hauling set*/peralatan rescue vertikal; *pulley*/katrol, peralatan rescue vertikal; *padding*/ pelindung tali dari gesekan tebing; dan *tackle bag*/tas khusus untuk penelusuran gua.

Dalam pelaksanaan pemetaan lorong gua minimal terdiri dari 3 orang dengan pembagian tugas berupa *shooter*, *stasioner*, dan *descriptor*, terdapat pembagian tugas dalam pemetaan yaitu *shooter* bertugas membidik sasaran dan membaca hasil pengukuran lorong gua, selanjutnya menyampaikan hasil tersebut kepada *descriptor*. Stasioner bertugas sebagai sasaran bidik oleh *shooter*, disamping itu stasioner bertugas menetukan lorong-lorong gua yang dapat dijadikan sebagai stasiun pengukuran. *Descriptor* bertugas mencatat semua hasil pengukuran dan juga memiliki tugas untuk menggambar sketsa lorong gua

Penentuan survei awal pemetaan gua dapat dilakukan dengan dua cara yaitu *top to bottom* dan *bottom to top*. *Top to bottom* berupa arah pengambilan data gua diambil dari luar ke dalam gua, pemetaan dimulai dari atau sebelum pintu masuk gua yang diteruskan ke dalam gua *Bottom to top* dengan arah pengambilan data gua, diambil dari dalam lorong gua terlebih dahulu, yang selanjutnya diteruskan menuju ke mulut gua

Setelah penentuan arah survei pemetaan, selanjutnya menentukan metode survei gua yang dipakai, dalam penentuan metode tersebut, disesuaikan dengan kondisi lorong gua dan pengalaman dalam melakukan pemetaan gua. metode tersebut antara lain:

1. *Forward method* (*foresight*) merupakan pengambilan data ini memiliki posisi *shooter* yang selalu berada di belakang *stasioner*. Setelah membacakan dan melaporkan hasil pengukuran kepada *descriptor*, *shooter* berpindah ke posisi *stasioner*. Setelah itu, titik stasiun ditempati oleh *shooter*, stasioner bergerak ke depan untuk menetukan titik stasiun berikutnya dimana pengukuran dilakukan kembali.
2. *Leapfrog method* dilakukan *shooter* yang telah selesai membaca pengukuran selanjutnya maju mendahului *stationer* yang masih tetap berada pada tempat semula. Setelah menentukan titik stasiun, *shooter* kembali melakukan pengukuran dengan membidik ke arah stationer. Setelah selesai, selanjutnya *stationer* yang maju mendahului shooter, demikian seterusnya.
3. *Backsight* berupa pembacaan hasil pengukuran dilakukan dari stasiun yang berada di depan terhadap stasiun yang ada di belakangnya
4. *Fore* dan *backsight* berupa *shooter* melakukan pengukuran pada stasiun yang berada di depan maupun yang berada di belakangnya., sehingga stasiun di ukur dari du arah yang dapat menghasilkan data pemetaan gua dengan akurasi maksimal

Chambers merupakan bagian lorong gua yang lebih lebar dibandingkan dengan lorong-lorong gua yang lain. Untuk melakukan pengukuran pada *chambers* diperlukan metode survei yang berbeda dengan pengukuran lorong gua sebelumnya.

1. Poligon terbuka/radial, metode ini digunakan untuk melakukan pemetaan pada *chambers* yang dimensi serta kondisinya masih memungkinkan bagi *surveyor* yang berada di tengah *chambers* untuk melakukan pengukuran pada stasiun-stasiun yang berada pada pinggir *chambers*
2. Poligon tertutup, kondisi *chambers* memiliki dimensi dan topografi lantai lorong gua tidak memungkinkan bagi *shooter* untuk berdiri pada titik stasiun pada pusat *chambers* untuk membidik *stationer* di dinding tepi *chambers*, maka pengumpulan data dengan menyusuri dinding tepi *chambers*.

3. *Offset*, metode pengumpulan data pada *chambers* yang memiliki dimensi memanjang. Metode ini hampir sama dengan pengukuran lorong gua yang biasanya.
4. Pengukuran pada *pothole/shaft*, lorong gua vertikal dengan lorong yang berukuran lebih luas daripada mulut gua. pemetaannya dengan dua rangkaian poligon yang satu di dalam gua dan satunya di permukaan gua. kedua poligon ini dihubungkan dengan survei lorong vertikal yang berada pada lintasan tali. Poligon di permukaan gua berupa poligon tertutup, poligon di dalam gua bisa menggunakan poligon tertutup maupun terbuka.

Pemillihan teknik dan metode survei bergantung dari informasi/data yang telah dikumpulkan, atau hasil dari eksplorasi lorong gua yang dituju. Setelah melakukan pemilihan survei dan metode, dilakukan penelusuran gua dengan mekanisme sebagai berikut ini.

Tabel 2. Mekanisme Pemetaan Gua dengan Menggunakan *Top to Bottom* dengan Metode *Foward* dan *Leapfrog*

Shooter	**stasioner**	**Descriptor**
• Menyiapkan alat pemetaan gua • Membaca alat yang digunakan	• Menjadi bidikan shooter • Mengecek ketinggian saat duduk, berbaring, berdiri, dan membungkuk	• Membuat worksheet pemetaan gua
• Mengecek koordinat stasiun nol	• Menentukan stasiun nol (0) yang akan menjadi patokan	
• Menempati posisi dari stasioner	• mengukur lebar (kanan dan kiri) dan atap gua pada stasiun 0	• Mencatat ukuran lebar, tinggi, dan koordinat gua • Menggambar sketsa lorong tampak depan • Mencatat bentukan yang terdapat pada mulut gua • Mencatat temuan-temuan yang terdapat di gua (flora, fauna, fosil dll)
foward method		

	• Berpindah menentukan stasiun berikutnya (1)	
• Mengukur jarak, kemiringan, arah lorong gua • mengukur lebar (kanan dan kiri) dan atap gua pada stasiun 1	• Mengomunikasikan posisi dalam penentuan bidikan	• Mencatat pengukuran jarak, kemiringan, arah, lebar, dan tinggi. • Menggambar sketsa lorong tampak depan, tampak samping dan tampak atas • Mencatat bentukan lorong gua pada stasiun 0-1 • Mencatat temuan-temuan yang terdapat di gua (flora, fauna, fosil dll)
	• Berpindah menentukan stasiun berikutnya (2)	
• Menempati posisi dari stasioner		
• Mengukur jarak, kemiringan, arah lorong gua • mengukur lebar (kanan dan kiri) dan atap gua pada stasiun 1	• Mengomunikasikan posisi dalam penentuan bidikan • mengukur lebar (kanan dan kiri) dan atap gua pada stasiun 2	• Mencatat ukuran lebar, tinggi, dan koordinat gua • Menggambar sketsa lorong tampak depan • Mencatat bentukan lorong gua pada stasiun 1-2 • Mencatat temuan-temuan yang terdapat di gua (flora, fauna, fosil dll)
Dan seterusnya, sampai stasiun pemetaan paling akhir		
Leapfrog method		
• Berpindah menentukan stasiun berikutnya (1)	• Tetap berada di stasiun 0	
•		
• Mengomunikasikan posisi dalam		• Mencatat pengukuran jarak, kemiringan, arah, lebar, dan

penentuan bidikan • Mengukur jarak, kemiringan, dan arah lorong gua dari stasiun 1 ke 0 • mengukur lebar (kanan dan kiri) dan atap gua pada stasiun 1		tinggi. • Menggambar sketsa lorong tampak depan, tampak samping dan tampak atas • Mencatat bentukan lorong gua pada stasiun 0-1 • Mencatat temuan-temuan yang terdapat di gua (flora, fauna, fosil dll)
• Tetap berada di stasiun 1	• Berpindah menentukan stasiun 2	
• Mengukur jarak, kemiringan, dan arah lorong gua dari stasiun 1 ke 2 • Menuju ke stasiun 2 (stasioner) • mengukur lebar (kanan dan kiri) dan atap gua pada stasiun 2	• Mengomunikasikan posisi dalam penentuan bidikan	• Mencatat pengukuran jarak, kemiringan, arah, lebar, dan tinggi. • Menggambar sketsa lorong tampak depan, tampak samping dan tampak atas • Mencatat bentukan lorong gua pada stasiun 1-2 • Mencatat temuan-temuan yang terdapat di gua (flora, fauna, fosil dll)
• Berpindah menentukan stasiun berikutnya (3)	• Tetap berada di stasiun 2	
• Mengomunikasikan posisi dalam penentuan bidikan • Mengukur jarak, kemiringan, dan arah lorong gua dari stasiun 3 ke 2 • mengukur lebar (kanan dan kiri) dan atap gua pada stasiun 3		• Mencatat pengukuran jarak, kemiringan, arah, lebar, dan tinggi. • Menggambar sketsa lorong tampak depan, tampak samping dan tampak atas • Mencatat bentukan lorong gua pada stasiun 2-3 • Mencatat temuan-temuan yang terdapat di gua (flora, fauna, fosil dll)
• Tetap berada di	• Berpindah	

stasiun 3	menentukan stasiun 4	
• Mengukur jarak, kemiringan, dan arah lorong gua dari stasiun 3 ke 4	• Mengomunikasikan posisi dalam penentuan bidikan	• Mencatat pengukuran jarak, kemiringan, arah, lebar, dan tinggi. • Menggambar sketsa lorong tampak depan, tampak samping dan tampak atas • Mencatat bentukan lorong gua pada stasiun 3-4 • Mencatat temuan-temuan yang terdapat di gua (flora, fauna, fosil dll)
• Menuju ke stasiun 4 (stasioner) • mengukur lebar (kanan dan kiri) dan atap gua pada stasiun 4		
Dan seterusnya, sampai stasiun pemetaan paling akhir		

Mekanisme pemetaan gua dengan menggunakan *bottom to top* hampir sama dengan *top to bottom*, yang berbeda dari pemetaannya yaitu stasiun nol berada pada ujung lorong gua, atau titik awal pemetaan di gua, sedangkan titik koordinat gua berada pada stasiun akhir/mulut gua. Sedangkan untuk metode *foward* dan *leapfrog* mekanismenya sama.

Catatan

1. Dalam metode *leapfrog*, *descriptor* harus dapat memberi tanda pada tiap angka hasil bacaan pada stasiun yang arah hadapnya berlawanan dengan arah survei.
2. Metode *leapfrog* digunakan pada lorong-lorong gua yang tidak terlalu sempit
3. Perubahan kemiringan (+) untuk kondisi naik dan (-) untuk lorong yang turun
4. Identifikasi bentukan lorong berupa bentuk *large form*, *small form*, *speleothem*, *speleogen*, dan *breakdown* yang dicatat, disketsa atau di dokumentasikan
5. Temuan-temuan dicatat dan di dokumentasikan
6. Penentuan stasiun lorong gua dapat berupa:
   a. mewakili perubahan lebar lorong
   b. mewakili perubahan atap gua
   c. mewakili perubahan arah lorong gua
   d. mewakili perubahan kemiringan lantai
   e. sebagai titik ikat bagi percabangan lorong gua

f. mewakili perubahan pada kondisi dan situasi lorong
g. berada pada jarak tidak lebih dari 30 meter dari stasiun sebelumnya
h. stasiun pada *chambers* dengan menggunakan metode poligon terbuka harus dapat mengikat sub stasiun yang berada di sepanjang dinding *chambers*

6.4.2 Metode Identifikasi Morfologi dan Interior Lorong Gua

Alat dan bahan yang dipergunakan dalam kegiatan ini, yaitu

1. *cheklist* identifikasi morfologi dan interior lorong gua
2. *worksheet* pemetaan gua
3. alat tulis

Metode identifikasi morfologi lorong, antara lain:

1. Mempersiapkan *worksheet* pemetaan gua
2. Melakukan pemetaan gua
3. Melakukan identifikasi bentukan pada setiap stasiun survei
4. Mengukur bentukan morfologi tersebut
5. Mencatat hasil pengukuran di *worksheet* dan mendokumentasikan bentukan morfologi dan interior gua
6. Setelah selesai pemetaan, memasukan data ke *cheklist* identifikasi morfologi dan interior lorong gua.

6.4.3 Metode Dokumentasi Morfologi Lorong Gua

Alat dan bahan yang dipergunakan dalam kegiatan ini, yaitu

1. Kamera
2. Lensa
3. Flash
4. Senter LED atau karbit
5. Tripod
6. Hardcase kamera

Identifikasi lorong pada segmen gua memerlukan waktu yang cepat dalam pengambilan gambar bentukan gua, namun hasil dari gambar tersebut dapat memberikan informasi yang mewakili kondisi di dalam gua. Pengambilan foto bentukan lorong gua dapat menggunakan kamera dengan bantuan flash, tripod, dan lensa. Teknik *single flash* ini dengan memanfaatkan satu flash dalam mengambil objek foto. Flash dapat diletakkan di kamera maupun dapat di letakkan di beberapa titik tertentu. Penggunaan flash yang terlepas dari kamera mempunyai perhitungan pencahayaan. Ini ditentukan dari perhitungan:

$$\text{Diafragma} = \frac{\text{power flash atau guide number}}{\text{jarak flash ke objek}} \quad \text{..... (6.1)}$$

Sebagai contoh, apabila power flash 80 dengan jarak flash ke objek 5 kaki, maka diafragma yang tepat untuk pencahayaan adalah f/16

Power flash = diafragma X jarak flash ke objek ..... (6.2)

begitu pula sebaliknya, apabila diafragma yang digunakan f/8 dengan jarak flash ke objek 10 kaki, maka *power flash* yang digunakan adalah 80 (8 x 10).

Penentuan lokasi kamera dan flash sangat penting dalam pengambilan foto. Flash yang berada pada kamera akan mempercepat pengambilan kenampakan gua, namun foto tersebut akan terlihat datar, yang mana cahaya akan tepat pada objek dan sleruh objek akan terang, dengan tidak ada bayangan yang menonjok di sekitar kenampakan tersebut. namun, bila terdapat flash yang berada pada sudut yang berbeda akan menciptakan bayangan yang akan memberikan efek pada batuan tersebut.
Lokasi kamera juga dapat berada jauh dengan objek, sedangkan flash diletakkan pada kondisi yang dapat mencakup pencahayaan lorong gua. keberadaan flash harus tidak tampak pada foto kecuali flash mengarah ke kamera yang selanjutnya dapat diblok dengan model atau objek lainnya. Selain itu, Efek cahaya juga dapat diperoleh dari dua lampu yang terdapat pada kamera dan flash utama berada pada lorong yang jauh yang dibawa oleh penelusur lainnya yang tidak terlihat oleh foto.
Penggunaan flash dapat dilakukan dengan berbagai cara sesuai dengan keinginan, sehingga flash akan memiliki perpindahan baik jarak maupun sudut. Pada kubah/*chambers*, flash dapat dibuat tegak lurus untuk menyinari *chambers* untuk mengetahui kondisi lorong dan atap gua. Pada bentukan *speleothem/speleogen*, flash dapat diletakkan pada sisi depan untuk mengetahui keseragaman bentukan gua. Flash dibuat 10 derajat atau kurang, pada lantai gua untuk membuat bayangan yang dapat digunakan pada *rhimestone* atau *pearl*. Flash dapat mengarah ke kamera dengan adanya objek/model yang memblok agar menjadi siluet. Flash juga dapat berada pada 45 derajat pada ornamen/*speleoteham* yang akan memberikan gambaran yang menonjol pada bagian ornamen tersebut, sedangkan bayangannya berada di belakang ornamen tersebut.

Penggunaan flash ini dapat dilakukan dalam beberapa kondisi lorong gua, baik dalam pengambilan foto lorong, *spelothem*, dan *speleogen*. Berikut penjelasan mengenai hal tersebut.

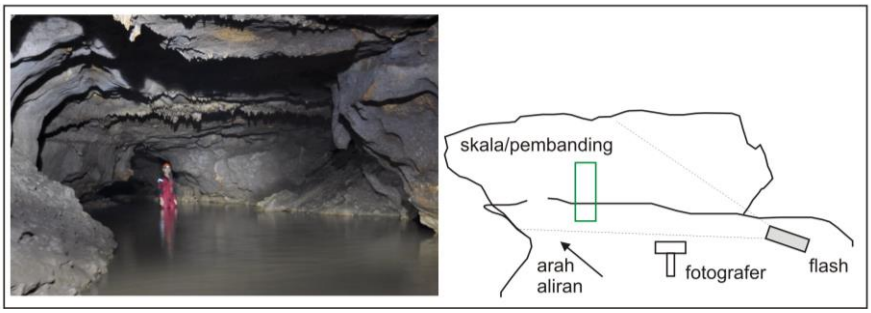
1. Pengambilan foto pada mulut gua

Pengambilan foto mulut gua dapat dilakukan dengan batuan sinar matahari, dengan melakukan pengambilan foto di dalam lorong gua (Gambar 6.10). Saat pengambilan foto, terlebih dahulu mengatur *speed* dan diafragma sesuai jarak pencahayaan kamera pada kondisi di luar gua. kondisi lulut gua dapat diberikan pembanding untuk mengetahui dimensi mulut gua. Posisi objek/pembanding tersebut di posisikan pada ruangan di mulut gua yang tidak mendapat sinar tetapi posisinya membelakangi posisi mulut gua.

Gambar 6.10. Penggunaan kamera pada mulut gua

2. Penggunaan flash pada lorong gua

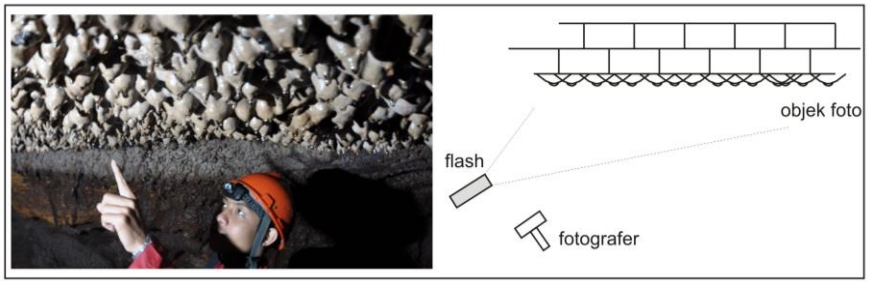
Kenampakan lorong gua di dokumentasikan dengan adanya pembanding/objek maupun tanpa adanya pembanding. Posisi objek/pembanding disesuaikan dengan kondisi lorong gua (Gambar 6.11). flash dapat menyinari lorong gua untuk mewakili bentukan yang ada di dalam gua. Posisi pemegang flash berada dibalik obyek yang tidak terlihat kamera. Speed diatur pada posisi Bulb atau B, diafragma sesuai tabel flash tetapi yang diperhatikan adalah jarak flash ke kamera



Gambar 6.11. Penggunaan flash pada lorong gua

3. Penggunaan flash pada speleogen/spelothem

Pengambilan foto speleogen/spelothem dapat dilakukan untuk menggambarkan sebaran/kondisi lorong. Gambar 6.12 menunjukkan bentukan speleothem dengan pemotretan berada di depan spelothe sedangkan flash berada di tepi speleothem. . Pada bentukan yang micro dari spelothem/speleogen, dapat membesarkan objek yang terdapat pada kamera.



Gambar 6.12. Penggunaan flash pada spelothem/speleogen

Selain itu, dalam pengambilan data dokumentasi dapat menggunakan kamera pocket dalam pemotretan di dalam gua. Penggunaan kamera pocket dengan menggunakan mode firework. Pada mode ini, kamera membuka rana sekitar 2 detik, yang memungkinkan untuk menyalakan flash yang akan merekam objek. Kualitas gambar yang dihasilkan dengan kamera ini rendah, kurang tajam, dan kurang detail. Bila terdapat minim cahaya, perekaman gambarnya kurang sempurna

Penggunaan mode otomatis yang membuat flash kamera akan menyala pada kamera pocket, yang akan memiliki gambar datar dan terdapat bercak-bercak. Namun, hal tersebut dapat digunakan untuk identifikasi bentukan pada lorong yang memiliki bentukan yang tidak terlalu besar/ kecil dan membutuhkan waktu yang cepat.

Daftar Pustaka

Adiardi. A.Z. Fotografi Gua. dalam ASC. 2015. *Diktat Speleologi. Tidak Diterbitkan*. Yogyakarta: Acintyacunyata Speleological Club

Baron. 2002. Speleogenesis Along Sub-Vertical Joints: A Model of Karst Plateu Development: A case study Dolny Vrch Plateu (Slovak Republic). Dalam *Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers 1 (2) Journal*, Czech Republic. Edisi April 2003. Hal.1-8

Bogli, A. 1980. Karst Hidrology and Phycical Speleology. Berlin Heidelberg New York. Springer-Verlag.

Earlandson R.P. 2005. Single flash photography. In Thomson N.R. and Swearingen V.J. 2005. *On Caves And Cameras*. USA: National Speleological Society

Ford D dan Williams P.2007. *Karst Hydrogeology and Geomophology*. England: British library.

Gellieson, D. 1996. Caves: Processes, Development, and Management. British: Blacwell Publishers.

Iguzquiza E, P,. Valsero, J, J. D,. dan Galiano V R. 2011. Morphometric analysis of three-dimensional networks of karst conduits. *Geomorphology* 132 (2011) 17–28

Kampe, S. 2013. Morphology of Speleothems in Primary (Lava-) and Secondary Caves. In Shroder, F, J. 2013. *Treatise on Geomorphology*, Volume 6. Elseiver

Klimchouk, A. Caves. In: Gunn, J. 2003. *Encyclopedia of Caves and Karst Science*. London: Taylor and Francis Group

Labib, M,A. 2016. Speleogeomorfologi Karst Kecamatan Donomulyo Kabupaten Malang. Thesis tidak diterbitkan. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada

Laksamana, E.E, 2005. *Stasiun Nol: Teknik-Teknik Pemetaan Dan Survey Hidrologi Gua*, Yogyakarta: Megalith Books dan Acintyacunyata Speleogenesis Club.

Monroe, W, H. 1970. *A Glossary of Karst Terminology*. Washington: Geological Survey

Permana, R,C,E. 2014. *Gambar Tangan Gua-Gua Prasejarah Pangkep-Maros-Sulawesi Selatan*. Jakarta: Wedatama Widya Sastra

Slabe, T dan Prelovsek, M. Rock Features and Morphogenesis in Epigenic Caves. In Shroder, F, J. 2013. *Treatise on Geomorphology*, Volume 6. Elseiver

Sweeting, M.M. 1972. *Karst Landforms*. London: Macmilland

White, B, W.1988. *Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains*. New York. Oxford University Press

BAB VII

Inventarisasi Biota Gua

Cahyo Rahmadi dan Ratih Aryasari

7.1. Maksud dan Tujuan Instruksional

Maksud dan tujuan dari panduan ini yang pertama adalah untuk memperoleh informasi keanekaragaman biota gua di setiap gua dan di setiap lokasi dengan menggunakan teknik koleksi yang sama sehingga dapat digunakan sebagai perbandingan. Tujuan yang kedua untuk inventarisasi dan karakterisasi molekuler fauna endokarst sehingga didapatkan data keanekaragaman genetik fauna endokarst yang menunjukkan nilai penting keanekaragaman hayati fauna endokarst.

7.2. Dasar Teori

Indonesia mempunyai kawasan karst yang cukup luas yang terbentang dari Sumatra sampai Papua dan merupakan salah satu negara yang paling kaya keanekaragaman hayati gua di kawasan tropis.. Beberapa kawasan karst yang cukup penting seperti Maros (Sulawesi Selatan), Gunung Sewu (Yogyakarta), Gombong Selatan (Jawa Tengah) dan Sangkulirang (Kalimantan Timur) telah menarik beberapa peneliti dalam maupun luar negeri untuk meneliti keanekaragaman hayati karst dan gua.

Penelitian biologi gua di Indonesia sampai saat ini masih sangat tertinggal dibandingkan di luar negeri, namun akhir-akhir ini ada peningkatan kegiatan penelitian beberapa kelompok maupun lembaga penelitian. Hal ini tentunya membawa dampak positif terhadap pengetahuan biologi gua, khususnya keanekaragaman hayati dan konservasinya.

Karst merupakan ekosistem yang unik dengan sistem perguaan yang memiliki lingkungan sangat berbeda dengan lingkungan luar gua. Lingkungan gua merupakan ekosistem yang unik dan sangat rentan dengan gangguan. Gua dapat dibedakan menjadi beberapa zona berdasarkan tingkat intensitas cahaya, kondisi mikroklimat dan jarak dari mulut gua. Namun kondisi gua sangat menentukan keberadaan zonasi di dalam gua. Zonasi di dalam gua yaitu:

1. Zona terang (Zona mulut gua)
   merupakan zona yang masih terkena cahaya matahari secara penuh dan kondisi lingkungan masih sangat dipengaruhi oleh kondisi di luar gua
2. Zona remang-remang (twilight zone)
   merupakan zona yang terletak di beberapa meter dari mulut gua di mana cahaya masih dapat terlihat meskipun tidak secara langsung dan perubahan kondisi lingkungan masih dipengaruhi kondisi luar gua

3. Zona gelap (dark zone)
   merupakan zona yang sudah gelap total dimana sudah tidak ada sama sekali cahaya. Kondisi lingkungan masih berfluktuasi dipengaruhi kondisi luar gua
4. Zona gelap abadi (Totally dark zone)
   merupakan zona gelap abadi dimana kondisi lingkungan seperti temperatur dan kelembaban relatif konstan sepanjang tahun.

Lingkungan gua mempunyai sumber energi yang sangat minim karena tidak adanya sinar matahari sehinggaa tidak ada tumbuhan hijau sebagai sumber energi. Sumber energi yang penting salah satunya adalah guano/kotoran kelelawar dan burung karena biasanya terkumpul dalam jumlah yang banyak. Sumber lain yang tidak kalah penting adalah bahan organik dari luar gua yang terbawa masuk ke dalam gua saat sungai bawah tanah banjir atau melalui jendela gua yang ada di atap gua. Sumber bahan organik lain adalah bahan organik terlarut yang masuk melalui sistem celah rekahan.

Berdasarkan kemelimpahan bahan organik tipe lorong gua dibedakan menjadi (Gnaspini and Trajano 2000) :

1. **Oligotrofik** : yaitu gua atau lorong gua yang mempunyai kemelimpahan bahan organik dari hewan maupun tumbuhan yang sangat rendah
2. **Eutrofik** : yaitu gua atau lorong gua yang mempunyai kemelimpahan bahan organik sangat tinggi umumnya berasal dari hewan khususnya guano kelelawar
3. **Distrofik** : yaitu gua atau lorong gua yang kemelimpahan bahan organik banyak disuplai oleh bahan organik dari tumbuhan yang terbawa saat banjir
4. **Mesotrofik** : yaitu gua atau lorong gua yang kemelimpahan bahan organiknya berada di antara ketiga katagori diatas, yang biasanya dicirikan dengan jumlah bahan organik yang kemelimpahannya sedang
5. **Poecilotrofik** : yaitu gua yang kemelimpahan bahan organiknya berasal dari sumber yang berbeda-beda, dari oligotrofik-eutrofik

7.2.1 Biota Gua

Gua merupakan sebuah habitat bagi hewan-hewan baik vertebrata maupun invertebrata khususnya Arthropoda. Arthropoda merupakan penyumbang terbesar keanekaragaman biota di dalam gua. Kemelimpahan jenis maupun individu Arthropoda di dalam gua juga merupakan hal yang menarik dan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti ketersediaan bahan organik dan kemampuan adaptasi setiap takson terhadap lingkungan gua.

Biota gua mengalami adaptasi pada lingkungan gua. Beberapa ciri adaptasi ditunjukakan dengan perubahan morfologi biota gua. Proses perubahan morfologi biota gua dikenal dengan **troglomorfi.** Beberapa ciri troglomorfi ditunjukkan dengan:

1. Mereduksinya atau bahkan hilangnya organ penglihatan yang digantikan dengan perkembangnya organ perasa seperti memanjangnya antena atau organ lain seperti sepasang kaki paling depan pada Amblypygi.
2. Hilangnya pigmen tubuh sehingga tubuh berwarna putih meskipun tidak semua yang berwarna putih biota gua atau sebaliknya.

7.2.2 Pembagian Kategori Biota Gua Berdasarkan Tingkat Adaptasi

Adapun pembagian kategori biota gua berdasarkan tingkat adaptasi yaitu :

1. **Troglosen** : merupakan kelompok fauna gua yang menggunakan gua sebagai tempat tinggal dan secara periodik keluar dari gua untuk mencari pakan, tidak hanya tergantung pada lingkungan gua contoh : kelelawar
2. **Troglofil** : merupakan kelompok fauna gua yang seluruh daur hidupnya dihabiskan di dalam gua namun tidak sepenuhnya tergantung pada lingkungan gua. Kelompok ini beberapa masih bisa hidup dan ditemukan di luar gua. Contoh : Amblypygi dan Uropygi
3. **Troglobit** : merupakan kelompok fauna gua yang seluruh daur hidupnya tergantung pada lingkungan gua dan hidupnya sangat tergantung pada lingkungan gua. Kelompok ini sudah menunjukkan tingkat adaptasi yang tinggi pada lingkungan gua yang dicirikan dengan mereduksinya organ penglihatan, pemanjangan organ perasa (antena) dan depigmentasi
4. Untuk fauna akuatik lebih banyak menggunakan istilah : **Stigosen, stigofil dan stigobit**

7.3 Metode Pengukuran

Survai secara umum ditujukan untuk mendapatkan informasi kekayaan keanekaragaman biota gua yang paling besar dari variasi mikrohabitat yang paling banyak. Survai ini sangat dibutuhkan khususnya pada daerah-daerah kawasan karst yang belum banyak diteliti keanekaragaman biotanya. Sehingga hasil dari survai ini dapat dijadikan sebagai data dasar untuk penelitian berikutnya.

Survai biota gua secara umum menuntut kita untuk memilih gua yang berbeda sebanyak mungkin untuk setiap sistem hidrologi yang berbeda. Di dalam gua variasi habitat yang dikoleksi juga diharapkan sebanyak mungkin.

Dari hasil survai secara umum akan dihasilkan sebuah daftar spesies dengan catatan habitat, informasi populasi di habitat, sebaran lokal maupun regional, status suatu takson (endemik/kosmopolitan) serta status adaptasi suatu takson

(troglobit/troglofil/troglosen). Informasi-informasi ini sangat penting untuk pertimbangan konservasi kawasan karst dan gua.

7.3.1 Standarisasi

Agar data yang kita dapatkan dapat diperbandingkan, terkadang kita dituntut untuk melakukan koleksi secara standar dengan sebuah protokol yang tetap namun masih dapat menyesuaikan kondisi di lapangan. Standarisasi koleksi biota gua dapat dilakukan dengan beberapa cara:

1. **Standarisasi koleksi langsung**: Kita mencuplik sampel dalam jeda waktu yang sama atau pada permukaan gua dengan luasan yang sama, jumlah genangan air yang sama, atau pada jumlah batu yang sama.
2. **Standarisasi pitfall trap**: Gunakan ukuran botol yang sama, pengawet yang sama, lama waktu yang sama yang bervariasi dari 1-15 hari.
3. **Standarisasi ekstraksi Berlese:** dengan volume yang sama, dan perlu mencatat kondisi tanah atau substrat. Mungkin ini tehnik yang paling mudah untuk distandarisasi namun tidak selalu mudah pada setiap jenis habitat.

7.3.2 Tehnik koleksi

Teknik koleksi yang digunakan disesuaikan dengan target kelompok biota gua yang akan dikoleksi. Berdasarkan habitat, kelompok biota gua akuatik dan kelompok biota gua terestrial memiliki teknik koleksi tersendiri. Meskipun kedua kelompok tersebut mempunyai prinsip teknik koleksi yang hampir sama.

1. **Biota gua akuatik**

   Biota gua akuatik adalah kelompok biota yang tempat hidupnya di dalam perairan di dalam gua seperti di sungai bawah tanah, kolam-kolam seperti gourdam, dan genangan-genangan yang ada di lantai gua. Berikut contoh koleksi untuk biota gua akuatik:

   a. Koleksi langsung:

   Koleksi langsung menggunakan tangan merupakan salah satu metode koleksi yang paling mudah digunakan dan mempunyai kelebihan untuk memperoleh sebanyak-banyaknya biota gua yang ditemukan di dalam air. Koleksi langsung menggunakan tanggan memerlukan peralatan seperti vial, pinset, jaring kecil, sendok kecil atau kuas yang membantu untuk menangkap biota yang ada di dalam air. Sedangkan bahan yang diperlukan adalah Alkohol 96% dan kertas label yang tahan air.

   b. Perangkap umpan

   Koleksi menggunakan perangkap umpan bisa menggunakan botol akua yang dipotong dan ujungnya di balik. Di dalam botol bisa dimasukkan umpan

seperti bahan makanan yang berbau menyengat seperti keju, terasi yang dibungkus kain kasa.

2. Biota gua terestrial:

Biota gua terestrial adalah kelompok biota yang tempat hidupnya di daratan seperti di lantai gua, dinding gua dan atap gua. Kelompok ini mendominasi keanekaragaman biota di dalam gua. Berikut adalah teknik koleksi yang lazim digunakan:

a. Koleksi langsung

Koleksi dapat dilakukan langsung dengan tangan, kuas, pinset atau jaring ikan kecil untuk menangkap kelompok biota yang berukuran besar. Biota yang berukuran kecil seperti ekor pegas menggunakan kuas untuk menghindari kerusakan sehingga tidak menyulitkan untuk proses identifikasi. Pinset dapat digunakan untuk biota yang berukuran besar sedangkan beberapa kelompok biota dapat langsung ditangkap dengan tangan seperti jangkrik gua, kecoak gua, kalacemeti dan biota sejenisnya. Dalam penangkapan langsung dengan tangan kadang diperlukan sarung tangan untuk menghindari bisa dari gigitan atau sengatannya. Biota yang terkoleksi dimasukkan dalam vial berisi alkohol sebagai pengawet. Koleksi secara langsung lebih efektif untuk biota yang mempunyai populasi yang kecil, hidup di relung yang sulit dijangkau, dan sangat jarang dapat terkoleksi dengan perangkap sumuran atau contoh tanah. Koleksi langsung sangat bermanfaat untuk mengungkapkan kekayaan biota di dalam gua dan menambah keanekaragaman hasil koleksi dari perangkap sumuran dan contoh tanah. Karena beberapa kelompok troglobit tidak dapat terkoleksi dengan perangkap sumuran atau contoh tanah, dan hanya dapat terkoleksi secara langsung.

b. *Perangkap sumuran*

Perangkap sumuran sangat umum digunakan untuk penelitian ekologi fauna permukaan tanah. Perangkap sumuran hanya dapat menangkap fauna yang aktif di permukaan lantai gua/tanah. Sebagai alat perangkapnya dapat digunakan berbagai tipe botol dari yang ukuran diameter kecil sampai yang besar tergantung binatang yang dituju. Botol berdiameter kecil digunakan untuk mengumpulkan biota yang berukuran kecil seperti Collembola dan Coleoptera. Namun yang lazim digunakan adalah gelas plastik dengan diameter atas 7 cm, diameter bawah 5 cm dan tinggi 15 cm.

Langkah – langkah dalam penggunan perangkap sumuran. Gelas ditanam ke dalam lantai gua dengan permukaan gelas rata dengan permukaan tanah, kemudian diisi alkohol 70 % atau 96% sebanyak

sepertiga bagian gelas dan ditambah tiga tetes gliserin. Agar lebih efektif dan sesuai tabiat/perilaku Arthropoda maka perangkap sumuran diletakkan di dekat dinding gua. Di dalam setiap gua dapat dipasang beberapa perangkap sumuran tergantung tujuan penelitian namun biasanya pada setiap zona dapat dipasang 5 perangkap atau lebih, tergantung pada kondisi guanya. Kelemahan metode perangkap sumuran membutuhkan waktu dipasang di dalam gua selama 72 jam sehingga tidak efektif karena harus kembali ke gua yang sama untuk mengambil perangkap.

c. Perangkap umpan

Perangkap umpan dapat digunakan untuk menangkap biota gua yang hidup dengan menggunakan mangkok kecil yang ditanam di dalam tanah dan diberi umpan berupa makanan atau bahan yang berbau seperti keju, selai atau terasi. Perangkap umpan ditanam selam beberapa jam dan memiliki kelemahan harus kembali ke gua yang sama.

d. *Aspirator*

Aspirator digunakan untuk mengkoleksi biota yang berukuran sangat kecil dan sulit dikoleksi dengan pinset maupun kuas. Alat ini terbuat dari tabung/botol plastik atau gelas dengan dua batang pipa yang terpasang pada sumbat karet. Salah satu pipa ujunnya disambung dengan selang dari karet/plastik yang digunakan untuk menghisap dan ujung satunya yang berada dalam botol ditutup dengan saringan halus untuk mencegah masuknya binatang ke dalam mulut ketika menghisap binatangnya. Pipa satunya digunakan untuk mengarah dan mengkoleksi biota. Sangat disarankan tidak menggunakan aspirator di dalam gua-gua yang berguano karena dikhawatirkan menghisap spora jamur yang tidak tersaring.

7.3.3 Pengukuran paramater lingkungan

Parameter lingkungan yang diperlukan sebagai perbandingan di setiap zona dan dengan lingkungan luar gua adalah temperatur, kelembapan, intensitas cahaya, CO2 dan Oksigen terlarut di dalam air. Kelembapan dan temperatur diukur untuk tanah dan udara. Adapun ringkasan teknik koleksi biota gua dan parameter lingkungan secara sederhana dapat dilihat pada Tabel 7.1 berikut.

Tabel 7.1. Ringkasan Teknik Koleksi Biota Gua dan Parameter Lingkungan yang Diperlukan

Habitat	Metode Koleksi	Alat & Bahan	Parameter Lingkungan	Keterangan
Akuatik	Koleksi langsung	• Vial • Jaring kecil • Sendok kecil • Kuas • Alkohol 96% • Kertas label	• pH, • Temperatur • Dissolved Oxygen • Intensitas Cahaya	Untuk memperoleh biota gua akuatik yang khas, hindari sungai yang berasal dari permukaan. Perhatikan kolam-kolam yang berasal dari air tetesan.
	Koleksi umpan	• Botol • kain kasa • Keju atau terasi • Jaring kecil • Pinset		Letakkan umpan di dalam botol selama beberapa jam
Terestrial	Koleksi langsung	• Vial • Plastik kecil • Pinset • Jaring kecil • sarung tangan karet • Alkohol 96% • Kertas label	• pH tanah • Temperatur tanah • Kelembapan tanah • Temperatur udara • Kelembapan udara • Intensitas Cahaya	
	Perangkap sumuran	• Vial • Alkohol 96% • Kertas Label		Pemasangan 72 jam. Kelemahan harus kembali ke gua yang sama.
	Perangkap umpan	• Vial • Keju • Terasi • Pinset • Kuas • Alkohol 96%		Umpan bisa dipasang selama beberapa hari. Kelemahan: harus kembali ke gua yang sama
	Aspirator	• Aspirator • Vial • Alkohol 96%		Hindari penggunaan Aspirator di dalam lorong gua berguano

7.4 Karakter Genetik Fauna Endokarst

Dengan kondisi lingkungan yang khas, habitat endokarst dapat merupakan habitat terisolasi dan sangat berbeda dengan habitat diluar gua (eksokarst). Organisme yang hidup di dalam gua sudah mengalami adaptasi dalam waktu yang lama, sehingga potensi pembentukan spesies endemik dan spesies baru di kawasan ini tinggi. Hewan-hewan troglofil dan troglobion dalam beradaptasi dapat

mengalami perubahan morfologi, seperti berkurangnya sampai hilangnya mata atau organ sensori yang memanjang. Studi dna dapat lebih memperjelas apakah organisme yang ditemukan sudah berkembang menjadi suatu spesies baru ataukah masih dalam proses adaptasi

Keberadaan spesies sangatlah penting. Dengan mengetahui peran serta keterkaitannya dengan lingkungan karst dapat menunjukkan karakter kawasan serta dapat menjadi salah satu rujukan untuk menentukan status konservasi, fungsi keruangan, dan nilai pentingnya sebagai bagian kawasan secara keseluruhan. Hal ini juga dapat dimanfaatkan sebagai indikator perubahan atau kerusakan lingkungan.

Penyusunan basis data spesies dan karakter genetik (DNA) merupakan kegiatan penting dan belum banyak dilakukan untuk manajemen biodiveristas yang dapat menunjukkan nilai penting kawasan. Salah satu kelebihan dari basis data ini adalah dapat terhubung dan memanfaatkan platform database internasional yang berbasis web (*biocode informatics platform and biocode services*. Hal ini memudahkan untuk pengecekan spesies baru, memperluas studi ke arah filogeografi, dan membandingkan karakter kawasan dengan kawasan lain di dunia berdasarkan karakter biodiversitasnya.

7.4.1 Metode Karakter Genetik Fauna Endokarst

Penelitian 'karakter genetik fauna endokarst' di lapangan meliputi:

1. Koleksi fauna endokarst dan sampling dna.

   Koleksi spesimen dilakukan pada tiap area studi yang mewakili karakter lingkungan kawasan, dengan tetap mengutamakan prinsip konservasi dan perlindungan alam. Spesimen yang didapat kemudian akan diawetkan dan ditangani untuk proses identifikasi morfologi dan karakterisasi genetik.
2. Penanganan spesimen dna

   Spesimen untuk sampel dapat berupa spesimen utuh atau cuplikan jaringan. Pada saat mencuplik jaringan diusahan sedapat mungkin peralatan dalam kondisi steril sehingga tidak terjadi kontaminasi. Spesimen dna diawetkan dalam dua macam pengawet:
   a. Dengan ethanol murni/96%(p.a), spesimen harus terendam dalam ethanol. Setelah itu ethanol diganti beberapa kali, terutama bagi spesimen akuatik atau spesimen yang berukuran besar. Jika perlu specimen yang berukuran besar disuntik dengan ethanol sehingga bagian dalam tubuh terawetkan dengan baik.
   b. *Silica Gel* ukuran 60 mm. Ukuran maksimal spesimen kira-kira 5mm^3. Pastikan spesimen terbalut/tertanam dalam silica dengan sempurna
   c. Setiap botol spesimen diberi label sesuai dengan informasi pada saat pengambilan data.
   d. Mengisi *logbook* data penelitian.
3. Dilakukan pula pengambilan foto spesimen (dengan pembanding) beserta habitatnya untuk referensi dan dokumentasi.

Daftar Pustaka

Aljančič, G. *et al*. 2014. A survey of the distribution of *Proteus anguinus* by environmental dna sampling. Society for Cave Biology Kranj Slovenia. *Report Project*

Deharveng, L. 2002. The cave fauna of the oriental region: progress in knowledge and the gaps. *XVI International Symposium of Biospeleology Italy.* Abstract.

Deharveng, L. 2002. *Soil Arthropods: sampling design and sampling standardization*. Paper on Training Course of Invertebrate Taxonomy with special reference on less well known taxa. ARCBC-RC Biology LIPI. August 2002.

Deharveng, L. and Bedos, A. 2000. The Cave Fauna of Southeast Asia:Origin, evolution and Ecology in. Wilkens, H., Culver, D.C, and Humpreys, W.F. (eds), *Ecosystem of The World, Vol. 30: Subterranean Ecosystem*: Elsevier, Amsterdam: 603-631

Ferreira, R.L. and L.C.S Horta. 2001. Natural and human impacts on invertebrate communities in Brazilian Caves. *Rev. Brasil Biol. 61(1):7-17*

Gnaspini, P. and E. Trajano. 2000. Guano communities in tropical caves. Wilkens, H., Culver, D.C, and Humpreys, W.F. (eds), *Ecosystem of The World, Vol. 30: Subterranean Ecosystem*: Elsevier, Amsterdam: 251-268

Moreau, C.S. et al. 2013. DNA preservation: a test of commonly used preservatives for insects**.** *Invertebrates Systematics, 27: 81-86*

Rahmadi, C., Y.R. Suhardjono, J. Subagja. 2002. Komunitas Collembola Guano Kelelawar di Gua Lawa Nusakambangan, Jawa Tengah. *Biologi 2(14)*: 861-875

Rahmadi, Cahyo dan Y. R. Suhardjono. 2003. *Arthropoda gua di Nusakambangan, Cilacap Jawa Tengah*. Dalam. Jamal, Y dkk. (penyunting). Laporan Teknik Proyek Inventarisasi dan Karakterisasi Sumber Daya Hayati. Pusat Penelitian Biologi LIPI

Suhardjono, YR., Cahyo, R. and Deharveng,L .2001. Cave Fauna of Java. Symposium Biospeleology. Brazil. *Abstract*

Suhrdjono, Y.R. A. Suyanto, R. M. Marwoto dan C. Rahmadi (dalam persiapan). Fauna Kawasan Karst Maros. Pusat Penelitian Biologi LIPI. Bogor

Pokluda, P. *et al*. 2014. A goodby letter to alcohol: an alternative methods for field preservation of arthropod specimens and DNA suitable for mass collecting methods. *Eur. J. Entomol. 111(2): 175–179*

LAMPIRAN

Pedoman Praktis
Survei Terintegrasi Kawasan Karst

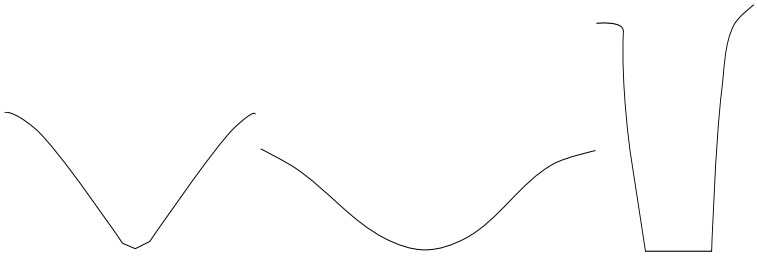
1. Lampiran Geodiversitas L1
2. Lampiran Hidrologi L4
3. Lampiran Biodiversitas L11
4. Lampiran Stratigrafi L20
5. Lampiran Speleologi
   A. Lampiran Identitas/Lokasi Gua L21
   B. Lampiran Identifikasi Morfologi dan Interior Gua L22
   C. Lampiran Pemetaan Gua L27
   D. Lampiran Peta dan Sketsa Lorong Gua L29
   E. Lampiran Gambar Cadas L30
   F. Lampiran Biota Gua L34
   G. Lampiran Sosekbud Sekitar Gua L35

1. Lampiran Geodiversitas

Nama ketua :				
Alamat :			Telepon :	
Tanggal survei :			Nama Perkumpulan:	
Data Geografi				
Dusun	Desa/Kelurahan	Kecamatan	Kabupaten	Provinsi
Terletak pada kawasan karst :				
Gunung terdekat :			Laut Terdekat :.....	
Akses dari Kecamatan terdekat :				
Jarak dari dusun : ..... Km			Jarak dari desa : ..... Km	
Ditempuh dengan ☐ Jalan kaki ☐ Kendaraan roda dua ☐ Kendaraan roda 4 ☐ Memanjat ☐ Lainnya				
Pendataan Doline				
Ketinggian : ..... Mdpl Bujur : ..... Lintang : ..... Panjang : ..... meter Lebar : ..... meter Kemiringan lereng: ..... ° atau ..... % Kedalaman: ..... meter				
Jenis Doline ☐ Solution Doline ☐ Collapse Doline ☐ Suffosion Doline ☐ Subsidance Doline ☐ Lainnya				
Bentuk Tampak Atas ☐ Lingkaran ☐ Memanjang ☐ Lainnya ..... Sketsa :				

Bentuk Penampang Melintang

☐ Corong ☐ Mangkuk ☐ Sumuran ☐ Lainnya .....



☐ Ada genangan ☐ Tidak ada genangan

☐ Terdapat lubang pengatus/ponor

Koordinat ponor : .....

Ketinggian ponor : ..... Mdpl

Diameter ponor : ..... m²

Dapat ditelusuri ? ☐ Ya ☐ Tidak

Sketsa :

Pendataan Bukit dan Menara Karst

Ketinggian : ..... Mdpl

Bujur : ..... Lintang : .....

Panjang : ..... meter Lebar : ..... meter

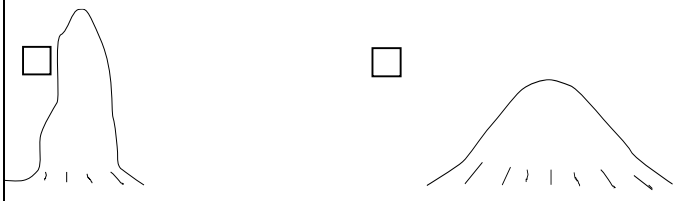
Kemiringan lereng: ..... ° atau ..... % Perkiraan Tinggi: ..... meter

Penampang Melintang

☐ ☐

Sketsa Penampang:

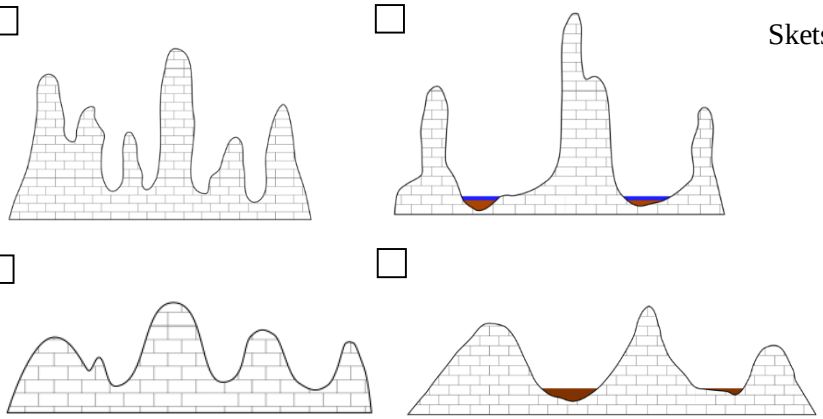
☐ ☐



Pola Sebaran

Mengelompok

☐ ☐ ☐ ☐



Sketsa Pola Sebaran

Pendataan Karren

Bentuk Melingkar

☐ Micropit ☐ Pits ☐ Hellprints atau tritkarren ☐ Shaft atau Sumuran

Ketinggian : ..... Mdpl

Bujur : ..... Lintang : .....

Panjang : ..... meter Lebar : ..... meter

Bentuk Lurus Terkontrol Rekahan

☐ Microfissures ☐ Splitkarren ☐ Grikes atau Klufkarren

Ketinggian : ..... Mdpl

Bujur : ..... Lintang : .....

Panjang : ..... meter Lebar : ..... meter

Bentuk Lurus Terkontrol Proses Hidrodinamik

☐ Microrills ☐ Rillenkarren ☐ Solutions Runnels ☐ Decantation Runnels

☐ Decantation Flutings ☐ Flutted Scallops atau Solutions Ripples

Ketinggian : ..... Mdpl

Bujur : ..... Lintang : .....

Panjang : ..... meter Lebar : ..... meter

Bentuk Poligenetik

☐ Karrenfeld ☐ Limestone Pavement ☐ Pinnacle Karst ☐ Coastal Karren

☐ Rainiform karst ☐ Corridor Karst atau Labyrinth Karst atau Grikeland

Ketinggian : ..... Mdpl

Bujur : ..... Lintang : .....

Panjang : ..... meter Lebar : ..... meter

2. Lampiran Hidrologi

Nomer pengukuran : .....

Nama sungai/mataair/sumur : .....

Bujur : ..... Lintang : .....

Dusun	Desa/Kelurahan	Kecamatan	Kabupaten	Kabupaten

Pengambil data : .....

Terletak pada kawasan karst : .....

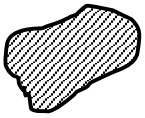
Ditempuh dengan ☐ jalan kaki ☐ kendaraan roda dua ☐ kendaraan roda 4

Air permukaan

Jenis aliran ☐ mataair ☐ sungai ☐ rawa ☐ danau doline
☐ waduk/bendungan ☐ lainnya .....

Sungai Permukaan ☐ mengalir sepanjang tahun ☐ periodik

Danau doline atau lokva

☐ diameter <10m	☐ diameter >10 m	☐ memanjang	
			arah : ..... °

Saat pendataan musim ☐ kemarau ☐ hujan

Kedalaman telaga ☐ tepi ☐ tengah

Mataair

Klasifikasi mataair berdasarkan periode pengalirannya

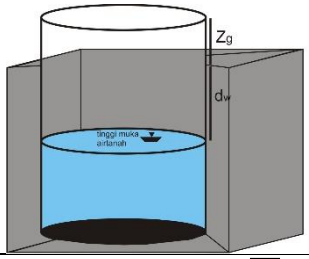
☐ perennial ☐ periodic ☐ intermitten ☐ pisodically flowing

Klasifikasi mataair berdasarkan struktur geologi

☐ bedding/contact ☐ fracture ☐ descending ☐ ascending

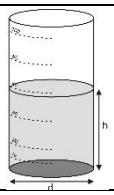
Klasifikasi mataair berdasarkan asal airtanah

☐ emergence ☐ resurgence ☐ exurgence

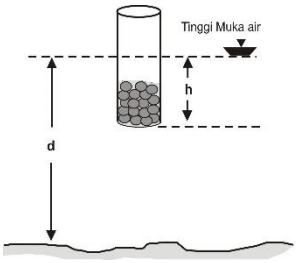
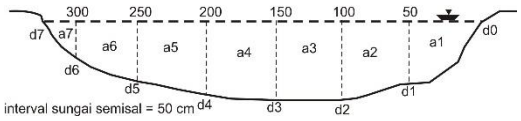
Daya hantar listrik	....µm/cm				
Suhu air	.....derajat C				
pH air	.....				
Sedimentasi	☐ tidak ada	☐ sedikit	☐ banyak sedimentasi		
Kondisi aliran	☐ tidak ada air	☐ kadang ada air	☐ selalu ada air saat musim kemarau		
Arah aliran	.....derajat				
Kerapatan drainase	☐ rendah	☐ sedang	☐ tinggi		
Penggunaan air	untuk mandi/mencuci	☐ tidak digunakan	☐ sedikit digunakan	☐ banyak digunakan	
Rasa air asin	☐ tawar	☐ agak payau	☐ payau	☐ asin	☐ sangat
Warna air	☐ tidak berwarna	☐ warna kemudaan	☐ warna keruh		
Bau airtanah	☐ tidak berbau	☐ agak berbau	☐ berbau busuk		
Airtanah					
Kedalaman sumur		Koordinat sumur ..... Ketinggian sumur (Zg) ..... mdpl Kedalaman sumur (dw) ..... mdpl			
Kondisi sumur saat musim kemarau	☐ tidak ada air	☐ ada air	☐ selalu ada air		
Jarak sumur terhadap Septik tank (searah aliran tanah) ☐ < 5	☐ 5-6 meter	☐ 10 meter			
Pemakain air sumur	☐ 1-2 KK	☐ 2-5 KK	☐ > 5 KK		
Daya hantar listrik	....µm/cm				
Suhu airtanah	.....derajat C				
pH airtanah	.....				
Rasa airtanah asin	☐ tawar	☐ agak payau	☐ payau	☐ asin	☐ sangat

Warna airtanah	☐ tidak berwarna	☐ warna kemudaan	☐ warna keruh
Bau airtanah	☐ tidak berbau	☐ agak berbau	☐ berbau busuk
Kondisi sanitasi disekitar	☐ banyak limbah	☐ limbah domstik	☐ tidak ada limbah
Penggunaan air untuk mandi/mencuci	☐ tidak digunakan	☐ sedikit digunakan	☐ banyak digunakan

Pengukuran debit aliran menggunakan Volumetrik

volumetrik 	Ketinggian air pada tabung (h) ..... m Diameter tabung (d) ..... m Lama pengisian (t) ..... s

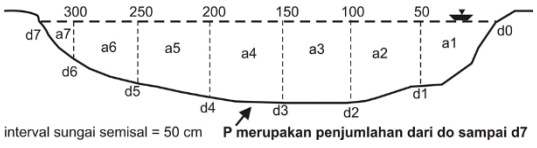
Pengukuran debit aliran menggunakan Velocity Area Methods

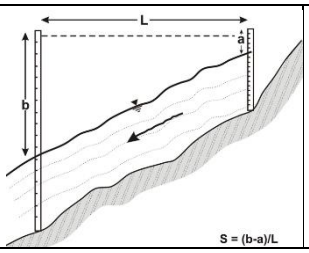
Kecepatan Aliran 	Kedalaman tangkai (h) ..... m Kedalaman air (d) ..... m
Penampang basah 	Sketsa di area penelitian

Kedalaman air (d)
d1 = ... m; d2 = ... m; d3 = ... m; d4 = ... m; d5 = ... m; d6 = ... m; d7 = ... ; dst

Interval pengukuran kedalaman .....

Pengukuran debit aliran menggunakan Slope Area Methods

Penampang basah 	Sketsa di area penelitian

Kedalaman air (d) d1 = ... m; d2 = ... m; d3 = ... m; d4 = ... m; d5 = ... m; d6 = ... m; d7 = ... ; dst	
Interval pengukuran kedalaman	
Keliling basah/panjang dasar penampang basah (P) ..... m	
Kemiringan permukaan air 	Tinggi permukaan air di hulu (a) ..... m Tinggi permukaan air di hilir (b) ..... m Jarak di hulu dan hilir (L) ..... m
Kondisi dasar sungai	
Material dasar ☐ tanah ☐ batu ☐ gravel halus ☐ gravel kasar	
Tingkat ketidakseragaman saluran ☐ halus ☐ agak halus ☐ sedang ☐ kasar	
Variasi penampang melintang saluran ☐ berangsur-angsur ☐ kadangkala berganti ☐ Sering berganti	
Pengaruh adanya bangunan, penyempitan dll pada penampang melintang saluran ☐ diabaikan ☐ agak berpengaruh ☐ cukup berpengaruh ☐ terlalu berpengaruh	
tanaman ☐ rendah ☐ sedang ☐ tinggi ☐ sangat tinggi	
Tingkat dasar meander ☐ rendah ☐ sedang ☐ tinggi	
Pengambilan sampel air	
Air Permukaan	nomer sampel : ..... lokasi sampel : ..... koordinat : .....
Airtanah/mataair	nomer sampel : ..... lokasi sampel : ..... koordinat : .....

Lampiran Metode Pengukuran Debit dengan Menggunakan Current Meter

Tanggal : .... Sungai : ....
Nomor current meter : .... Lokasi : ....
V =
Pengukuran mulai dari tepi kanan/kiri
Mulai pengukuran : .... jam Rata-rata M.A. =.....................
Akhir pengukuran : .... jam Luas penampang A = ...
Kecepatan rata-rata (v) : .... Debit (Q) = ...

Pengukuran					Perhitungan					Catatan
					Kecepatan m/dt					
Jarak dari titik awal m	Keda-laman	Peng-ukuran	Jumlah Putaran	Waktu detik	Pada titik	Rata-rata vertikal	Lebar (w) m	Area (a) m^2	Debit (q) m^3/dt	

Lampiran Metode Sudden Injection Dilution

Lokasi Pengukuran :

Waktu Pengukuran :

Panjang lintasan :

Kosentrasi sungai :

Kosentrasi larutan :

Volume larutan :

No	Interval Waktu (detik)	Kosentrasi (µmohs/cm)	No	Interval Waktu (detik)	Kosentrasi (µmohs/cm)

Lampiran Metode Constant Injection Dilution Method

Lokasi Pengukuran :

Waktu Pengukuran :

Panjang lintasan :

Kosentrasi sungai :

Kosentrasi larutan :

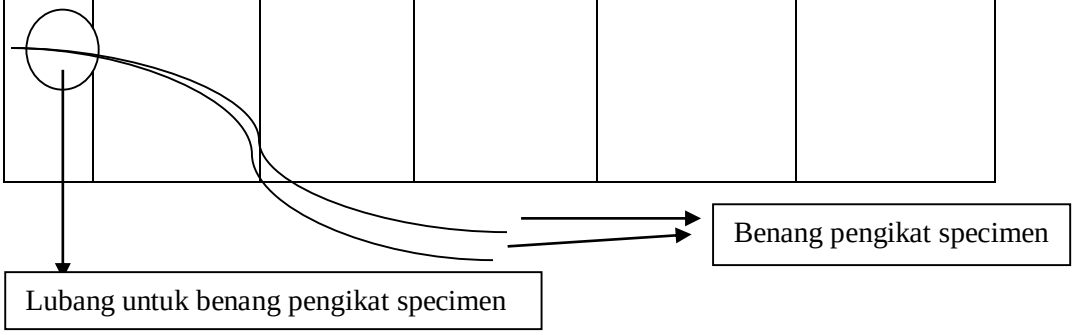
Debit pancuran :

No	Interval Waktu (detik)	Kosentrasi (µmohs/cm)	No	Interval Waktu (detik)	Kosentrasi (µmohs/cm)

3. Lampiran Biodiversitas

Tabel 1. PenomoranLokasiSpesimenTumbahan

	Tanggal Koleksi	Nomor Koleksi	Kolektor	Lokasi Koleksi	Nama Lokal



Penjelasan :

Tabel 1. Label specimen koleksi dari lapangan. Gunanya untuk menandai specimenn koleksi agar tidak tercampur dengan specimen lain ketika specimen dimasukkan bersama-sama dalam tempat koleksi (karung plastik). Label ini berukuran **10 cm X 3 cm**, berisi catatan tanggal koleksi, nomor koleksi, nama atau inisial kolektor, lokasi koleksi, anam lokal (kalau ada). Pada ujung label dilubangi untuk memasukkan benang tempat mengikat label pada specimen koleksi.

CatatanLapangan

Tanggal koleksi	**Nomor koleksi**	**Nama dan inisial kolektor**	**Lokasi koleksi**
Nama lokal		Nama suku /Nama marga	
Morfologi :			
Habitus			
Akar			
Bentuk batang			
Kulit batang			
Getah			
Daun			
Bunga			
Buah			
Biji			
Habitat			
Kondisi lahan			
Tekstur tanah			
Kondisi hutan			

Penjelasan :

Catatan lapangan disebut juga DESKRIPSI LAPANGAN atau PASPOR TUMBUHAN. Fungsinya untuk mencatat semua keterangan tentang tumbuhan yang specimennya dikoleksi yang meliputi tanggal koleksi, nama atau inisial kolektor, nomor koleksi dan semua ciri morfologi yang terlihat di lapangan, yang tidak akan terlihat pada saat tumbuhan itu telah menjadi herbarium. Satu specimen koleksi dicatat dalam **1 halaman kwarto atau folio** seperti tabel di atas. Form untuk Paspor tumbuhan dijilid dalam satu buku paspor tumbuhan untuk dibawa ke lapangan pada saat survei. Paspor tumbuhan digunakan untuk membantu identifikasi jenis tumbuhan di laboratorium.

- akar : akar papan/banir,tidak berbanir, akar lutut, akar nafas dsb.
- batang : batang sejati, batang semu, silindris, berlekuk
- kulit batang: licin, beralur, mengeripik, bopeng.
- warna kulit batang : coklat, abu-abu, hijau, kuning dsb.
- getah : bergetah/tidak bergetah, warna bening, merah, putih susu, dsb
- percabangan :monopodial, sympodial,ranting tegak, mendatar, terkulai.
- daun : warna bawah/atas daun, licin, berbulu panjang, pendek, halus,kasar
- bunga : tunggal/majemuk, warna bunga segar, bau
- buah : warna kulit buah mentah/masak, warna daging buah masak, rasa daging buah (asam, manis, pedas, tawar, sepat).
- biji : besar, kecil, warna biji segar.

HERBARIUM MULAWARMAN (SHMU)

LABORATORIUM DENDROLOGI DAN EKOLOGI HUTAN

FAKULTAS KEHUTANAN UNIVERSITAS MULAWARMAN

SAMARINDA, KALIMANTAN TIMUR

Family :

Species :

No. : Date:

Collector(s) :

Locality :

Latitude :

Longitude :

Altitude :

Habitat :

Local name :

Habit :

Description : .

Determinated by : Date:

Duplicates sent to .:

Please notify HERBARIUM MULAWARMAN (SHMU)of new identification of this specimen

Penjelasan :

Label herbarium adalah label yang ditempel pada koleksi herbarium yang telah diproses dan ditempel pada kertas herbarium yang berukuran 30 X 40 cm. Label herbarium beukuran **14-15 X 10 cm**, berisi data koleksi seperti nomor koleksi, tanggal koleksi, kolektor, ketinggian tempat, dan deskripsi morpologi tumbuhan yang diambil dari paspor tumbuhan dan nama pendeterminasi tumbuhan. Label ini dipasang pada kanan bawah specimen herbarium dengan mengelem bagian kanan sedan bagian kiri tidak di lem. Semua ciri morfologi dicatat dalam deskripsi tumbuhan dalam bentuk kalimat singkat.

- Masukkan spesimen herbarium ke species folder. Tulis nama ilmiah spesies, kolektor dan lokasi pengambilan koleksi di species folder.
- Masukkan species folderke dalam genus folder yang berisi beberapa sampel dari satuspesies maupun beberapa jenis dalam satu genus tersebut. Tulis nama familia, nama ilmiah species dan kawasan/pulau tempat koleksi di label kawasan.
- Simpan herbarium diurutkan sesuai abjad familia, genus, species, kawasan. Herbarium yang mempunyai urutan abjad lebih awal diletakkan di atas.

Tabel 1. Tally Sheet Untuk Data Analisis Vegetasi Tingkat Pohon

Data Survei Vegetasi Tingkat Pohon

Tanggal : .... No Jalur : ....

Lokasi Survei : .... Arah Jalur : ....

Letak Jalur : Lembah/Lereng/Punggungan Bukit Kelerengan : .... %

No subplot	**No pohon**	**Jenis (nama ilmiah)**	**Nama lokal**	**D (cm)**	**TBC (m)**	**TT (m)**	**Posisi Pohon**	
							X	Y

Penjelasan:

a. Tanggal adalah tanggal saat melaksanakan survei vegetasi Lokasi survei adalah nama tempat dimana dilakukan survei
b. Nomor Jalur adalah nomor salah satu jalur yang dibuat sepanjang 1 km atau sesuai kondisi lapangan
c. Letak jalur adalah letak jalur yang dibuat pada lembah, lereng atau punggung bukit Arah jalur adalah arah berdasarkan kompas
d. Kelerengan adalah diukur dalam % dengan menggunakan klinometer
e. No subplot = adalah nomor subplot bujur sangkar yang berukuran 10 m X 10 m diberi nomor urut dari nomor 1 sampai 100 (plot terakhir dalam jalur).
f. Nomor pohon = adalah nomor untuk semua pohon yang masuk dalam subplot dan diberi nomor urut dari nomor satu sampai nomor pohon terakhir yang ditemukan dalam subplot yang ke 100 secara bersambung
g. Jenis = Jenis dicatat menurut nama ilmiah yang di ktetahui
h. Nama lokal = nama lokal dari penduduk setempat yang dibawa survei
i. D (KL) = Diameter atau keliling diukur dalam satuan cm.
j. TBC = tinggi bebas cabang merupakan tinggi pohon sampai pada cabang pertama diukur atau ditaksir dalam satuan meter (M).
k. TT = Tinggi total adalah tinggi sampai puncak tajuk pohon diukur atau ditaksir dalam satuan meter (M).
l. Posisi pohon adalah letak pohon dalam suatu subplot dimana garis rintisan sebagai sumbu Y dan garis tegak lurus jalur pada titik awal jalur dalam subplot tersebut sebagai sumbu X. Bidang

Tabel 2 Tally Sheet Untuk Vegetasi Tingkat Pancang

Data Survei Vegetasi Tingkat Pancang

Tanggal : ..... No Jalur : .....

Lokasi Survei : ..... Arah Jalur : .....

Letak Jalur : Lembah/Lereng/Punggungan Bukit Kelerengan : ..... %

No subplot	No Pancang	Nama Jenis (nama ilmiah)	Nama lokal	N	Keterangan

Penjelasan :

a No subplot = adalah nomor subplot bujur sangkar yang berukuran 5 m X 5 m diberi nomor urut dari nomor 1 sampai 100 (plot terakhir dalam jalur).

b Nomor pancang = adalah nomor untuk semua pancang, semak , terna dan bentuk pertumbuhan lainnya yang tingginya di atas 1.5 m dan diameter setinggi dada di bawah 10 cm yang masuk dalam subplot dan diberi nomor urut dari nomor satu sampai nomor pohon terakhir yang ditemukan dalam subplot yang ke 100 secara bersambung

c Jenis = Jenis dicatat menurut nama ilmiah yang diktetahui

d Nama lokal = nama lokal dari penduduk setempat yang dibawa survei

e N = jumlah individu tiap jenis tumbuhan yang ditemukan dalam subplot berukuran 5 m X 5 m tersebut

Tabel 3 Tally Sheet Untuk Vegetasi Tingkat Semai

Data Survei Vegetasi Tingkat Semai

Tanggal : ..... No Jalur : .....

Lokasi Survei : ..... Arah Jalur : .....

Letak Jalur : Lembah/Lereng/Punggungan Bukit Kelerengan : ..... %

No subplot	No Semai	Nama Jenis (nama ilmiah)	Nama lokal	N	Keterangan

Penjelasan :

a No subplot = adalah nomor subplot bujur sangkar yang berukuran 1 m X 1 m diberi nomor urut dari nomor 1 sampai 100 (plot terakhir dalam jalur).

b Nomor semai = adalah nomor untuk semua semai, perdu , terna dan bentuk pertumbuhan lainnya yang tingginya di bawah 1.5 m yang masuk dalam subplot dan diberi nomor urut dari nomor satu sampai nomor pohon terakhir yang ditemukan dalam subplot yang ke 100 secara bersambung

c Jenis = Jenis dicatat menurut nama ilmiah yang di ktetahui

d Nama lokal = nama lokal dari penduduk setempat yang dibawa survei

e N = jumlah individu tiap jenis tumbuhan yang ditemukan dalam subplot berukuran 1 m X 1 m tersebut.

4. Lampiran Stratigrafi

STRATIGRAFI TERUKUR

SKALA :

Diukur oleh :
Proyek :
Tanggal :

Lokasi :
Titik Awal Pengukuran :
Titik Akhir Pengukuran :

LEGENDA

KOORDINAT	KETEBALAN	LITOLOGI	BATUGAMPING													STRUKTUR SEDIMEN	STRIKE DIP	DESKRIPSI	NOMOR SAMPEL	NOMOR FOTO	KETERANGAN
			LEMPUNG			PASIR				GRAVEL											
			lempung	tanah	mudstone/claystone	lanau/siltstone	halus	sedang	kasar	sangat kasar	verbioli	kerakal	bongkah	bongkah	mud wacke pack grain float rud						

5. Lampiran Speleologi

A. Identitas/Lokasi Kajian

Nama ketua pendata gua :	
Alamat :	Telepon :
Tanggal penelusuran/survei :	Nama Perkumpulan:
Nama Penunjuk jalan :	
Alamat :	
Kegiatan ini mendapatkan izin/ rekomendasi dari : ..... Tujuan penelusuran gua/survei : ..... Nama kegiatan	
Data Geografi	
Nama Gua :	Sinonim : .....
Bujur :	Lintang : .....

Dusun	Desa/Kelurahan	Kecamatan	Kabupaten	Provinsi

Terletak pada kawasan karst :	
Gunung terdekat :	Laut Terdekat :.....
Ketinggian dari permukaan laut : ..... Mdpl	
Akses dari Kecamatan terdekat :	
Jarak dari dusun : ..... Km	Jarak dari desa : ..... Km
Ditempuh dengan ☐ Jalan kaki ☐ Kendaraan roda dua ☐ Kendaraan roda 4 ☐ Memanjat ☐ Lainnya	

B. Lampiran Identifikasi Morfologi dan Interior Lorong Gua

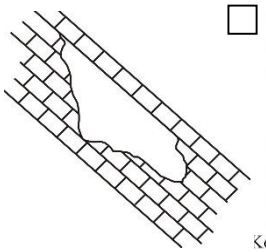
Chamber dan Shaft				
Chambers	☐ proses runtuhan		☐ pertemuan lorong vertikal/horizontal	
	☐ kondisi lorong yang sempit		☐ lainnya	
Shaft	☐ avent	☐ canyon	☐ chimney	☐ multipitch
	☐ single pitch		☐ Lainnya	
	☐ terbentuk pada lembah/doline		☐ runtuhan	☐ perubahan muka airtanah
	☐ adanya pengangkatan		☐ lainnya	

Kontrol yang berpengaruh

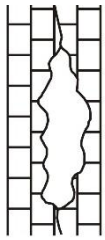
Kontrol struktural

☐ ☐ ☐

Kontrol kekar pada bidang horizontal



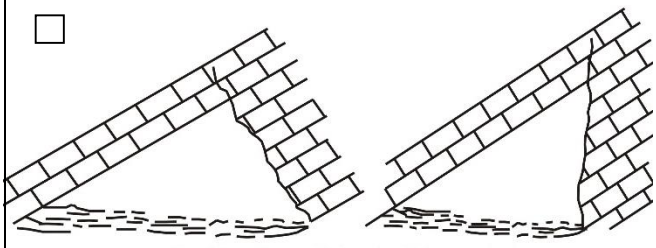
Kontrol perlapisan pada bidang miring



Kontrol perlapisan pada bidang vertikal

Keterangan .....

☐

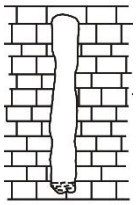


Kombinasi kontrol kekar dan bidang perlapisan

☐ Sketsa lainnya ...

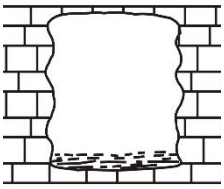
Kontrol hidraulik

☐



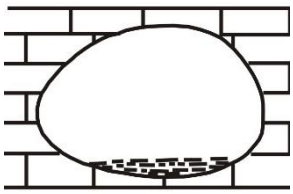
Canyon

☐

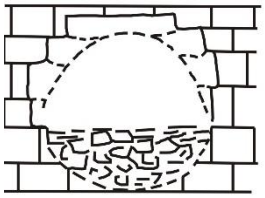


Rectangular passage : wide canyon

☐ Sketsa lainnya .....

☐ 

Elliptical tube

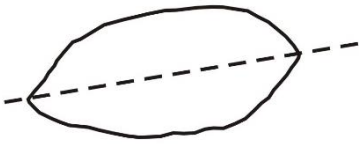
☐ 

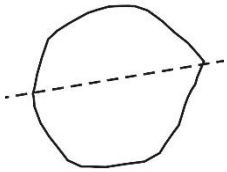
Rectangular passage : modified tube

☐ Keterangan .....

Kondisi freatik

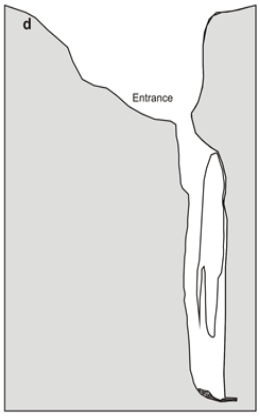
☐ Laminer ☐ elipsoid ☐ melingkar

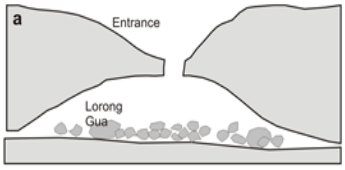


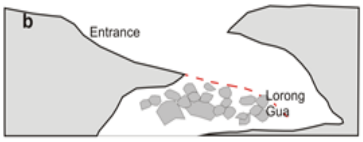


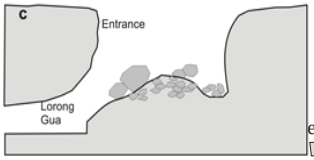
Lebar : ..... m; tinggi:..... m; rasio : ..... m/m

Mulut gua :

☐ 

☐ 

☐ 

☐ 

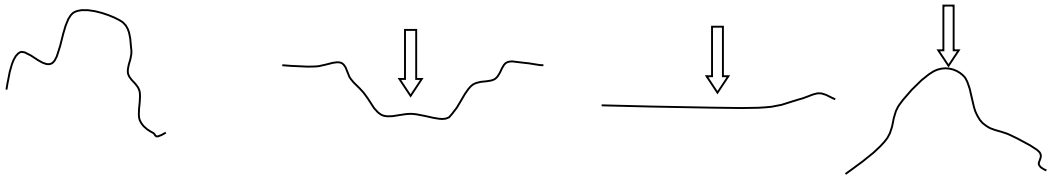
☐

☐ Sketsa lainnya ..... Keterangan .....

Lebar : ..... m ; tinggi atap : ..... m; perimeter : ..... m ;
Arah lorong : ..... derajat; ketinggian : ....mdpl ; koordinat : .....

Letak mulut gua :

☐ Tebing ☐ cekungan ☐ dataran ☐ puncak



☐ sisi bukit ☐ lainnya.....

Panjang gua	_____ m			
Kedalaman gua	_____ detik/m			
Keterangan	☐ prediksi	☐ hasil perhitungan		
vegetasi sekitar	☐rapat	☐jarang	☐gundul	
Terdiri dari :				
Gua ini	☐ kering	☐berair	☐ berair pada tempat-tempat	
Berupa	☐hutan	☐ semak belukar	☐rumput	☐ lahan gundul
Jenis gua	☐ horizontal	☐ vertikal	☐ vertikal & horizontal	
Kategori	☐gua	☐ceruk	☐celah bukit	☐collapse doline
Runtuhan	☐ block	☐ slab	☐ plate	☐ chip
Bentuk lorong	☐ elliptical	☐ rectangular	☐ shaft	☐ chambers
	☐ celling half-tube	☐ canyo	☐ keyhole	☐goerge
	☐ lainnya			

Morfologi lorong	Bentuk 1	Bentuk 2	Bentuk 3	Bentuk 4	Bentuk 5 .....
Bentuk					
Ukuran					
Stasiun					

Speleogen	☐ cupola	☐ solutions pocket	☐ solutions notch	☐ scallops	
	☐ menadering	☐ pendant	☐ anastomosis	☐ otholes	
	☐ flutes	☐ cups/pits			
	☐ Lainnya				
Posisi	☐ di atap	☐ di dinding	☐ di lantai	☐ di speleothem	
Speleogen	Bentuk 1	Bentuk 2	Bentuk 3	Bentuk 4	Bentuk 5 .....
Bentuk					
Ukuran					
Kerapatan					
Posisi					
Speleothem					
Dripstone	☐ stalagtite	☐ stalagmit	☐ pillar/collum	☐ sodastraw	
Posisi	☐ di tepi lorong	☐ tengah lorong	☐ memotong lorong		
Dripstone	Bentuk 1	Bentuk 2	Bentuk 3	Bentuk 4	Bentuk 5 .....
Bentuk					
Ukuran					
Kerapatan					
Posisi					
Flowstone	☐ canopy	☐ shields	☐ drapery		
Posisi :	☐ di atap	☐ di dinding	☐ dekat lantai		
Flowstone	Bentuk 1	Bentuk 2	Bentuk 3	Bentuk 4	Bentuk 5 .....
Bentuk					
Ukuran					
Posisi					
Rhimestone	☐ gourdam	☐ microgourdam			
Posisi :	☐ tengah lorong	☐ di dinding	☐ di perpotongan lorong		

Rhimestone	Bentuk 1	Bentuk 2	Bentuk 3	Bentuk 4	Bentuk 5 .....
Bentuk					
Ukuran					
Posisi					
Exentric	☐ Oolith	☐ pisolith	☐ helaktit	☐ helegmit	☐ shelfstone
Posisi :	☐ di tepi lorong	☐ tengah lorong	☐ memotong lorong		
Exentric	Bentuk 1	Bentuk 2	Bentuk 3	Bentuk 4	Bentuk 5 .....
Bentuk					
Ukuran					
Kerapatan					
Posisi					

Potensi Hidrologi

Inlet ..... ml/dtk/mnt

Aliran ☐ diffuse/rembesan/tetesan ☐ rekahan/Fracture

Static Pool

Dimensi ..... m^2

Volume ..... m^3

Aliran Sungai/Conduit

Dimensi sungai ..... m^2

Kecepatan aliran ..... m/det

Sketsa dimensi sungai

Perkiraan debit air ..... m³/det				
Saat penghitungan	☐ hujan	☐ tak hujan	☐ hujan 12 jam lalu	☐ musim kemarau
Menurut penduduk setempat, gua ini	☐ tak pernah banjir	☐ sering	☐ tak tahu	
Air berasal	☐ tetesan perlokasi	☐ sungai vadose	☐ sungai permukaan	☐ campuran
Perkiraan kawasan tadah hujan : _____ km				
Keadaan air	☐ jernih	☐ keruh	☐ lain-lain	
Air Terjun	☐ ada	☐ tidak ada		

C. Lampiran Pemetaan Gua

Data hasil pengukuran pemetaan lorong gua di catat dalam kolom-kolom pemetaan gua yang tersedia dalam lembar pengambilan data gua

Stasiun		Jarak	Kompas	Klino	Tinggi Atap		Lebar		Irisan Gua		
					↑	↓	←	→	Depan	Samping	Atas
0	1										
1	2										
2	3										
dan seterusnya											

Keterangan:

1. Stasiun dibagi menjadi dua kolom. Kolom pertama merupakan stasiun dimana shooter berada, kolom kedua merupakan tempat stationer berada. Stasiun ditulis dengan angka sedangkan substasiun dinyatakan dengan angka yang diikuti oleh huruf
2. Jarak berupa jarak miring (jarak sebenarnya) yang diukur di antara dua stasiun
3. Kompas diisikan azimut yang pengukurannya dilakukan oleh shooter
4. Klino merekam sudut kemiringan antara dua stasiun, dengan stasiun yang digunakan adalah derajat. Angka yang lebih besar dari 0 ditulis sebagaimana adanya, tetapi angka minus/negatif (-) harus dicantumkan di depan setiap angka yang terbaca di bawah 0
5. Tinggi atap terdapat dua kolom, yang pertama merupakan tinggi atap (↑) yang berisikan data yang menujukan ketinggian atap dari lantai gua, kolom kedua

merupakan tinggi stasiun (↓). Sedangkan lebar lorong berupa kanan (→) dan kiri (←), yang diukur jaraknya dari titik stasiun ke dinding kiri dan kanan gua.

6. Irisan/sketsa lorong gua berupa tampak atas, tampak samping dan tampak depan, irisan ini di serta dengan simbol-simbol yang mewakili kondisi lorong gua berupa, ornamen, sedimen, dan lainnya
7. Irisan tampak atas terdiri dari unsur-unsur titik stasiun beserta angkanya, garis tengah yang menjadi penghubung antara titik-titik stasiun, garis lebar lorong kiri dan kanan, garis luar dinding gua kiri dan kanan, dan simbol-simbol
8. Irisan tampak samping berisi rekaman tentang bentuk, serta kondisi lantai dan atap gua yang terdiri dari unsur-unsur titik stasiun disertai simbol dan angka, garis lantai dan atap lorong, dan gambar yang menerangkan kondisi lorong ketika terlihat dari samping
9. Irisan tampak depan dibuat di setiap titik stasiun dan di suatu tempat di antara dua titik bila dirasa perlu, yang mempertimbangkan proporsi tinggi dan lebar lorong gua.

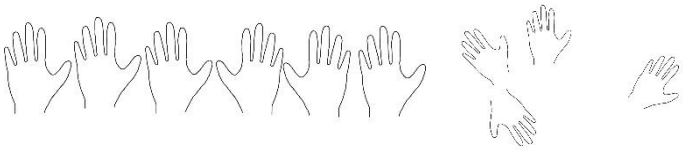
D. Lampiran Peta/Sketsa Gua

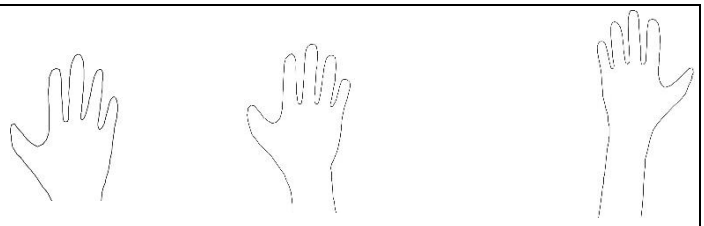
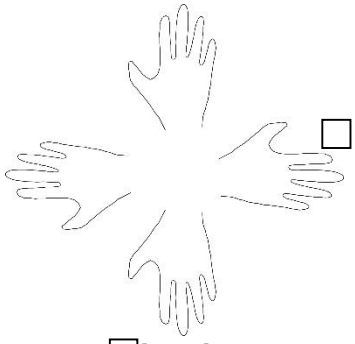
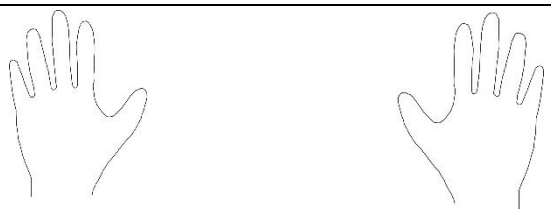
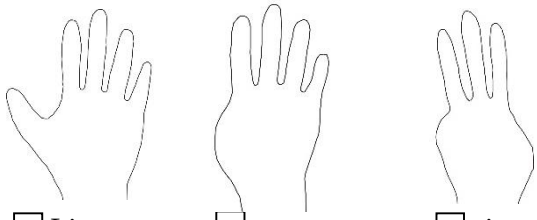
Tim Survei : _____ Tahun : _____

Nama Gua : _____ Grade Pemetaan : _____

Administrasi : _____ Ketinggian : _____

E. Lampiran Gambar Cadas

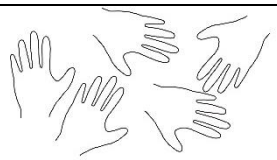
Pola Gambar Cadas	
ketinggian gambar terhadap lantai	☐ 0-1 m ☐ 1-2 m ☐ 2-5 m ☐ >5 m
Warna	☐ cokelat ☐ merah ☐ hitam ☐ lainnya .....
Teknik penggambaran	☐ teknik pahat ☐ teknik lukisan/kuas ☐ lainnya .....
Bentuk	☐ titik ☐ garis berkesinambungan ☐ garis terputus ☐ lingkaran ☐ persegi panjang ☐ lainnya .....
Motif	☐ figuratif (manusia, hewan, dan tumbuhan dll) ☐ non figuratif (lingkaran, oval, geometris, kisi-kisi dll) ☐ lainnya .....
Lokasi	☐ dinding ☐ atap gua ☐ bongkahan batuan ☐ ornamen gua ☐ lainnya.....
Ukuran	.....
Identifikasi Gambar Tangan	
Kondisi gambar	☐ jelas ☐ tidak jelas
Susunan gambar	 ☐ linier/horizontal ☐ tidak beraturan ☐ tunggal

Bagian tangan	 ☐ telapak ☐ telapak hingga pergelangan ☐ telapak hingga lengan
Orientasi tangan	☐ atas kiri ☐  ☐ kanan ☐ bawah
Sisi tangan	 ☐ tangan kiri ☐ tangan kanan
Jumlah jari	 ☐ Lima ☐ empat ☐ tiga ☐ tidak jelas
Ukuran gambar tangan	☐ esar (lebar 10-12 cm, panjang 18-22 cm) ☐ ecil (lebar 6-8 cm, panjang 10-14 cm)

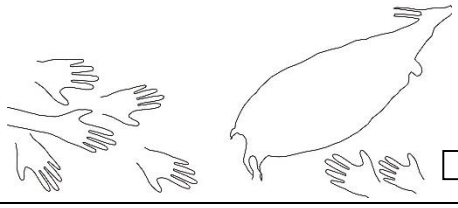
Warna gambar	☐ cokelat	☐ merah	☐ hitam	☐ lainnya .....

Konteks gambar

☐ konteks kosong



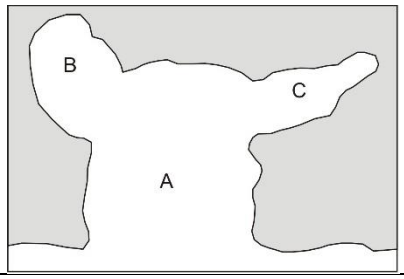
☐ sesama gambar tanga



☐ sesama gambar hewan

Lokasi Gambar Tangan

ruangan gua



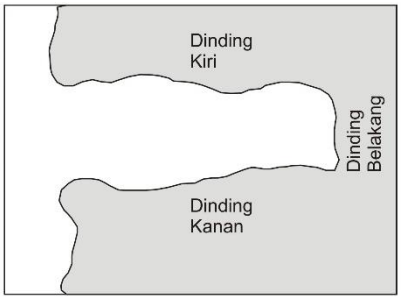
A ☐

B ☐

C ☐

Lainnya ☐

dinding gua



dinding kiri ☐

dinding kanan ☐

belakang ☐

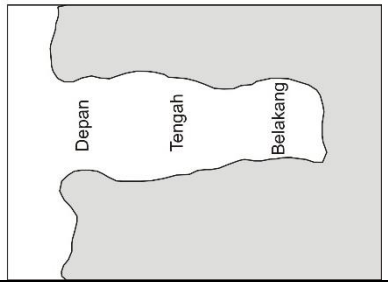
atap gua ☐

ornamen gua ☐

bongkahan batuan ☐

lainnya .....

bagian gua



depan ☐

tengah ☐

belakang ☐

POTENSI ARKEOLOGIS
Deskripsi umum
Catatan lengkap tentang sampel yang diambil/*test pit* yang dibuat
Rekomendasi

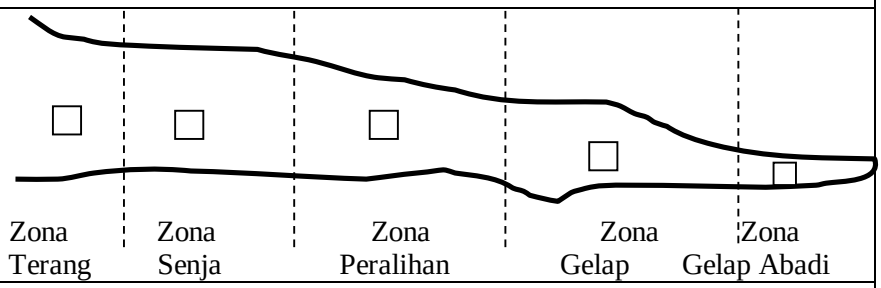
F. Lampiran Biota Gua

Zonasi

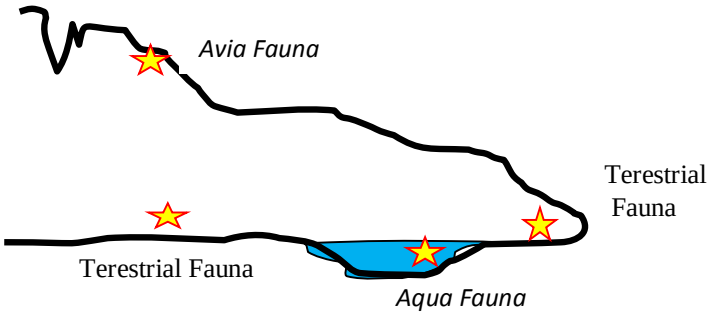
Suhu : ..... °C pH tanah : .....

Intensitas cahaya : .....

Kelembapan tanah : ..... mBar Kelembapan udara :..... mBar



Fauna Gua



Avia Fauna ☐ kelelawar ☐ walet ☐ sriti ☐ burung hantu

Teresterial Fauna

☐ serangga ☐ kumbang ☐ artropoda ☐ amblipygi

☐ kumbang cecak/tokek ☐ katak ☐ jangkrik ☐

☐ diplopoda ☐ laba-Laba ☐ lainnya .....

Aqua Fauna

☐ Ikan : ☐ lele ☐ wader ☐ mujahir ☐ sidat

☐ Udang	: ☐ kecil	☐ sedang	☐ besar
☐ Kepiting	: ☐ transparan	☐ kecoklatan	☐ kemerahan
Flora Gua			
☐ etiolasi	☐ jamur	☐ cendawan	
Posisi :	☐ area entrance	☐ tengah lorong	☐ ujung lorong
Letak :	☐ atap	☐ dinding	☐ lantai
	☐ menempel pada		
.....			
Kondisi guano ☐ ada ☐ tidak ada ☐ basah ☐ kering ☐ banyak ☐ sedikit			

G. Lampiran Sosekbud Sekitar Gua

Status kepemilikan tanah lindung	☐ perorangan	☐ negara	☐ hutan
	☐ taman nasional	☐ lain-lain.....	
Gua ini telah dikenal	☐ ya	☐ tidak dikenal	
Oleh penelusur	☐ penduduk setempat	☐ pemerintah daerah	☐ kalangan
	☐ wisatawan luas	☐ instansi	
Gua ini telah dipetakan	☐ ya	☐ belum dipetakan	
Fasilitas listrik	☐ ada	☐ belum ada	
Air bersih ada	☐ sangat mudah	☐ sulit	☐ tidak
Pemanfaatan gua saat ini	☐ irigasi	☐ sumber air bersih	☐ sarang walet
	☐ fosfat	☐ obyek wisata	☐ tempat ziarah ☐ lainnya
Mata pencaharian rakyat setempat			
Gua ini	☐ dijaga	☐ tidak dijaga	

Nama juru kunci .....
Alamat .....
Gua ini memiliki legenda ☐ ya ☐ tidak
Uraian :
Narasumber .....
Peninggalan dalam gua : ☐ ada ☐ tidak ada
Berupa :
Jenis penggunaan lahan ☐ hutan ☐ sawah ☐ tegalan ☐ pemukiman ☐ Lainnya
Gambaran umum vegetasi
Gambaran sumber air terdekat (jenis/jarak/arah/aksesibilitas/kualitas/kuantitas):
Indikasi/ancaman kerusakan lingkungan sekitar gua

Evaluasi Gua
Tingkat kesulitan gua ☐ sangat mudah ☐ mudah ☐ sedang ☐ sulit ☐ sangat sulit penyebab .....
kerusakan gua ☐ pencoretan ☐ pematahan ornamen ☐ tidak ada ☐ lain- lain .....
Gua ini punya nilai strategis ☐ ya ☐ tidak Uraian
Daya dukung gua ☐ <10 orang ☐ < 100 orang ☐ <10.000 Keterangan .....
Bahaya antroposentris ☐ mudah runtuh ☐ gas beracun ☐ binatang berbisa ☐ banjir ☐ licin ☐ tenggelam ☐ udara sedikit ☐ lain-lain .....
Kepekaan gua ini karena ☐ banyak dekorasi ☐ banyak fauna gua ☐ Ada air ☐ ada peninggalan purbakala ☐ gua peka kerusakan ☐ lain-lain .....

KELOMPOK STUDI KARST
FAKULTAS GEOGRAFI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

KEHATI
Biodiversity Conservation Trust Fund

TFCA
KALIMANTAN

Badan Penerbit Fakultas Geografi (BPFG)
Universitas Gadjah Mada

Alamat :
Perpustakaan Fakultas Geografi UGM
Jl. Kaliurang, Sekip Utara, Yogyakarta 55281
Telp. (0274) 6492340, Fax. (0274) 589595
Website : www.geo.ugm.ac.id, Email : geografi.ugm.ac.id

View publication stats