



BRIN  
BADAN RESET  
DAN INOVASI NASIONAL



ACINTYAÇUNYATA  
SPELEOLOGICAL CLUB

# STASIUN NOL:

TEKNIK-TEKNIK PEMETAAN DAN SURVEI HIDROLOGI GUA

Erlangga Esa Laksana



tidak diperjualbelikan

# STASIUN NOL:

TEKNIK-TEKNIK PEMETAAN DAN SURVEI HIDROLOGI GUA



Buku ini tidak diperjualbelikan.

Diterbitkan pertama pada 2022 oleh Penerbit BRIN

Tersedia untuk diunduh secara gratis: [penerbit.brin.go.id](http://penerbit.brin.go.id)



Buku ini di bawah lisensi Creative Commons Attribution Non-commercial Share Alike 4.0 International license (CC BY-NC-SA 4.0).

Lisensi ini mengizinkan Anda untuk berbagi, mengopi, mendistribusikan, dan mentransmisi karya untuk penggunaan personal dan bukan tujuan komersial, dengan memberikan atribusi sesuai ketentuan. Karya turunan dan modifikasi harus menggunakan lisensi yang sama.

Informasi detail terkait lisensi CC-BY-NC-SA 4.0 tersedia melalui tautan: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

# STASIUN NOL:

TEKNIK-TEKNIK PEMETAAN DAN SURVEI HIDROLOGI GUA

ERLANGGA ESA LAKSMANA



Penerbit BRIN

Buku ini tidak diperjualbelikan.

© 2022 Erlangga Esa Laksana

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Stasiun Nol: Teknik-Teknik Pemetaan dan Survei Hidrologi Gua/Erlangga Esa Laksana-  
Jakarta: Penerbit BRIN, 2022.

xxvi + 373 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISBN 978-602-74744-0-6 (cetak)

978-623-8052-19-6 (e-book)

- |              |                  |
|--------------|------------------|
| 1. Gua       | 2. Speleologi    |
| 3. Ilmu Bumi | 4. Gua Indonesia |

551.447

*Copy editor* : Sarah Fairuz  
*Proofreader* : Emsa Ayudia Putri dan Prapti Sasiwi  
*Penata isi* : S. Imam Setyawan  
*Desainer sampul* : S. Imam Setyawan  
*Foto* : Husain M

*Cetakan pertama* : Desember 2005  
*Cetakan kedua* : September 2016  
*Cetakan edisi revisi* : Desember 2022

Diterbitkan oleh:



Penerbit BRIN, anggota Ikapi  
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah  
Gedung B.J. Habibie, Jl. M.H. Thamrin No.8,  
Kb. Sirih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,  
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340  
*E-mail*: penerbit@brin.go.id  
*Website*: penerbit.brin.go.id

 PenerbitBRIN  
 Penerbit\_BRIN  
 penerbit\_brin

Bekerja sama dengan:

Acintyaçünyatâ Speleological Club (ASC)  
Jl. Kusumanegara No.278, Jomblangan, Banguntapan,  
Kec. Kotagede, Kota Yogyakarta,  
Daerah Istimewa Yogyakarta 55171



Buku ini tidak diperjualbelikan.

# Daftar Isi

Daftar Isi.....	v
Daftar Gambar.....	ix
Daftar Tabel.....	xvii
Pengantar Penerbit.....	xix
Kata Pengantar .....	xxi
Prakata .....	xxiii
1. PENDAHULUAN .....	1
A. Struktur Pembahasan.....	2
B. Sejarah Pemetaan Gua.....	4
C. Kegunaan Peta Gua.....	16
D. Tujuan Umum Survei Gua.....	17
2. <i>GRADE</i> DAN KELAS PEMETAAN GUA .....	21
A. Pembagian <i>Grade</i> Peta Gua .....	21
B. Klasifikasi Pemetaan Gua.....	24
C. Akurasi dan Presisi Pemetaan Gua.....	30
3. KOMPONEN PENGUKURAN DAN PERALATAN PEMETAAN GUA .....	33
A. Komponen-Komponen Pengukuran dalam Pemetaan Gua.....	33
B. Peralatan Pemetaan Gua .....	36
C. Perlengkapan Survei .....	47
D. Alat Survei Elektronik.....	51
E. Kalibrasi Alat Ukur .....	52
F. Perawatan dan Penanganan Alat Ukur.....	53

4.	AKUISISI DATA .....	57
	A. Stasiun Survei.....	57
	B. Poligon Survei.....	61
	C. Tim Survei.....	62
	D. Sistem Survei.....	65
	E. Pemilihan Jalur Survei.....	65
	F. Metode Survei.....	67
	G. Pengukuran pada <i>Chamber</i> .....	69
	H. Pengukuran pada <i>Pothole</i> .....	71
	I. Pengukuran Lorong dengan Teknik Interseksi.....	72
	J. Pengukuran pada <i>Pitch</i> Dalam .....	74
	K. Pengukuran Beda Tinggi dengan Metode <i>Hydrolevelling</i> .....	78
	L. Pengukuran pada Lorong Bercabang.....	83
	M. Pengukuran Tinggi Atap .....	83
	N. Survei pada Lorong Berlantai Terjal .....	85
	O. Survei pada <i>Sump</i> .....	86
	P. Pencatatan Data .....	88
	Q. Sketsa.....	93
	R. Sudut Deklinasi.....	102
5.	PENGOLAHAN DATA .....	107
6.	KESALAHAN-KESALAHAN DAN PERATAAN KESALAHAN DALAM PEMETAAN GUA .....	113
	A. Kesalahan dalam Tahap Akuisisi Data .....	113
	B. Kesalahan dalam Tahap Pengolahan Data.....	128
	C. Kesalahan dalam Tahap Penggambaran Peta .....	129
	D. Perataan Kesalahan .....	129
7.	PENGGAMBARAN PETA .....	135
	A. Peta Tampak Atas.....	135
	B. Peta Tampak Samping .....	140
	C. <i>Cross Section</i> .....	147
	D. <i>Transverse Section</i> .....	147
	E. Simbologi Peta Gua .....	148
	F. Kelengkapan Peta Gua.....	165
	G. Penyajian Peta .....	171
8.	PETA GUA TIGA DIMENSI .....	181
	A. Penggambaran Peta Gua Tiga Dimensi.....	181
	B. <i>Cutaway Block Diagram</i> .....	204

9. PENGGABUNGAN DATA PEMETAAN GUA .....	213
A. Titik Ikat .....	214
B. Sistem Koordinat .....	216
C. Pengolahan Data .....	217
D. Penggambaran .....	218
E. Penggabungan Data Survei Sistem Gua .....	223
10. MENGGAMBAR PETA GUA DENGAN KOMPUTER .....	229
A. Peran Komputer dalam Pemetaan Gua .....	229
B. Pengolahan Data Menggunakan Program Survex .....	231
11. SURVEI <i>GRADE 6</i> .....	255
A. Lebih Jauh Tentang Kompas .....	256
B. Pemetaan <i>Grade 6</i> .....	262
C. Cepat dan Akurat .....	264
D. Loop Misclosure .....	267
12. SURVEI <i>GRADE X</i> .....	269
A. Survei Nonmagnetis .....	269
B. Alat Ukur Nonmagnetis .....	273
C. Pengujian dan Kalibrasi Alat Ukur Nonmagnetis .....	277
D. Metode Survei Nonmagnetis .....	278
E. Komponen-Komponen pengukuran .....	279
F. Akuisisi Data Survei <i>Grade X</i> .....	282
G. Kesalahan-Kesalahan dalam Survei <i>Grade X</i> .....	290
H. Pengolahan Data .....	294
I. Mengatasi Kendala Medan .....	307
13. SURVEI HIDROLOGI .....	315
A. Pengukuran Debit Air .....	315
B. <i>Water Tracing</i> .....	328
14. UJUNG LORONG .....	335
A. Memulai Belajar Memetakan Gua .....	335
B. Subjektivitas Peta Gua .....	337
C. Standar Pemetaan Gua di Indonesia .....	340
D. Pemetaan Gua di Indonesia, Menuju Masa Depan .....	341
Daftar Referensi .....	343
Daftar Istilah .....	351
Daftar Singkatan dan Akronim .....	371
Biografi Penulis .....	373

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## Daftar Gambar

Gambar 1.1	Peta Labirin Gortyne karya Buondelmonti 1415 .....	4
Gambar 1.2	Peta Oven Nero 1550 .....	5
Gambar 1.3	Peta Oven Nero 1558 .....	6
Gambar 1.4	Sketsa Gua Madison .....	8
Gambar 1.5	Perangko Peta Gua Sof Omar .....	13
Gambar 1.6	Peta Goeha Gadjah .....	14
Gambar 3.1	Kompas Suunto K14/360 dan K14/360R .....	37
Gambar 3.2	Posisi Pembacaan Kompas Suunto .....	37
Gambar 3.3	Klinometer Suunto PM-5.....	39
Gambar 3.4	Posisi Pembacaan Klinometer .....	39
Gambar 3.5	Suunto Tandem.....	40
Gambar 3.6	Kompas Brunton Pockettransit.....	41
Gambar 3.7	Pita Ukur Fiber dengan <i>Casing</i> Terbuka.....	42
Gambar 3.8	Topofil Swayasa.....	43
Gambar 3.9	Hipchain atau Topofil Pinggang Chainman II .....	44
Gambar 3.10	Laser Disto Leica D330i.....	46
Gambar 3.11	Buku Catatan Pemetaan Gua.....	48
Gambar 3.12	Beberapa macam alat penerangan listrik kedap air yang tidak menyebabkan banyak gangguan magnetis .....	49
Gambar 3.13	<i>Marker</i> Permanen .....	50

Gambar 4.1	Posisi stasiun datum pada mulut gua dengan lorong masuk horizontal.....	60
Gambar 4.2	Posisi stasiun datum pada mulut gua dengan lorong masuk vertikal .....	60
Gambar 4.3	Tim survei gua yang terdiri dari <i>shooter</i> , <i>descriptor</i> , dan <i>stationer</i> sedang melakukan pemetaan dengani jalur <i>center of passage</i> .....	66
Gambar 4.4	<i>Forward Method</i> .....	67
Gambar 4.5	<i>Leapfrog Method</i> .....	68
Gambar 4.7	Pengukuran <i>Chamber</i> dengan Metode Poligon Tertutup....	70
Gambar 4.6	Pengukuran <i>Chamber</i> dengan Metode Radial (Poligon Terbuka).....	70
Gambar 4.8	Pengukuran <i>Chamber</i> dengan Metode <i>Offset</i> .....	71
Gambar 4.9	Jalur Survei pada <i>Pothole</i> .....	72
Gambar 4.10	Pengukuran Lorong dengan Teknik Interseksi .....	73
Gambar 4.11	Mengukur Kedalaman <i>Pitch</i> dengan Metode Tandem ...	76
Gambar 4.12	Mengukur Kedalaman <i>Pitch</i> dengan Metode Triangulasi ...	77
Gambar 4.13	Skema Pengukuran Beda Tinggi dengan Metode <i>Hydrolevelling</i> .....	80
Gambar 4.14	Mengukur Tinggi Atap pada Lorong dengan Lantai Datar .....	84
Gambar 4.15	Mengukur Tinggi Atap pada Lorong dengan Lantai Menurun (Inklinasi Negatif).....	84
Gambar 4.16	Mengukur Tinggi Atap pada Lorong dengan Lantai Menanjak (Inklinasi Positif) .....	85
Gambar 4.17	Jalur Survei pada Lorong Berlantai Terjal .....	86
Gambar 4.18	Survei pada <i>Sump</i> .....	87
Gambar 4.19	Lembar Pencatatan Data Lapangan.....	88
Gambar 4.20	Proporsi Sketsa <i>Cross Section</i> .....	97
Gambar 4.21	<i>Cross Section</i> .....	98
Gambar 4.22	Sketsa Lorong Gua .....	99
Gambar 4.23	Sketsa Bagian-Bagian Lorong Gua yang Tidak Terlihat Secara Utuh.....	100

Gambar 4.24	Anak panah yang menunjukkan arah utara magnet, utara grid dan utara sebenarnya pada peta rupabumi produksi BIG. ....	103
Gambar 5.1	Perbandingan Antara Jarak Miring dan Jarak Datar ....	108
Gambar 6.1	Skema Pembagian Zona Keseimbangan Kompas.....	117
Gambar 6.2	Graduasi yang Terlihat dari lensa Kompas Suunto K14/360.....	120
Gambar 6.4	Posisi Tubuh yang Lebih Baik.....	124
Gambar 6.3	Posisi tubuh serupa (jongkok) tapi tak sama ( <i>shooter</i> terlalu merunduk karena atap yang rendah) menyebabkan kesalahan dalam pengukuran sudut kemiringan. ....	124
Gambar 6.5	Pengukuran Titik Stasiun dengan Jalur Survei <i>Station To Station</i> .....	124
Gambar 6.6	Kesalahan Angka Sigma x dan y Dalam Penentuan Posisi Stasiun Pada Poligon Tertutup.....	133
Gambar 6.7	Posisi stasiun-stasiun setelah dilakukan perataan kesalahan terhadap angka-angka sigma x dan y. Perubahan paling jelas terlihat pada stasiun 10/8. ....	133
Gambar 6.8	Kesalahan angka sigma h dalam penentuan posisi stasiun pada poligon tertutup.....	134
Gambar 6.9	Posisi stasiun-stasiun setelah dilakukan perataan kesalahan terhadap angka-angka sigma h.....	134
Gambar 7.1	Kerangka Peta Tampak Atas Gua Simulasi dengan Koordinat yang Diperoleh dari Hasil Pengolahan Data....	139
Gambar 7.2	Master Peta Tampak Atas Gua Simulasi.....	140
Gambar 7.3	Kerangka Peta <i>Extended Elevation</i> Gua Simulasi.....	142
Gambar 7.4	Master Peta <i>Extended Elevation</i> Gua Simulasi .....	142
Gambar 7.5	Tanda Perubahan Arah Proyeksi .....	144
Gambar 7.6	Kerangka Peta <i>Projected Elevation</i> Gua Simulasi.....	144
Gambar 7.7	Master Peta <i>Projected Elevation</i> Gua Simulasi.....	144
Gambar 7.8	Perbandingan proporsi antara <i>projected elevation</i> dan <i>extended elevation</i> terhadap peta tampak atas.....	145
Gambar 7.9	<i>Cross Section</i> dan <i>Transverse Section</i> .....	148
Gambar 7.10	Peta Gua dengan Simbol-Simbol Geologi.....	160

Gambar 7.11	<i>Cross Section</i> dengan Simbol Litologi.....	161
Gambar 7.12	Contoh Peta Gua dengan Informasi Lintasan Tali.....	165
Gambar 7.13	Beberapa Contoh Skala Grafis .....	168
Gambar 7.14	Peta tampak samping dengan satu besaran skala (atas) dan peta dengan skala vertikal yang diperbesar dua kali dari skala horizontal (bawah). .....	168
Gambar 7.15	Penempatan <i>Cross Section</i> Pada Suatu Kotak Tersendiri...	173
Gambar 7.16	Penempatan <i>Cross Section</i> Pada Sisi Peta Tampak Atas ....	173
Gambar 7.17	Penempatan <i>Cross Section</i> di antara Peta Tampak Atas dan <i>Projected Elevation</i> .....	174
Gambar 7.18	Peta gua berlorong vertikal pendek yang dipetakan dengan <i>grade</i> rendah dan hanya digambar dengan menampilkan satu sisi.....	175
Gambar 7.19	Peta Gua Nguwik.....	177
Gambar 7.20	Peta Gua Puteri.....	178
Gambar 7.21	Seorang pemandu wisata gua Cerme berpose di depan reproduksi peta gua Cerme yang digambar secara sederhana pada dinding loket objek wisata .....	180
Gambar 8.1	Pengamatan Ruang dengan Azimut $0^\circ$ dan Sudut Vertikal $-90^\circ$ .....	184
Gambar 8.2	Pengamatan Ruang dengan Azimut $30^\circ$ dan Sudut Vertikal $-90^\circ$ .....	184
Gambar 8.3	Pengamatan Ruang dengan Azimut dan Sudut Vertikal $-45^\circ$ .....	185
Gambar 8.4	Segitiga Imajiner dengan Satu Satuan Panjang Sumbu x sebagai Sisi c.....	186
Gambar 8.5	Garis-garis Sumbu dan Skala Peta Tiga Dimensi yang Dilihat dari Arah $150^\circ$ dan dengan Kemiringan Pandangan $-45^\circ$ .....	189
Gambar 8.6	Detail dari Kerangka Dasar Peta Tiga Dimensi Gua Simulasi.....	191
Gambar 8.7	Detail kerangka peta tiga dimensi yang sudah dilengkapi garis-garis batas atap dan lantai serta <i>crosssection</i> pada setiap stasiun .....	192
Gambar 8.8	Detail Peta Tiga Dimensi .....	193

Gambar 8.9	Menampilkan Kesan Tiga Dimensi dengan Menambahkan <i>Cross Section</i> di Sepanjang Lorong .....	194
Gambar 8.10	Menampilkan kesan tiga dimensi dengan teknik <i>contouring</i> tegak, masing-masing garis kontur memiliki kesamaan nilai terhadap sumbu x dengan interval kontur sebesar 2 meter. ....	195
Gambar 8.11	Menampilkan kesan tiga dimensi dengan teknik <i>contouring</i> mendatar, dengan interval (jarak antar garis kontur/beda tinggi) sebesar 2 meter.....	196
Gambar 8.12	Menampilkan kesan tiga dimensi dengan menyilangkan garis-garis kontur berbeda sumbu.....	196
Gambar 8.13	Menampilkan Bayangan pada Peta Tiga Dimensi dengan Teknik Arsiran .....	197
Gambar 8.14	Menampilkan Bayangan pada Peta Tiga Dimensi dengan Teknik <i>Pointilize</i> .....	198
Gambar 8.15	Menampilkan Bayangan pada Peta Tiga Dimensi dengan Teknik <i>Aquarel</i> .....	199
Gambar 8.16	Kerangka dan Batas Tepi untuk Menggambar <i>Drop Shadow</i> .....	200
Gambar 8.17	Peta Tiga Dimensi Gua Simulasi Lengkap dengan <i>Drop Shadow</i> .....	200
Gambar 8.18	Peta Tiga Dimensi Gua Siluman, Penganten, Gunungwangi tanpa <i>Drop Shadow</i> .....	201
Gambar 8.19	Peta Tiga Dimensi Gua Siluman, Penganten, Gunungwangi dengan <i>Drop Shadow</i> .....	201
Gambar 8.20	Peta Tiga Dimensi Gua Simulasi dengan Kelengkapan Peta.....	203
Gambar 8.21	Peta Tiga Dimensi Gua Harimau .....	204
Gambar 8.22	Kerangka Lorong dengan Satu Sisi Dinding Dibuang..	205
Gambar 8.23	Batas Sisi Terpotong Suatu <i>Block Diagram</i> .....	206
Gambar 8.24	<i>Block Diagram</i> Gua Simulasi Dipotong Tegak dengan Variasi Potongan Mendatar.....	207
Gambar 8.25	<i>Cutaway Block Diagram</i> Gua Simulasi yang Menggabungkan Bentuk Tiga Dimensi Lorong dan Permukaan .....	208

Gambar 8.26	<i>Cutaway Block Diagram</i> Gua Cokro .....	209
Gambar 8.27	<i>Cutaway Block Diagram</i> Gua Seropan .....	210
Gambar 9.1	Peta Gua Harimau Produksi Puslit Arkenas .....	220
Gambar 9.2	Jalur Survei 2012 dengan Grade 5C .....	221
Gambar 9.3	Peta Lama Gua Harimau Setelah Ditampilkan Pada Jalur Survei Baru.....	221
Gambar 9.4	Peta gua Harimau yang dihasilkan dari penggabungan peta lama dan pengukuran baru.....	222
Gambar 9.5	Peta Sistem Gua Gremeng .....	224
Gambar 9.6	Gambar Manual Peta Tiga Dimensi Sistem Gua Gremeng.....	226
Gambar 9.7	Bentuk Jadi Peta Tiga Dimensi Sistem Gua Gremeng ...	226
Gambar 9.8	Peta Tiga Dimensi yang Menggambarkan Posisi Gua-Gua di Sekitar Bukit Sialang.....	227
Gambar 10.1	Tampilan Tampak Atas <i>Centerline</i> pada Program Aven.....	233
Gambar 10.2	Tampilan Proyeksi Tampak Samping <i>Centerline</i> pada Program Aven.....	233
Gambar 10.3	Kerangka peta tampak atas gua Simulasi dengan data tambahan dinding kiri dan kanan hasil kalkulasi program LEKER OLD SG .....	244
Gambar 10.4	Kerangka Peta Tampak Samping Diproyeksikan Gua Simulasi .....	245
Gambar 10.5	Kerangka peta tiga dimensi gua Simulasi dilihat dengan arah pandang 300° dan sudut inklinasi -10° .....	246
Gambar 10.6	Kerangka Peta <i>Extended Elevation</i> Gua Simulasi Hasil Pengolahan Data Menggunakan Program Survex .....	247
Gambar 10.7	Kerangka Peta <i>Extended Elevation</i> Gua Simulasi.....	250
Gambar 12.1	Alat Ukur Nonmagnetis Sederhana .....	274
Gambar 12.2	Teodolit Wild T16 .....	275
Gambar 12.3	Electronic Distance Measuring Instrument, Total Station Leica TC 805L .....	276
Gambar 12.4	Rangkaian Survei yang Terdiri dari 10 Stasiun Pengukuran .....	279

Gambar 12.5 Pengukuran detail lorong gua Pulejajar menggunakan <i>total station</i> Nikon Nivo 2.M yang memiliki fitur <i>reflectorless</i> EDM.....	288
Gambar 12.6 Contoh Lembar Kerja Pengukuran Biasa <i>Total Station</i> ...	289
Gambar 12.7 Perbandingan Kesalahan Pengukuran Magnetis dan Nonmagnetis.....	291
Gambar 12.8 Teknik Interseksi untuk Melakukan Pengukuran Melalui Lorong Vertikal .....	309
Gambar 12.9 Survei pada lorong berair dan beratap rendah menggunakan alat <i>Total Station</i> Sokkia SET 350X.....	312
Gambar 13.1 Dimensi Ember Penampung Air.....	316
Gambar 13.2 Tampak Atas Jalur Pengukuran dan Penampang Sungai .....	319
Gambar 13.3 Penampang 1.....	320
Gambar 13.4 Pengukuran Luas Penampang Sungai Bawah Tanah.....	320
Gambar 13.5 Diagram Pengukuran Luas Penampang Sungai .....	323
Gambar 13.6 Mengukur Kecepatan Arus Menggunakan <i>Current Meter</i> .....	325
Gambar 13.7 Mengukur Debit Air Sungai Bawah Tanah dengan Alat EC Meter.....	327
Gambar 13.8 Pengukuran tingkat radioaktivitas pada air sungai bawah tanah untuk mengetahui hubungannya dengan aliran sungai di gua lain.....	333
Gambar 14.1 Tiga Rangkaian <i>Centerline</i> dengan Panjang yang Berbeda dari Suatu Lorong yang Sama.....	338

Buku ini tidak diperjualbelikan.

# Daftar Tabel

Tabel 2.1	<i>Grade</i> yang dikeluarkan BCRA bagi Pengukuran <i>Centerline</i> .....	22
Tabel 2.2	Klasifikasi BCRA Mengenai Pencatatan Detail Lorong Gua.....	24
Tabel 2.3	Sistem <i>Grade</i> ASF.....	26
Tabel 2.4	Standar <i>Grade</i> ASF.....	27
Tabel 2.5	Sistem <i>Grade</i> UIS .....	28
Tabel 2.6	Standar Sistem <i>Grade</i> UIS .....	29
Tabel 3.1	Perbandingan Alat Ukur Arah.....	41
Tabel 3.2	Perbandingan Alat Ukur Jarak.....	47
Tabel 5.1	Lembar pengolahan data.....	107
Tabel 5.2	Lembar Pengolahan Data dengan Data Kompas yang Sudah Disesuaikan dengan Sudut Deklinasi .....	111
Tabel 6.1	Penghitungan Perataan Kesalahan Posisi Stasiun .....	133
Tabel 7.1	Diameter Mata Pena untuk Menggambar Peta.....	176
Tabel 10.1	Lembar Isian dalam Program Survex .....	231
Tabel 10.2	Resume dan Koreksi Kesalahan Pengukuran Poligon Tertutup pada Survei Gua Simulasi .....	234

Tabel 10.3	Resume Hasil Pengolahan Data Gua Simulasi .....	235
Tabel 10.4	Lembar Isian Pengukuran <i>Centerline</i> dan Detail Lorong....	235
Tabel 10.5	Lembar Kerja Olah Data Survei Gua (LEKER OLD SG) .....	238
Tabel 10.6	Lembar isian Survex dengan data tambahan detail dinding kanan dan kiri dari LEKER OLD SG serta atap dan lantai lorong.....	240
Tabel 10.7	Resume Hasil Pengolahan Data Tabel 10.6.....	243
Tabel 10.8	Lembar isian Survex dengan data yang telah dimodifikasi untuk menampilkan kerangka peta <i>extended elevation</i> gua Simulasi .....	248
Tabel 12.1	Tabel penghitungan poligon menggunakan <i>software</i> Microsoft Excel .....	295
Tabel 12.2	Tabel Penghitungan Poligon Satu Seri Rangkap .....	299
Tabel 12.3	Analisis Ketelitian Sudut Pengukuran Poligon Biasa .....	301
Tabel 12.4	Analisis Ketelitian Jarak Pengukuran Poligon Biasa.....	302
Tabel 12.5	Analisis Ketelitian Sudut Pengukuran Poligon Satu Seri Rangkap .....	303
Tabel 12.6	Analisis Ketelitian Jarak Pengukuran Poligon Satu Seri Rangkap .....	303
Tabel 12.7	Tabel Penghitungan Takimetri Untuk Pengukuran Detail Situasi .....	304
Tabel 12.8	Hasil Perhitungan Takimetri Berupa Koordinat yang Siap untuk Diolah Menjadi Peta .....	307
Tabel 13.1	Pengukuran Waktu Pengisian Ember .....	317
Tabel 13.2	Pengukuran Luas Penampang dan Kecepatan Aliran Sungai .....	321

## Pengantar Penerbit

Sebagai penerbit ilmiah, Penerbit BRIN mempunyai tanggung jawab untuk terus berupaya menyediakan terbitan ilmiah yang berkualitas. Upaya tersebut merupakan salah satu perwujudan tugas Penerbit BRIN untuk turut serta membangun sumber daya manusia unggul dan mencerdaskan kehidupan bangsa sebagaimana yang diamanatkan dalam pembukaan UUD 1945.

Buku berjudul *Stasiun Nol: Teknik-Teknik Pemetaan dan Survei Hidrologi Gua* ini merupakan pengembangan dari buku sebelumnya yang telah terbit pertama kali pada bulan Desember 2005. Sejak saat itu, buku tersebut telah menjadi bagian dari perkembangan ilmu pemetaan gua di Indonesia. Agar tidak tertinggal oleh kemajuan zaman, buku tersebut kemudian direvisi dan mengalami penambahan isi menghasilkan edisi kedua yang terbit pada September 2016 dan kini diterbitkan kembali oleh Penerbit BRIN dengan pengemasan ulang. Penerbitan kembali dengan akses terbuka bertujuan agar buku ini dapat diakses lebih luas dan dimanfaatkan secara gratis oleh masyarakat.

Buku ini membahas dari aspek sejarah hingga bagaimana teknik-teknik pemetaan dan survei hidrologi gua. Pada awal bab kita akan diajak menggali sejarah perkembangan ilmu pemetaan gua di Indonesia dan dunia. Bab berikutnya kita akan mempelajari teknik dasar pembuatan peta gua, mulai dari proses akuisisi data, pengolahan data, hingga penggambaran secara manual. Menariknya buku ini, di

Buku ini tidak diperjualbelikan.

bab 8 terdapat cara menggambar peta gua tiga dimensi secara manual yang dapat langsung dipraktikkan oleh para pembaca. Peta gua tiga dimensi ini bermanfaat agar informasi dapat lebih mudah diterima oleh kalangan awam.

Menjelang akhir bab, dibahas cara menggabungkan berbagai data pengukuran. Hal ini diperlukan untuk mengetahui apa yang harus dilakukan ketika pemetaan gua dilanjutkan pada waktu yang berbeda atau dari mulut gua yang berbeda. Pengetahuan ini diperlukan dalam pemetaan sistem gua atau kompleks perguaan yang lebih rumit. Salah satu caranya adalah dengan perangkat lunak Survex dan Aven. Secara singkat, perangkat lunak biasa digunakan untuk proses penggambaran peta tiga dimensi dan menggabungkan berbagai data survei.

Kami berharap, hadirnya buku ini dapat bermanfaat bagi para pegiat, peneliti, pengajar, pemerhati, praktisi, dan masyarakat umum lainnya yang ingin memperkaya wawasan terkait dengan teknik-teknik pemetaan dan survei hidrologi gua. Akhir kata, kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu proses penerbitan buku ini.

Penerbit BRIN

# Kata Pengantar

Dokumentasi adalah sesuatu yang sangat diperlukan dalam kegiatan eksplorasi, penelitian, atau sekadar orientasi di suatu lokasi. Dokumentasi dapat berupa rekaman audio visual, catatan, hingga sketsa, baik sketsa sederhana maupun sketsa perinci. Sepanjang sejarah penjelajahan di muka bumi, membuat dokumentasi sudah dianggap sebagai suatu kebutuhan bagi para pelakunya, dan untuk melakukan hal ini dibutuhkan sikap disiplin.

Berbagai macam dokumentasi yang dibuat dalam kegiatan-kegiatan tersebut pada akhirnya akan memberi manfaat dalam berbagai cara dan bidang. Setidaknya bagi mereka yang membuat dokumentasi, karya yang mereka hasilkan akan menjadi bukti otentik tentang berbagai hal yang telah mereka alami dan mereka temukan. Secara lebih pribadi, setidaknya, karya-karya dokumentasi tersebut akan dapat menjadi kenangan untuk diingat kembali suatu hari nanti.

Bagi mereka yang melakukan eksplorasi dan penelitian di lingkungan gua, membuat dokumentasi lingkungan gua, khususnya membuat peta ruang bawah tanah adalah kemampuan yang mutlak perlu dikuasai, karena bagi mereka, membuat peta gua merupakan suatu kebutuhan, sekaligus suatu kewajiban yang harus dilakukan. Hal tersebut telah menjadikan pemetaan gua sebagai bagian dari kegiatan speleologi dan telah diakui secara internasional. Hasil dari

dokumentasi berupa peta gua yang dibuat secara standar, hingga saat ini telah dimanfaatkan secara luas, mulai dari usaha pengembangan gua wisata, usaha pertolongan dalam insiden di dalam gua, serta banyak lagi.

Dengan diterbitkannya buku *Stasiun Nol: Teknik-Teknik Pemetaan dan Survei Hidrologi Gua*, diharapkan peta-peta gua yang dihasilkan oleh para penggiat speleologi dan penelusuran gua Indonesia akan dapat mencapai standar serta ketelitian seperti yang telah dicapai oleh para penggiat di negara-negara yang telah memiliki sejarah panjang dalam bidang ini.

Sebagai penggiat speleologi serta penelusuran gua, kita tentunya pantas bersyukur dengan hadirnya buku yang berisi teknik-teknik pemetaan gua ini, karena untuk membuatnya tentu diperlukan kecermatan, ketelitian, pengalaman lapangan, serta waktu yang tidak sedikit.

Bogor, 6 Mei 2022

Robby Ko King Tjoen

Pendiri dan Presiden HIKESPI periode 1983-2005

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## Prakata

Buku *Stasiun Nol: Teknik-Teknik Pemetaan dan Survei Hidrologi Gua* terbit pertama kali pada bulan Desember 2005. Sejak saat itu, buku ini telah turut menjadi bagian dari perkembangan ilmu pemetaan gua di Indonesia. Perkembangan ilmu pemetaan gua, baik di Indonesia maupun di seluruh dunia, sangat terdorong oleh kemajuan pesat dalam bidang teknologi. Agar tidak tertinggal oleh kemajuan tersebut, penulis melakukan berbagai revisi serta penambahan isi hingga terbit edisi kedua dari buku ini pada bulan September 2016. Baik edisi pertama maupun kedua buku ini diterbitkan oleh klub spelologi di mana penulis bernaung, yaitu Acintyacûnyatâ Speleological Club (ASC), Yogyakarta.

Pada tahun 2022, buku ini mendapat kesempatan dari Penerbit Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) untuk diterbitkan ulang dalam bentuk elektronik. Sekali lagi isi buku ini harus mengalami berbagai penambahan serta perbaikan, khususnya agar buku ini dapat memenuhi standar penulisan yang dipergunakan oleh Penerbit BRIN.

Dalam kurun waktu tujuh belas tahun, dan setelah tiga kali terbit, buku *Stasiun Nol* tentu telah mengalami banyak perubahan, baik perubahan untuk memenuhi standar penulisan, maupun perubahan untuk menyesuaikan dengan perkembangan dan teknologi dalam ilmu pemetaan gua. Teknologi boleh merubah cara pengukuran,

Buku ini tidak diperjualbelikan.

perhitungan dan penggambaran peta gua, namun ilmu dasarnya tetap tidak berubah. Ilmu dasar serta teknik-teknik lama adalah dua hal penting yang tetap dipertahankan dalam buku ini.

Tujuh belas tahun, dan tiga kali terbit tidak akan terjadi tanpa peran berbagai pihak yang memiliki kepedulian pada perkembangan ilmu pemetaan gua di Indonesia, oleh karena itu penulis berterima kasih kepada semua. Segenap keluarga besar dan jajaran pengurus Acintyaçûnyatâ Speleological Club; keluarga besar KPALH Setrajana Fisipol UGM; Sunu Widjanarko, mentor penulis dalam ilmu pemetaan gua; Mas Prasetyo Hadi Waluyo beserta keluarga; Mas Suharyadi; dan Bagus Yulianto yang telah mengabdikan hidupnya bagi speleologi.

Terima kasih juga penulis sampaikan kepada para penyunting bahasa, Ignatius Eko Adi Waluyo, Dhita Dwi Arimbi, Nugroho Nurcahyo, Rizky Aida Thoharoh, dan Yayum Kumai; para *proof reader*, Khatmil Iman Mahardika, Arief Wicaksono, Sigit Wicaksono, dan Andi Pratama Situmorang. Sebagian besar gambar serta tabel dalam buku ini merupakan dokumentasi pribadi yang saya buat sendiri, namun itu semua tidak akan lengkap tanpa peran para kontributor foto, Husain M, Mohhammad Asril, Akhmad Zona Ardiadi, Ryan Rahdiana, Imam Bukhori, dan Bagus Yulianto; juga para model darurat, Sony Ade Irawan, Ahmad Syaroni, Rahmadi Muharam, Anugrah, M. Ali Sopan, dan Sumiyanto. Terima kasih juga saya persembahkan kepada Andy Setiabudi Wibowo atas referensi geologi yang mencerahkan dan bir yang menyegarkan; Haryoto Atmojo yang telah memperkenalkan penulis kepada kegiatan penelusuran gua.

Buku ini menjadi lengkap berkat kerelaan Profesor Harry Truman Simanjuntak dan Adi Agus Oktaviana dari Pusat Penelitian Arkeologi Nasional; juga berkat teman-teman yang telah menutupi kekurangan penulis dalam matematika; berkat dukungan bapak Amin Tjahjono beserta tim surveinya; serta berkat dedikasi dari bapak speleologi Indonesia, Robby Ko King Tjoen, yang pada saat-saat terakhirnya masih menyempatkan diri untuk menuliskan kata pengantar bagi terbitan ini.

Terima kasih juga penulis ucapkan kepada Ayu Tya Farany dan Noviasuti Putri Indrasari dari Penerbit BRIN yang telah membimbing proses penyusunan ulang buku Stasiun Nol hingga terbit dalam wujudnya yang sekarang. Semoga dengan terbitnya versi elektronik buku Stasiun Nol ini, speleologi, dan khususnya ilmu pemetaan gua, dapat semakin berkembang di negeri ini.

Masih dengan semboyan yang sama.  
Dalam gelap terbitlah terang.

Yogyakarta, 17 Agustus 2022  
Erlangga Esa Laksmana  
Penulis

“Penjelajah sejati bukanlah seseorang yang mengikuti peta, penjelajah sejati adalah orang yang membuat peta.”

Paul Theroux

Buku ini dipersembahkan untuk mengenang:

- Seorang penjelajah sejati. Saudara, sahabat, dan guru kami. Bagus Yulianto, 1968 – 2016.
- Guru dari para guru kami. Robby Ko King Tjoen, 1936 – 2022

### PERINGATAN!

Gua adalah lingkungan yang sangat rentan terhadap perubahan. Sangat perlu untuk disadari bahwa kehadiran sekelompok orang ke dalam gua sudah cukup menimbulkan perubahan yang dapat mengakibatkan kerusakan ekosistem. Pada saat yang sama, gua juga menyimpan potensi bahaya bagi makhluk asing yang masuk ke dalamnya. Kita, ketika sedang berada di dalam gua, adalah makhluk asing. Ini berarti, selain berpotensi untuk menimbulkan kerusakan bagi lingkungan gua, kita juga terancam oleh potensi bahaya yang dapat ditimbulkan olehnya.

Seseorang yang ingin melakukan kegiatan pemetaan gua, selain perlu mempelajari teknik-teknik pemetaan gua juga terlebih dahulu harus memiliki pengetahuan yang memadai tentang kondisi lingkungan gua serta potensi bahaya yang mungkin dihadapi. Seorang *surveyor* gua harus memiliki cukup pengetahuan dan keterampilan untuk dapat melakukan penelusuran gua secara aman, baik bagi dirinya sendiri, bagi kelompoknya, maupun bagi lingkungan gua dan para penghuninya.

# 1

## PENDAHULUAN



Gua adalah lubang alami di bawah tanah yang dapat dimasuki oleh manusia. Kalimat di atas adalah definisi gua menurut *International Union of Speleology* (IUS). Lembaga yang didirikan di Perancis, dan lebih suka disebut sebagai *Union Internationale de Speéléologie* (UIS) ini bukan satu-satunya pihak yang memberikan pandangan tentang apa itu gua. Kelompok lain malah memperluas definisi dengan menyatakan bahwa saluran-saluran kecil di bawah tanah juga pantas disebut gua. Sementara sekelompok ilmuwan yang berbeda memberikan definisi lebih spesifik, dengan menambahkan syarat bahwa harus terdapat aliran air di lorong agar ia dapat disebut sebagai gua.

Di sini kita tidak akan berlarut-larut membahas tentang apa itu gua. Silakan pilih definisi mana yang sekiranya lebih tepat, atau bila perlu definisikan sendiri sesuai pendapat Anda, toh, kita akan tetap dapat menyebut sesuatu sebagai gua atau bukan saat kita berada di sana.

Survei yang berakar dari kata latin abad pertengahan *supervidere*, memiliki arti pengawasan. Kata ini kemudian masuk ke dalam kosakata bahasa Prancis Anglo Norman menjadi kata *surveier* dan akhirnya diserap dalam bahasa Inggris sebagai *survey* yang dalam

bahasa Inggris pertengahan periode akhir bermakna “menguji dan meyakinkan kondisi dari” (Oxford Dictionaries). Dalam arti luas, survei dapat dilakukan dan dikaitkan dengan berbagai disiplin ilmu, misalnya statistik, ekonomi, demografi dan banyak lagi, namun dalam buku ini, survei hanya akan berkaitan dengan pemetaan dan pengukuran fisik.

Dalam bahasa Inggris, *survey* memiliki dua makna, sebagai kata kerja sekaligus sebagai kata benda. Dalam berbagai literatur pemetaan gua berbahasa Inggris, kata *survey* lebih banyak dipergunakan sebagai kata benda yang memiliki arti peta sehingga *cave survey* berarti peta gua, sedangkan kegiatan pemetaan dalam bahasa Inggris adalah *surveying*, meskipun kadang mereka juga mempergunakan kata *survey* dalam bentuknya sebagai kata kerja. Sedangkan istilah bagi orang yang melakukan *survey* adalah *surveyor*.

Dalam bahasa Indonesia kata survei hanya dipergunakan sebagai kata kerja dan memiliki persamaan konteks dengan pemetaan dan pengukuran. Dalam buku ini, kata survei memiliki konteks pemetaan atau pengukuran sehingga pemetaan gua berarti suatu usaha untuk menampilkan dimensi serta kondisi lorong gua ke dalam suatu medium. Secara umum medium yang dimaksud adalah kertas gambar.

## A. Struktur Pembahasan

Buku Stasiun Nol ini berisi 14 bab yang mengupas tentang teknik-teknik pemetaan gua dan survei hidrologi gua. Buku ini diawali dengan pendahuluan pada bab 1 yang berisi sejarah perkembangan ilmu pemetaan gua di dunia dan di Indonesia. Enam bab selanjutnya, yaitu dari bab 2 hingga bab 7 berisi pembahasan tentang pengetahuan dan teknik dasar pembuatan peta gua, mulai dari proses akuisisi data, pengolahan data, hingga penggambaran secara manual. Pembaca yang telah selesai membaca hingga bab ini diharapkan sudah memiliki cukup bekal untuk membuat peta gua dalam format standar.

Selain dalam format standar, peta gua juga dapat digambar secara tiga dimensi. Menggambar peta gua tiga dimensi memerlukan

kan kemampuan yang lebih tinggi lagi sehingga hal ini sering kali menjadi sesuatu yang dibanggakan oleh para penelusur gua. Peta tiga dimensi memang terlihat lebih menarik serta lebih mudah dipahami oleh kalangan awam, meskipun sebenarnya dari sisi kemampuan menyampaikan informasi, peta dalam format standar masih lebih unggul. Di dalam buku ini, cara menggambar peta gua tiga dimensi secara manual dibahas dalam bab 8.

Selanjutnya, pokok bahasan dalam bab 9 adalah cara menggabungkan berbagai data pengukuran. Bahasan ini diperlukan untuk mengetahui apa yang harus dilakukan ketika pemetaan gua dilanjutkan pada waktu yang berbeda, atau bahkan dari mulut gua yang berbeda. Pengetahuan ini diperlukan dalam pemetaan sistem gua atau kompleks penguasaan yang lebih rumit.

Pada saat ini, komputer sudah menjadi kebutuhan pokok bagi para pembuat peta gua, dan sebenarnya pada saat ini sebagian besar proses pembuatan peta gua telah dilakukan dengan alat ini. Dalam buku ini, penggunaan komputer untuk menggambar peta gua dibahas dalam bab 10. Dari sekian banyak perangkat lunak pemetaan gua yang tersedia, pembahasan akan dikhususkan pada perangkat yang sudah cukup banyak dikenal oleh para pembuat peta gua di Indonesia, yaitu *Survex* dan *Aven*. Dua *software* ini, juga telah mampu dipergunakan dalam proses penggambaran peta tiga dimensi yang dibahas pada bab 8 serta menggabungkan data survei seperti yang dibahas dalam bab 9.

Bab 11 adalah tentang mencapai akurasi pengukuran yang lebih tinggi dengan teknik serta alat yang tidak jauh berbeda dari apa yang telah diuraikan pada bab-bab sebelumnya. Hal yang ingin ditekankan pada bab ini adalah tentang *mindset* surveyor dalam mengejar akurasi pengukuran. Bab 12 adalah tentang survei *grade x*, yaitu survei gua dengan akurasi tertinggi yang hanya dapat dilakukan dengan peralatan, teknik pengukuran, serta penghitungan data yang sama sekali berbeda dari apa yang sudah dibahas sebelumnya. Survei dengan *grade* tertinggi ini hanya dilakukan untuk kepentingan yang sangat khusus.

Air adalah sesuatu yang tidak dapat dipisahkan ketika kita berbicara tentang gua, khususnya gua karst. Air adalah unsur penting yang

berperan besar dalam terbentuknya gua karst serta karakter makhluk-makhluk yang menghuninya. Air gua dapat menimbulkan bahaya bagi manusia yang menelusurinya, namun juga dapat memberikan kesejahteraan bagi manusia yang tinggal di permukaan. Pengetahuan tentang potensi air yang mengalir di lorong gua sangatlah penting, oleh karena itu survei hidrologi gua dibahas secara khusus dalam bab 13. Survei hidrologi gua adalah sesuatu yang sama sekali berbeda dari seluruh pembahasan pada bab-bab sebelumnya, namun informasi yang diperoleh dari survei ini dapat menjadi pelengkap yang menambah nilai suatu peta gua.

Bab terakhir, yaitu bab 14, merupakan penutup yang berisi sedikit nasehat serta banyak harapan bagi perkembangan ilmu pemetaan gua di Indonesia.

## B. Sejarah Pemetaan Gua

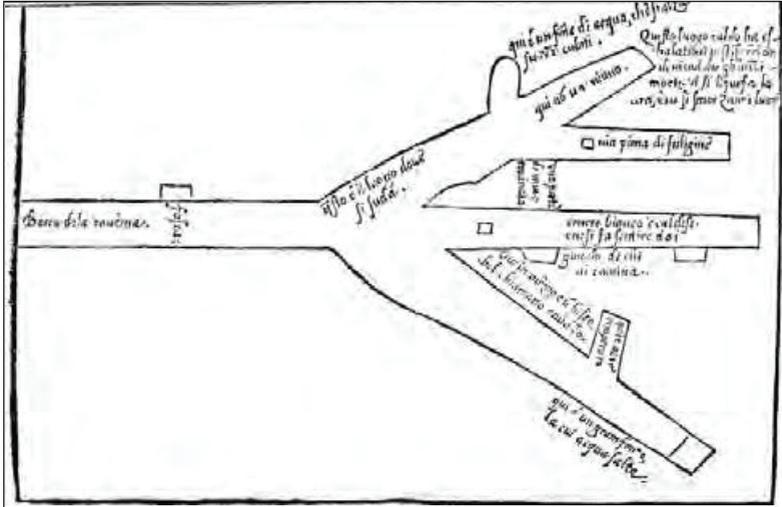
Pemetaan lorong bawah tanah telah dilakukan manusia setidaknya sejak awal Abad XVI. Momentum tersebut ditandai dengan munculnya peta Labirin Gortyne, sebuah gua buatan yang berada di Kreta, karya C. Buondelmonti (Corvi, 2018).



Sumber: Corvi (2018)

**Gambar 1.1** Peta Labirin Gortyne karya Buondelmonti 1415

Abad berikutnya, yaitu pada 1550, dalam buku *De Ortu et Causis Subterraneorum*. Georg Agricola menampilkan peta buatannya, sebuah gambar tampak atas gua *Stufe di Nerone* (Oven Nero), sebuah lorong buatan manusia untuk mencapai sebuah mata air panas purba di Pozzuoli, dekat Naples, Italia (Cigna & Middleton, 2005).



Sumber: Cigna, A.A. & Middleton, G.J. (2005)

**Gambar 1.2** Peta Oven Nero 1550

Pada 1558, Agricola mencoba menggabungkan gambaran morfologi daerah Punta Epitaffio dan lorong bawah tanah Oven Nero, lengkap beserta *cutaway* dari ruang mandi uap yang dinamakan sebagai *sudatorium magnum* atau ruang mandi uap terpenting.

Meski gambar karya Agricola sangat tidak akurat, bahkan mengandung banyak kesalahan, namun oleh Ferrari dan Lamagna (2013), gambar ini dianggap sebagai pelopor gambar *pseudo 3D* bagi daerah Punta Epitaffio.

Peta gua alam pertama yang tercatat dalam sejarah adalah sketsa lorong gua Baumannshöhle buatan Von Alvensleben pada 1656. Sketsa tersebut tidak pernah diterbitkan, namun hingga kini masih tersimpan dalam arsip Kota Magdeburg, Jerman.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: Cigna, A.A. & Middleton, G.J. (2005)

**Gambar 1.3** Peta Oven Nero 1558

John Beaumont dari Somerset, Inggris (c. 1650–731), selain berprofesi sebagai ahli bedah, juga merupakan seorang ahli tambang dan geolog amatir. Pada 1676 dan 1681, berbekal peralatan sederhana yang tersedia pada zaman itu, ia dapat menelusuri dan mengumpulkan data dari *Lamb Leer Cavern*, sebuah gua sumuran (*Pothole*) berkedalaman 20 meter di perbukitan kapur Mendip, Somerset.

Dalam penjelajahan untuk mencari dan mengeksploitasi biji timah itu, Beaumont menemukan ruangan sepanjang 80 meter, lebar 3 meter dan tinggi atap 10 meter. Setelah merangkak sejauh 100 meter, Beaumont menemukan jurang sedalam 25 meter. Dengan tali terikat di pinggang, ia menuruni dan mengukur ruangan tersebut. Hasil penelitian ia susun sebagai sebuah laporan ilmiah dan diserahkan kepada Royal Society, sebuah lembaga ilmu pengetahuan di kerajaan Inggris. Dari segi teknik penelusuran gua, Beaumont dianggap sebagai pelopor *pit caving* atau penelusuran lorong gua vertikal.

Pada tahun 1680, John Aubrey mendokumentasikan lorong gua Long Hole di daerah Cheddar, Inggris dalam bentuk sketsa yang

lebih realistis. Setelah tersimpan selama lebih dari tiga abad, akhirnya sketsa itu diterbitkan pada tahun 1992 (Boycott, 1992). Peta gua alam yang pertama diterbitkan adalah peta gua Pen Park Hole, di Bristol, Inggris (Mullan, 1993). Peta tampak atas dan tampak samping gua ini dibuat oleh kapten Greenville Collins pada penelusuran kedua di tahun 1682, dan diterbitkan satu tahun berikutnya (Southwell, 1683). Dengan latar belakang sebagai seorang perwira pada sebuah kapal survei, sang kapten mampu menghasilkan peta gua yang meskipun tidak akurat, namun dapat memberikan gambaran masuk akal tentang bentuk gua. Barangkali, inilah peta gua pertama yang dibuat dengan menggunakan alat ukur.

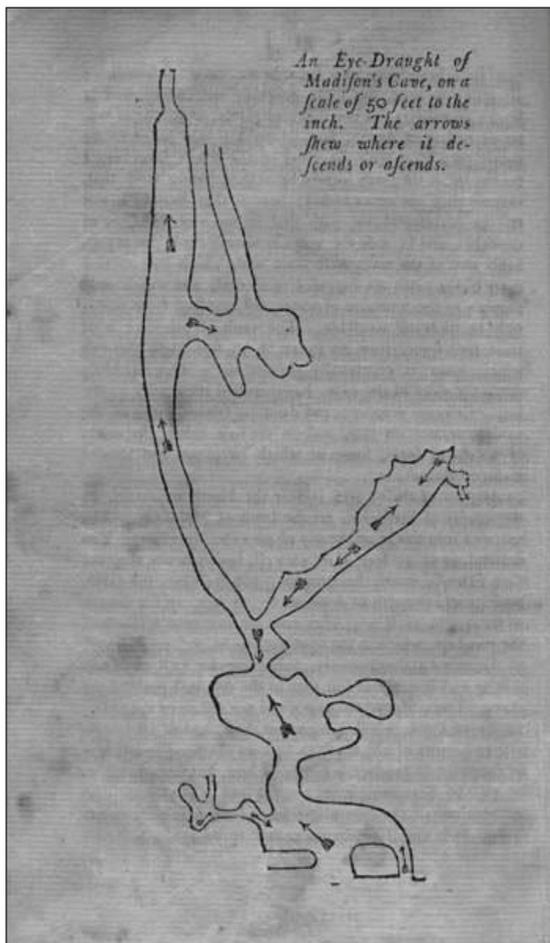
Pada pertengahan abad XVII, seorang warga Slovenia bernama Baron Johann Weikhard von Valsavor telah memberi sumbangan berharga dalam dokumentasi lingkungan gua. Ia menulis empat judul buku beserta peta-peta gua sebagai hasil dari kunjungannya ke 70 gua. Salah satu bukunya yang cukup dikenal adalah *The Glorify of the Duchy of Carniola* terbitan 1689 (White & Culver, 2005).

Sepanjang abad XVIII, di berbagai negara Eropa muncul karya-karya peta gua dengan berbagai tingkat akurasi. Peta tampak samping gua Demänova di Ceko-slovakia, dibuat oleh Juraj Buchholtz pada tahun 1719. Pemetaan ulang dengan hasil peta yang lebih baik dilakukan di *Baumannshöhle* oleh Hardt pada tahun 1702 dan gua Pen Park Hole oleh William White pada tahun 1775.

Pada 1747, Joseph Nagel mendapat tugas dari penguasa kerajaan Austro-Hongaria untuk memetakan sistem perguaan di negara tersebut. Salah satu karya Nagel yang cukup dikenal adalah peta gua Postojna di Slovenia (1748). Di Hungaria József Sartory memetakan Gua Aggletek pada tahun 1794. Di Ceko-slovakia Gua Sloup dipetakan oleh Süsz pada 1800.

Sementara itu, di benua Amerika, kegiatan pemetaan gua baru berkembang pada paruh kedua abad XVIII. Pada 1781, seorang ahli paleontologi vertebrata membuat peta lorong gua Madison di pegunungan Blue Ridge, Virginia. Kini peta itu memiliki nilai sejarah sangat tinggi karena selain merupakan peta gua pertama di

Amerika Serikat yang pernah diterbitkan (1782), sang penggambar peta, Thomas Jefferson, di kemudian hari menjabat sebagai presiden ketiga Amerika Serikat selama dua periode (1801–1809).



Sumber: Jefferson, T. (1782)

**Gambar 1.4** Sketsa Gua Madison

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Dalam sketsanya, Jefferson menyertakan keterangan gambaran mata gua Madison dalam skala 50 kaki berbanding satu inci. Anak panah menunjukkan tanjakan dan turunan. Sketsa gua Madison yang tercetak di buku ini tidak sesuai skala aslinya.

Jefferson dan George Washington adalah dua bapak bangsa Amerika yang memiliki ketertarikan terhadap gua-gua di negara bagian Virginia. Washington muda pernah turut berpartisipasi dalam pemetaan *natural bridge* di wilayah Rockbridge, namun Jefferson lebih produktif dalam membuat deskripsi detail gua-gua yang pernah dia kunjungi. Selain peta Madison, karya terkenal lain Jefferson adalah peta *Blowing cave*.

Meski beberapa dari karya peta gua abad XVIII dapat menggambarkan bentuk gua dengan baik, namun peta gua yang benar-benar akurat baru muncul ketika Nicolas Thomas Bremondier membuat peta tampak atas *Grotte de Miremont* pada 1765. Akurasi tersebut diduga berkaitan dengan penggunaan kompas dan pita atau rantai ukur, dan ini berkaitan dengan latar belakangnya yang merupakan seorang insinyur sipil dengan jabatan sebagai Inspektur Jenderal jalan raya. Akurasi peta gua yang berada di Rouffignac, Prancis, dikonfirmasi oleh pengukuran ulang 128 tahun kemudian yang dilakukan oleh Edward Alfred Martell.

Memasuki abad XIX, kegiatan pemetaan gua terus berkembang, terutama di Amerika Serikat, Belgia, Slovenia, dan Australia. Di Amerika Serikat, motivasi terbesar bagi kegiatan pemetaan gua adalah eksploitasi bahan galian sendawa. Pemetaan gua dengan alat ukur di Amerika Serikat dipelopori oleh John James Du Four dengan hasil berupa peta gua Great Saltpeter pada tahun 1805. Beberapa usaha untuk memetakan gua terpanjang di dunia, yaitu Gua Mammoth di Kentucky, juga dilakukan pada awal abad XIX. Salah satu karya yang dianggap paling akurat adalah peta gua Mammoth yang dibuat antara tahun 1834–1835 oleh seorang *surveyor* profesional bernama Edmund F. Lee.

Usaha untuk melanjutkan pemetaan gua Mammoth sempat terhenti karena pengelola melarang pengunjung memetakan gua yang

pada saat itu sudah dibuka sebagai objek wisata. Langkah pelarangan diambil karena pengelola khawatir dengan adanya peta baru yang dapat diakses oleh banyak pihak maka para pemilik tanah dapat mengetahui posisi lorong-lorong gua yang berada di bawah lahan mereka. Dikhawatirkan pihak-pihak lain akan berusaha membuat pintu masuk lain ke dalam gua. Kekhawatiran berikutnya adalah berkaitan dengan kebohongan pengelola wisata yang mengklaim bahwa panjang lorong gua Mammoth mencapai 600 mil (sekitar 965,6 km). Belakangan diketahui bahwa panjang lorong yang telah terpetakan hingga tahun 1952 baru mencapai antara 40 hingga 50 kilometer.

Dalam memetakan gua Mammoth, Lee diduga telah menggunakan alat ukur dengan akurasi tinggi, yaitu Teodolit. Alat ini, juga kompas transit, memang telah dipergunakan oleh para *surveyor* tambang sejak 1832, namun yang dianggap benar-benar telah mengawali penggunaan teodolit untuk mengukur gua adalah Hodgeson, yaitu ketika memetakan gua Ingleborough di Yorkshire, Inggris, pada 1838.

Masih di abad XIX, seorang penelusur gua asal Prancis bernama Edward Alfred Martel yang sejak usia kanak-kanak telah diperkenalkan pada lingkungan gua oleh seorang ahli palaeontologi yang tidak lain adalah ayahnya sendiri, telah berhasil mengembangkan teknik penelusuran serta metode pencatatan ilmiah bagi lingkungan gua. Hasil penelitian serta dokumentasinya pada gua-gua di Prancis dan sekitarnya telah mendorong berkembangnya pengetahuan manusia terhadap lingkungan yang sebelumnya dianggap asing itu.

Dalam bidang pemetaan gua, Martel merupakan orang pertama yang menulis tentang teknik-teknik pemetaan gua. Dalam tulisannya, Martel menjelaskan secara rinci tentang alat yang dipergunakannya, yaitu buku catatan bersampul kanvas berukuran 12x17 cm, dengan isi berselang-seling antara halaman kosong dan halaman dengan *grid* berukuran 1mm/1cm. Sebuah torehan dibuat pada sudut kanan atas buku catatan di mana sebuah kompas kecil dipasang.

Ketika memetakan gua, Martel dibantu seorang asisten yang bertugas membawa alat penerangan. Asisten ini berjalan mendahu-

luinya dan berhenti pada tempat terjauh yang dapat dilihat. Martel mengarahkan buku catatannya sesuai arah kompas, mencatat hasil pengukuran, lalu menarik garis pada lembar gambarnya. Garis inilah yang dipergunakan sebagai panduan menggambar situasi, sambil tetap menjaga buku catatan sejajar dengan arah kompas. Teknik yang digunakannya mirip dengan teknik penggambaran dengan *plane table* modern.

Untuk mengukur jarak, Martel hanya menggunakan langkah kakinya. Pengukuran jarak dengan menggunakan seutas tali yang telah ditandai hanya dilakukan pada medan yang sangat sulit. Dia tidak mencatat kemiringan pada lereng landai, namun ia memberi catatan bahwa lereng dengan tumpukan *boulder* selalu memiliki kemiringan antara 33 hingga 36 derajat (Martel, 1894).

Berbagai pencapaian ini membuat Edward Alfred Martel memperoleh penghargaan sangat tinggi di kalangan para ilmuwan. Penghargaan kepada Martel diwujudkan dengan penganugerahan gelar Bapak Speleologi.

Memasuki abad XX, jumlah penggiat speleologi di Amerika Serikat, Eropa dan Australia terus bertambah. Pada dekade 1920-an, di Benua Eropa mulai bermunculan organisasi-organisasi penelusuran gua, diikuti oleh munculnya organisasi-organisasi serupa di Amerika Serikat, hingga pada 1941, terbentuklah *National Speleological Society* (NSS) sebagai wadah bagi organisasi-organisasi penggiat speleologi di Amerika Serikat.

Teknik pemetaan gua kontemporer mulai berkembang berkat terbitnya buku Arthur Butcher berjudul *Cave Survey* pada 1950. Teknik-teknik pemetaan yang termuat dalam buku ini kemudian menjadi acuan bagi kegiatan pemetaan gua di negeri Inggris, dan pada akhirnya menyebar ke seluruh penjuru dunia. Pada tahun 1976, Bryan Ellis bekerjasama dengan *British Cave Research Association* (BCRA), Asosiasi Peneliti Gua Inggris, menyempurnakan karya Arthur Butcher dengan menulis buku berjudul *Surveying Caves*.

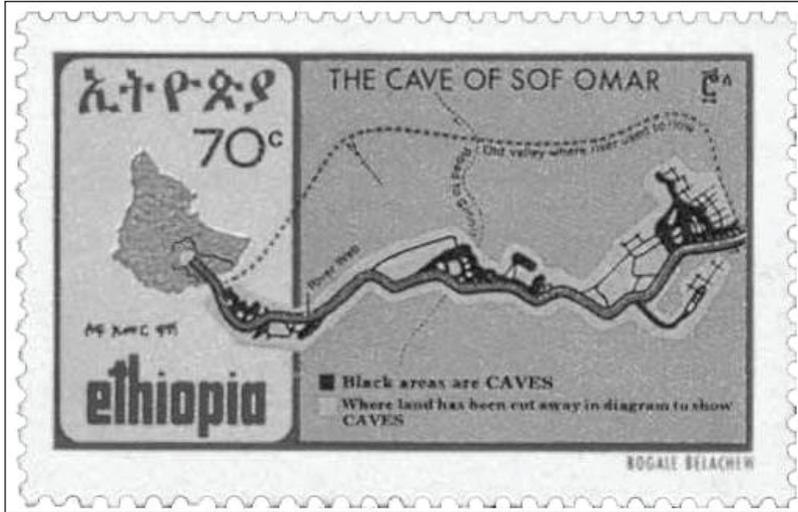
Inggris boleh disebut sebagai tanah kelahiran ilmu pemetaan guamodern. Namun, ilmu ini menempuh jalur perkembangan yang

berbeda di berbagai negara. Meski teknik dasar pengumpulan data, penghitungan dan penggambaran peta gua berpatokan pada teknik yang dipelopori BCRA, masing-masing negara yang telah memiliki sejarah panjang dalam speleologi cenderung mengembangkan gaya mereka sendiri, simbol-simbol peta tersendiri, dan menetapkan *grade* survei berbeda dari yang telah ditetapkan BCRA.

Dalam hal penggambaran peta, para *surveyor* gua dari Amerika Serikat (AS) pada umumnya mampu merekam dan menggambarkan kondisi lorong gua secara lebih rinci. Mereka, para penggambar peta Amerika, juga bersedia meluangkan lebih banyak waktu agar peta-peta mereka dapat tampil lebih menarik. Orion Knox dapat disebut sebagai orang yang bertanggungjawab atas lahirnya gaya peta gua yang menggabungkan karya teknis dan seni di AS. Karya monumentalnya yang membawa pengaruh bagi gaya peta di AS hingga saat ini adalah peta gua Pozo de Gavilan (Ganter, 1988).

Tingginya apresiasi para penelusur gua asal AS pada detail dan estetika peta gua ditunjukkan dengan penganugerahan penghargaan peta gua terbaik pada setiap acara konferensi tahunan yang diselenggarakan oleh NSS. Sementara di Inggris, BCRA juga menyelenggarakan kompetisi tahunan serupa dengan nama *Arthur Butcher Award*.

Pada umumnya, peta gua hanya diterbitkan secara terbatas di dalam kalangan speleologi. Namun, tahun 1983 pemerintah Etiopia menerbitkan satu seri perangko gua Sof Omar. Salah satu dari lima desain dalam perangko bernilai 70 sen adalah peta gua Sof Omar, sebuah gua primadona pariwisata Etiopia. Peta pada perangko tersebut dibuat oleh Eric Robson pada 1966 dengan lorong terukur sepanjang 8.000 meter, meski pada saat diterbitkan telah ada peta keluaran tahun 1972 hasil karya *British Speleological Expedition to Ethiopia* (BSEE) yang mencakup seluruh lorong sepanjang 15.000 meter (Breisch, 1991). Hingga kini, peta gua terpanjang di Etiopia itu merupakan satu-satunya peta gua yang pernah tercetak pada perangko.



Sumber: Breisch, R. (1991)

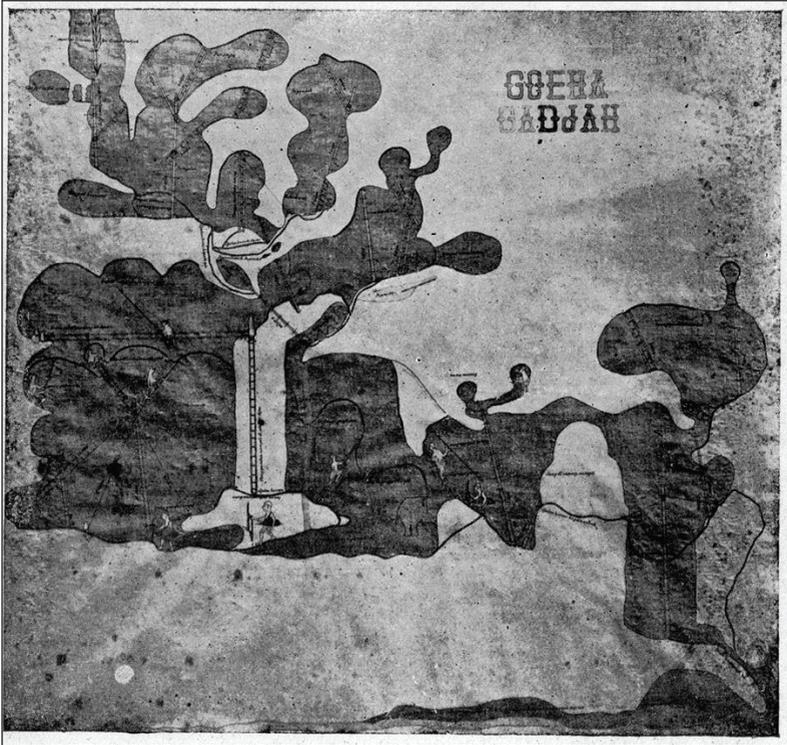
**Gambar 1.5** Perangko Peta Gua Sof Omar

Di Indonesia, catatan ilmiah paling awal tentang lingkungan gua yang sejauh ini dapat ditemukan adalah yang termuat dalam tulisan F. Grabowsky berjudul *Über seine Reisen in Süd-Ost Borneo*, diterbitkan di Berlin pada 1884. Grabowsky mendeskripsikan gua-gua di jajaran pegunungan Meratus, Kalimantan Selatan yang telah ia telusuri, di antaranya gua Batu Hapu dari kunjungannya pada 4 April 1882. Satu abad kemudian, tepatnya pada 8 Agustus 1982, berdasar referensi tulisan Grabowsky, suatu tim penelusur gua dari Prancis, melakukan survei pada gua ini (French Speleological Expedition, 1983). Kini gua Batu Hapu telah dikembangkan sebagai salah satu objek wisata andalan kabupaten Tapin.

Sejauh ini, peta gua tertua di Indonesia yang dapat ditemukan adalah yang termuat dalam artikel berjudul "Een Tocht Door Het Karang-Gebergte" (*de Tropische Natuur VIII (6-7)*) yang ditulis Beumée (1919). Dalam peta berjudul *Goeha Gadjah* (Gua Gajah), ditampilkan keberadaan tempat sarang burung *Aerodramus* spp, serta cara pengunduhan sarang burung di atap dan dinding gua.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Keberadaan Gua Gajah ini, telah diverifikasi oleh Cahyo Rahmadi, salah satu peneliti di Pusat Penelitian Zoologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), terletak di kawasan karst Cibinong, Jawa Barat, dan hingga saat ini masih dimanfaatkan sebagai penghasil sarang walet.



Sumber: Beumee, J. (1919)

**Gambar 1.6** Peta Goeha Gajah

Mulai tumbuhnya speleologi di Indonesia ditandai dengan berdirinya Specavina pada 1979. Sejak saat itu, kelompok tersebut mulai aktif melakukan pemetaan di berbagai gua di Indonesia. Sungguh disayangkan, organisasi ini tidak berumur panjang. Perpisahan terjadi antara dua tokoh tulang punggung kelompok ini, yaitu Norman Edwin

Buku ini tidak diperjualbelikan.

(alm) dan Robby Ko King Tjoen, yang kemudian lebih dikenal sebagai dr. Ko. Norman Edwin terus bergiat bersama organisasi Garbha Bumi, sedangkan dr. Ko mendirikan Himpunan Kegiatan Speleologi Indonesia (Hikespi). Melalui Lembaga ini dr. Ko banyak berperan dalam menyebarkan speleologi, hingga akhirnya memperoleh gelar sebagai bapak speleologi Indonesia.

Di Indonesia, Pemetaan gua yang dilakukan secara sistematis dengan tujuan untuk menemukan saluran-saluran air bawah tanah baru dimulai pada 1982 sebagai wujud kerja sama antara Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia dengan badan pembangunan luar negeri (*Overseas Development Administration*) Kerajaan Inggris Raya. Lima orang *surveyor* gua berpengalaman didatangkan untuk meneliti sistem air bawah tanah di kawasan karst Gunungsewu bagian tengah. Dalam waktu enam bulan, tim ini telah berhasil mengidentifikasi sebanyak 250 *entrance* (mulut gua), memetakan 60 dari seluruh 170 gua yang mereka telusuri, dengan jumlah panjang lorong terpetakan mencapai 28 kilometer.

Tahun berikutnya, penelitian dilanjutkan oleh tiga orang *surveyor*, masih dari Inggris, namun kali ini atas kemauan dan biaya sendiri. Hingga kini, laporan penelitian dari kedua tim ekspedisi ini masih menjadi referensi penting bagi siapapun yang berminat untuk menjelajahi atau mempelajari kawasan karst Gunungsewu. Tidak kalah penting, survei yang mereka lakukan telah memberi banyak manfaat bagi masyarakat, yaitu dengan keberhasilan pengangkatan air dari aliran-aliran sungai bawah tanah dari gua-gua yang telah mereka petakan. Di antaranya adalah pemanfaatan sungai bawah tanah di Gua Bribin dengan debit sebesar 1.500 liter per detik (pada saat pengukuran), dan sungai bawah tanah Gua Baron yang tiap detiknya melepaskan air 8.200 liter (pada saat pengukuran) ke Samudra Hindia (Mac Donald, Sir M. & Partners, 1984).

Dewasa ini, sebagian besar kegiatan pemetaan gua di Indonesia dilakukan oleh organisasi-organisasi pecinta alam, khususnya yang berasal dari lingkungan perguruan tinggi. Pada 1992, organisasi-organisasi pegiat penelusuran gua di Yogyakarta, membentuk forum

penelusur gua sebagai ajang berbagi ilmu dan keterampilan penelusuran gua. Pada perkembangannya, forum yang disebut sebagai Arisan Caving Yogyakarta (ACY) ini menjadi model terbentuknya forum serupa di berbagai daerah lain di Indonesia. Saat ini paguyuban-paguyuban penelusur gua telah berdiri antara lain di Solo, Banyumas, Semarang dan Jabodetabek.

### C. Kegunaan Peta Gua

Alasan kenapa peta begitu bermanfaat adalah karena manusia memiliki suatu kemampuan unik yang disebut sebagai *graphicy*. Kemampuan ini memungkinkan seseorang untuk langsung menangkap ide-ide tentang bagaimana tempat-tempat saling berhubungan dalam ruang, tanpa memerlukan langkah-langkah perantara yang lamban dan merepotkan sebagaimana bahasa (Ganter, 1984). Peta gua memiliki berbagai kegunaan, di antaranya:

- a. Sebagai bukti otentik bagi suatu tim yang mengaku sebagai tim yang pertama menelusuri gua, atau bagian tertentu dari gua tersebut.
- b. Sebagai acuan dalam mempersiapkan teknik dan kebutuhan penelusuran, pertolongan, atau penelitian di gua tersebut.
- c. Sebagai referensi bagi para ilmuwan yang objek penelitiannya berkaitan dengan gua dan lingkungannya. Hingga saat ini, peta gua telah banyak membantu para ahli dari berbagai latar belakang keilmuan, di antaranya geologi, geografi, biologi, paleontologi, arkeologi, hidrologi serta berbagai anak cabang dari ilmu-ilmu tersebut seperti hidrogeologi, sedimentologi, dan palinologi.
- d. Sebagai pembanding kondisi gua dari waktu ke waktu.
- e. Sebagai acuan bagi rencana pengembangan gua.
- f. Sebagai sumber informasi bagi kepentingan strategis pertahanan dan keamanan.

Peta gua merupakan dokumen yang dapat digunakan untuk berbagai kepentingan. Meskipun demikian, sejauh ini tidak ada badan resmi negara yang bertanggung jawab dan mampu membuat serta memublikasikan peta gua. Satu-satunya pihak yang mampu, dan dengan sendirinya mengemban tanggung jawab membuat peta gua adalah para penelusur gua sendiri.

## D. Tujuan Umum Survei Gua

Pemetaan atau survei gua dilakukan untuk mencapai tujuan tertentu. Prioritas pekerjaan tergantung pada tujuan yang ingin dicapai. Secara umum hal itu terangkum ke dalam tiga pengelompokan di bawah ini (White, 1986).

### 1. Survei Awal (*Reconnaissance*)

Survei awal lebih bertujuan pada pencarian lokasi eksplorasi atau ekspedisi untuk masa mendatang. Sumber daya manusia yang ada lebih dimaksimalkan melakukan kegiatan di permukaan, yaitu pelacakan mulut gua. Pemetaan bawah tanah dilakukan dalam waktu sangat terbatas. Untuk menghemat waktu, pemetaan dapat dilakukan dengan *grade* rendah, misalnya hanya menggunakan kompas dan langkah kaki untuk mengukur jarak.

### 2. Survei pada Daerah atau Sistem yang Telah Banyak Dijelajahi

Tujuan yang ingin dicapai adalah melengkapi peta yang sudah ada dengan melakukan survei pada lorong gua yang belum terpetakan atau belum ditemukan dalam kegiatan-kegiatan sebelumnya.

### 3. Survei pada Ekspedisi dengan Skala Penuh

Pada kegiatan semacam ini, tim survei memiliki harapan untuk menemukan gua-gua di suatu daerah baru. *Grade* standar pada kegiatan ini adalah *grade* 5 (BCRA). Penghitungan dan penggambaran peta sebaiknya dilakukan sesegera mungkin di lapangan.

Kerja keras para *surveyor* gua telah menghasilkan rekor dunia dalam berbagai kategori. Gua dengan lorong terpanjang di dunia

adalah sistem Gua Mammoth di Kentucky, Amerika Serikat (AS). Panjang seluruh lorong terpetakan di dalam sistem ini hingga Februari 2013 adalah 643 kilometer. Pemerintah AS menetapkan gua ini sebagai Taman Nasional pada 1 Juli 1941. Pada 1981 Badan PBB urusan pendidikan, sains dan kebudayaan, UNESCO, mencanangkan gua tersebut sebagai *world heritage*. Pada 1990, UNESCO kembali menetapkan Gua Mammoth sebagai *biosphere reserve*.

Predikat gua terdalam di dunia disandang Gua Krubera di kawasan batu gamping Arabika, Georgia. Sebuah tim ekspedisi gabungan yang terdiri dari 59 penelusur gua dari sembilan negara berhasil mencapai dasar Gua Krubera pada kedalaman 2.197 meter pada Agustus 2012. Pada terbitan pertama buku ini (2005), rekor gua terdalam adalah 2.080 meter pada gua yang sama.

Adapun kategori ruang bawah tanah terluas dipegang oleh Gua Nasib Bagus di Taman Nasional Gunung Mulu, Serawak, Malaysia. Gua ini memiliki sebuah *chamber* yang dinyatakan sebagai ruangan bawah tanah terluas di dunia dengan dimensi panjang 600 meter dan lebar 415 meter (Gillieson, 1996). Meski secara keseluruhan *chamber* di gua ini memiliki luas lebih dari 16 hektare dan volume ruang sebesar 9,57 juta meter kubik, namun angka itu masih berada di bawah pemegang rekor dunia dalam kategori volume ruang. Untuk kategori ini, pemenangnya adalah *chamber* Miao Room di Gebihe, Cina, yang memiliki volume ruangan sebesar 10,78 juta meter kubik dengan atap setinggi 191 meter.

Dalam kategori dimensi lorong, pada saat edisi pertama buku ini diterbitkan, juara dunia masih dipegang Gua Payau. Dari seluruh lorong sepanjang 1.725 meter di gua yang juga berada di Taman Nasional Gunung Mulu ini, tidak ada satu bagian pun yang lebar dan tingginya kurang dari 30 meter (Brook & Waltham, 1978). Namun, rekor tersebut harus berpindah tangan ketika pada April 2009, sekelompok *surveyor* gua dari Inggris menemukan Gua Son Doong di Taman Nasional Nha-Ke Bang, Vietnam.

Tidak terima dengan kekalahan itu, sebelum 2009 berakhir, pengelola Taman Nasional Gunung Mulu menggandeng tim survei

dari *Western Kentucky University* untuk memetakan ulang Gua Payau. Dibekali peralatan tercanggih, tim ini mampu mengukur secara akurat luas dan tinggi lorong serta volume ruang gua. Angka ini pun melonjak ketika para *surveyor* ini berhasil menggabungkan lorong Gua Payau dengan Gua Lang, yang berhasil mengembalikan gelar dunia kepada Gua Payau. Namun persaingan di antara dua raksasa tersebut tidak berakhir di situ. Pada April 2010, Gua Son Doong kembali mengemuka ketika tim BCRA menemukan lorong baru sepanjang dua kilometer di gua ini.

Statistik terakhir menyatakan lorong terbesar di Gua Son Doong memiliki lebar 200 meter dan tinggi 250 meter. Gua ini juga memiliki hutan bawah tanah seluas beberapa hektare dengan tinggi pohon mencapai 40 meter. Sementara itu, Gua Payau memiliki panjang lorong 4,1 kilometer, dengan lorong terlebar 168,7 meter dan rata-rata tinggi atap 120 meter. Pada akhirnya sangat sulit menentukan siapa pemenang di antara kedua raksasa ini. Sebab, selain belum ada standar pengukuran yang disepakati, kedua gua ini masing masing memiliki keunggulan dalam berbagai kriteria berbeda.

Dalam lingkup nasional Indonesia, gua yang dinyatakan sebagai gua terdalam adalah Gua Hatusaka di Pulau Seram dengan kedalaman 388 meter. Prestasi itu diraih tim gabungan ekspedisi internasional pada 1998 dan belum terpecahkan hingga sekarang. Dalam kategori panjang lorong, data yang pasti menunjukkan bahwa Gua Salukkan Kallang di Sulawesi adalah gua terpanjang di Indonesia, dengan panjang lorong 12,263 kilometer (Laumanns & Price, 2011).

Daftar pemegang rekor di atas dikumpulkan dari data terkini hingga menjelang buku ini diterbitkan. Dengan semakin meningkatnya intensitas penjelajahan dunia bawah tanah, baik di luar maupun di dalam negeri, kemungkinan berubahnya susunan pemegang rekor di atas masih sangat terbuka.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



## 2

# GRADE DAN KELAS PEMETAAN GUA

## A. Pembagian *Grade* Peta Gua

Peta gua memiliki tingkat akurasi hingga batas tertentu dalam merekam arah, kemiringan, dan panjang lorong gua. Tingkat akurasi ini sangat ditentukan oleh teknik yang diterapkan, keterampilan *surveyor*, dan juga performa alat-alat ukur yang dipergunakan. Unsur-unsur di atas, khususnya performa alat ukur, membuat suatu peta dapat diperkirakan akurasinya. Selanjutnya, peta dapat digolongkan ke dalam tingkatan-tingkatan yang terbagi sesuai akurasinya. Secara umum akurasi peta terbagi dalam tiga golongan (Ellis, 1976b), yaitu:

### 1. Sketsa

Suatu peta yang dibuat tanpa menggunakan alat ukur, memiliki tingkat akurasi sangat rendah.

### 2. Peta kasar

Dibuat saat waktu yang tersedia sangat terbatas, atau kondisi lorong sangat menyulitkan. Pengukuran dilakukan dalam kondisi yang tidak ideal, atau dengan alat yang memiliki tingkat akurasi rendah.

### 3. Peta akurat

Secara lebih khusus, survei gua digolongkan ke dalam tingkatan-tingkatan (*grade*) yang masing-masing memiliki standar jelas. *Grade* adalah penggolongan survei yang menunjukkan tingkat akurasi yang dapat dicapai pada pengukuran sudut dan jarak antara dua stasiun

survei. Sistem *grade* yang paling banyak digunakan di dunia, termasuk di Indonesia adalah sistem *grade* BCRA yang bersumber dari buku *An Introduction to Cave Surveying* oleh Bryan Ellis. Oleh Anthony Day (2002), sistem pembagian *grade* ini dikembangkan dan dituangkan dalam bentuk tabel dalam buklet BCRA yang berjudul *Cave Surveying*. Sebelum berganti tahun, buklet *Cave Surveying* ini telah diterbitkan dalam edisi baru, dengan revisi pada tabel pembagian *grade* survei. Kedua tabel di bawah ini, beserta catatan-catatannya, disusun dan diterjemahkan sebagaimana adanya seperti termuat dalam buklet *Cave Surveying* yang telah direvisi.

**Tabel 2.1** *Grade* yang dikeluarkan BCRA bagi Pengukuran *Centerline*

<b>Grade BCRA bagi pengukuran <i>centerline</i></b>
<p><b>Grade 1</b> Sketsa dengan akurasi rendah, di mana pengukuran tidak dilakukan.</p>
<p><b>Grade 2</b> (Dipergunakan hanya bila diperlukan, lihat catatan 7) Dilakukan hanya jika diperlukan. Berupa sketsa yang memiliki tingkat akurasi antara <i>grade</i>1 dan <i>grade</i> 3.</p>
<p><b>Grade 3</b> Survei magnetis kasar. Sudut horizontal dan vertikal diukur hingga <math>\pm 2,5^\circ</math>. Jarak diukur hingga <math>\pm 50</math> cm. Kesalahan posisi stasiun kurang dari 50 cm.</p>
<p><b>Grade 4</b> (Dipergunakan hanya bila diperlukan, lihat catatan 7) Dilakukan hanya jika diperlukan. Survei yang tidak memenuhi persyaratan untuk digolongkan sebagai <i>grade</i> 5, namun lebih akurat daripada <i>grade</i> 3.</p>
<p><b>Grade 5</b> Survei magnetis. Akurasi sudut horizontal dan vertikal diukur hingga <math>\pm 1^\circ</math>, jarak harus diukur dan dicatat hingga ke satuan cm terdekat dan posisi stasiun ditentukan hingga kurang dari 10 cm, kesalahan posisi stasiun kurang dari 10 cm.</p>
<p><b>Grade 6</b> Survei magnetis yang lebih akurat dari <i>grade</i> 5. (lihat catatan 5).</p>
<p><b>Grade X</b> Survei yang tidak dilakukan dengan kompas, melainkan terutama berdasar pada penggunaan teodolit atau <i>total station</i>. (lihat catatan 6 dan 9 di bawah ini).</p>

Sumber: Day (2002)

Catatan.

1. Tabel di atas merupakan suatu rangkuman dan diperuntukkan hanya sebagai bantuan untuk mengingat, definisi *grade* survei di atas harus dibaca sebagai suatu kesatuan dengan catatan-catatan di bawah ini.
2. Yang harus selalu dilakukan adalah mengikuti apa yang menjadi semangat dari definisi *grade* di atas, bukan terpancang pada angka-angkanya saja.
3. Untuk mencapai *grade* 3, klinometer perlu digunakan pada lorong yang memiliki kemiringan cukup besar.
4. Untuk mencapai *grade* 5, sangat penting melakukan kalibrasi secara benar terhadap peralatan survei. Semua pengukuran harus dilakukan dari suatu titik yang berada dalam lingkaran dengan diameter 10 cm, yang berpusat pada stasiun survei.
5. Survei *grade* 6 menuntut penggunaan kompas hingga batas akurasi tertinggi yang dapat dicapai. Misalnya akurasi hingga  $\pm 0,5^\circ$ , bacaan klinometer harus memiliki akurasi yang sama. Kesalahan posisi stasiun harus kurang dari  $\pm 2,5$  cm, untuk itu penggunaan tripod atau penanda *fixed station* yang lain (*roofhooks*) akan diperlukan pada tiap stasiun.
6. Pada peta *grade* X harus dicantumkan keterangan tentang jenis alat dan teknik yang dipergunakan. Diperlukan pula perkiraan akurasinya bila dibandingkan dengan survei *grade* 3, 5, atau 6.
7. *Grade* 2 dan 4 hanya dipergunakan pada suatu bagian gua yang kondisinya begitu berat sehingga tidak memungkinkan bagi *surveyor* melanjutkan survei dengan *grade* lebih tinggi dan untuk mengulang survei di masa depan dianggap sebagai tindakan tak praktis.
8. Organisasi-organisasi penelusur gua dan pihak-pihak lain, dianjurkan untuk mencantumkan tabel 1 dan tabel 2 dalam publikasi mereka, untuk mengutip ketiga tabel ini, tidak diperlukan ijin dari BCRA, **tetapi kedua tabel tersebut tidak boleh diperbanyak bila tanpa disertai oleh catatan-catatan ini.**

9. *Grade X* hanyalah merupakan *grade* yang memiliki potensi untuk lebih akurat daripada *grade 6*. Jangan pernah lupa bahwa teodolit/*total station* merupakan alat ukur berpresisi tinggi yang sangat rumit dan membutuhkan pelatihan memadai dan latihan teratur untuk menghindari terjadinya kesalahan dalam penggunaan.
10. Dalam tahap penggambaran, untuk mencapai *grade 5*, koordinat peta harus dihitung, bukannya digambar dengan tangan menggunakan penggaris dan busur.

## B. Klasifikasi Pemetaan Gua

Selain membagi pemetaan ke dalam beberapa *grade*, BCRA juga membuat suatu sistem klasifikasi. Penentuan tiap kelas didasarkan pada akurasi pengukuran detail penampang lorong. Unsur-unsur pengukuran detail penampang lorong meliputi jarak dari titik stasiun ke dinding kiri lorong, jarak dari titik stasiun ke dinding kanan lorong, dan jarak dari titik stasiun hingga ke atap lorong.

**Tabel 2.2** Klasifikasi BCRA Mengenai Pencatatan Detail Lorong Gua

Klasifikasi BCRA mengenai pencatatan detail lorong gua	
Kelas A	Seluruh detail lorong digambar berdasar ingatan.
Kelas B	Detail lorong diperkirakan dan dicatat di dalam gua.
Kelas C	Detail lorong diukur hanya di titik-titik stasiun survei.
Kelas D	Detail lorong diukur di tiap stasiun survei dan di mana saja yang dirasa perlu untuk menunjukkan perubahan yang berarti pada dimensi lorong.

Sumber: Day (2002)

Catatan.

1. Akurasi detail lorong sebaiknya sama dengan akurasi *centerline*.
2. Biasanya hanya satu dari kombinasi *grade* survei di bawah ini yang dipergunakan:
  - a. 1A
  - b. 3B atau 3C5C atau 5D6D
  - c. XA, XB, XC, atau XD.

Suatu pemetaan yang dilakukan di bawah tanah hanya dapat dibuktikan tingkat akurasinya apabila rangkaian *centerline* membentuk suatu poligon tertutup. Pembahasan lebih jauh mengenai poligon akan dijumpai pada Bab 4.

Sebagai alternatif, apabila pengukuran poligon tertutup sangat sulit dilakukan, dapat dipergunakan alat pemancar dan penerima gelombang elektromagnetik. Pemancar gelombang elektromagnetik diaktifkan di dalam lorong yang posisinya ingin diketahui dengan pasti, sedangkan alat penerima gelombang ditempatkan di permukaan untuk mencari titik yang berada tepat di atas pemancar. Titik ini kemudian dihubungkan dengan salah satu stasiun survei gua (biasanya stasiun terluar) melalui suatu jalur survei permukaan. Peta gua yang digambar setelah melalui koreksi posisi stasiun dengan bantuan alat elektromagnet akan memiliki *grade* dengan tambahan “/e” di belakangnya. Misalnya suatu survei dengan *grade* 5B akan menjadi 5B/e ketika telah dilakukan verifikasi posisi stasiun dengan menggunakan alat elektromagnetik.

BCRA bukanlah satu-satunya lembaga yang mengeluarkan standar pembagian *grade* dan klasifikasi pemetaan gua, namun dapat dikatakan sistem *grade* dan klasifikasi ini merupakan standar yang dipergunakan oleh *surveyor* gua hampir di seluruh dunia, dengan perkecualian Amerika Serikat, Australia, dan Swedia (Agrell, 2003).

Para pembuat peta gua di Amerika Serikat memang tidak pernah mempergunakan sistem *grade*. Untuk menyatakan akurasi, mereka hanya mencantumkan cara pengumpulan data. Dalam hal

ini, mereka mencantumkan peralatan yang dipergunakan, misalnya kompas Brunton *pocket transit*, pita ukur atau Suunto dan pita ukur fiberglass, dan sebagainya.

Sementara di Australia, dengan kenyataan bahwa BCRA telah melakukan beberapa kali perubahan pada *grade* mereka, dan perubahan-perubahan tersebut tidak selalu sampai dan menimbulkan kerancuan pada pengguna akhir maka *Australian Speleological Federation* (Federasi speleologi Australia) memutuskan untuk merombak sistem *grade* BCRA sehingga terciptalah sistem *grade* mereka sendiri (Anderson dkk., 1978).

**Tabel 2.3** Sistem *Grade* ASF

0	Tanpa <i>grade</i> .
1	Sketsa atau diagram berdasar ingatan. Tanpa skala.
2	Peta yang disusun berdasar catatan, sketsa, serta perkiraan arah dan jarak yang dibuat di dalam gua. Tidak menggunakan alat ukur.
3	Arah-arrah signifikan diukur dengan kompas. Jarak diukur menggunakan chord (misalnya waistloop, tali pengaman, tangga) yang panjangnya sudah diketahui, atau menghitung langkah atau panjang tubuh dengan hati-hati. Kemiringan signifikan diperkirakan.
4	Jalur pengukuran dengan kompas dan pita ukur, menggunakan stasiun yang sengaja dipilih (tidak harus ditandai secara permanen, tetapi lebih diutamakan yang memiliki tanda alam atau buatan). Jarak diukur dengan pita ukur, tali yang ditandai, atau <i>rangefinder</i> . Kemiringan diestimasi menggunakan klinometer sederhana, atau menggunakan perbandingan antara pengukuran horizontal dan vertikal.
5	Jalur pengukuran dengan kompas dan pita ukur. Arah diukur menggunakan kompas terkalibrasi (misalnya kompas Brunton prisma dengan suspensi cairan, atau semi supported). Sudut vertikal diukur dengan abney level terkalibrasi atau klinometer yang serupa. Jarak diukur dengan pita ukur logam atau fiberglass, atau menggunakan takimeter.
6	Jalur pengukuran dan/atau triangulasi menggunakan alat ukur terkalibrasi yang terpasang pada tripod guna mengukur arah dan sudut vertikal (misalnya kompas kehutanan). Jarak diukur menggunakan pita ukur terkalibrasi, atau takimeter presisi, atau subtense.

7	Jalur pengukuran dan/atau triangulasi terkontrol menggunakan teodolit kecil (misalnya Wild T12 atau T0, kompas kehutanan yang telah disesuaikan dan dilengkapi vernier) untuk mengukur arah dan sudut vertikal. Jarak diukur dengan pita ukur baja atau fiberglas yang telah terkalibrasi.
8	Jalur pengukuran dan/atau triangulasi menggunakan teodolit konvensional untuk mencapai persyaratan akurasi survei kadastral. Arah dan sudut vertikal diukur menggunakan teodolit busur kaca (misalnya Wild T1). Jarak diukur menggunakan pita ukur baja yang telah distandarkan, band, atau alat ukur jarak elektronik (EDM). Segala tindakan wajar untuk mencegah terjadinya kesalahan sistematis harus dilakukan. Pengukuran sipat datar dilakukan dengan <i>differential levelling</i> .
9	Jalur pengukuran dan/atau triangulasi dan/atau trilaterasi terkontrol presisi. Arah dan sudut vertikal diukur menggunakan teodolit "satu detik" (misalnya Wild T2) dengan constrained centering. Jarak diukur menggunakan pita ukur baja atau invar atau band atau EDM yang telah memenuhi standard. Pengukuran sipat datar lebih diutamakan menggunakan <i>differential levelling</i> .

Sumber: Anderson, dkk. (1978)

**Tabel 2.4** Standar *Grade* ASF

Grade	Presisi Pengamatan		Ekspetasi Akurasi	Keterangan
	Angular	Linear		
0	-	-	-	-
1	-	-	-	-
2	-	-	-	Apabila tidak dapat mencapai <i>grade</i> 3.
3	5°	0,5 m	10%	<i>Grade</i> yang dianjurkan untuk survei cepat.
4	2°	0,1m	5%	Apabila tidak dapat mencapai <i>grade</i> 5.
5	1°	5 cm	2%	<i>Grade</i> minimal yang dianjurkan. <i>Grade</i> tertinggi yang dapat dicapai tanpa cek magnetis.

Grade	Presisi Pengamatan		Ekspetasi Akurasi	Keterangan
	Angular	Linear		
6	15'	2 cm	1%	-
7	5'	1 cm	1/1000	-
8	20"	5 mm	1/5000	-
9	1"	0,5 mm	1/25000	-

Sumber: Anderson, dkk. (1978)

Dengan adanya dua sistem *grade* di atas, UIS sebagai lembaga speleologi dunia, merasa terpanggil untuk menyusun suatu sistem *grade* universal sehingga pada tahun 2010, lembaga ini pun menetapkan sistem *grade* UIS yang sebenarnya merupakan pengembangan dari sistem *grade* Australia. Hingga saat ini, sistem *grade* UIS hanya dipergunakan di Swedia. Berikut ini adalah sistem *grade* UIS (Häuselmann, 2011).

**Tabel 2.5** Sistem *Grade* UIS

-1	Tidak ada peta.
0	Tanpa <i>grade</i> .
1	Sketsa berdasar ingatan, tanpa skala.
2	Peta yang disusun dari berbagai catatan, sketsa, serta perkiraan yang dibuat di dalam gua. Tidak menggunakan alat ukur.
3	Arah diukur dengan kompas, jarak diukur dengan chord, langkah, atau dimensi tubuh. Kemiringan yang cukup terjal diukur berdasar perkiraan.
4	Survei dengan kompas dan meteran, menggunakan stasiun fix yang sengaja dipilih. Kemiringan diukur menggunakan klinometer, atau menggunakan komponen horizontal dan vertikal dari garis pengukuran.
5	Survei dengan kompas dan pita ukur. Arah serta kemiringan diukur menggunakan alat ukur terkalibrasi, jarak diukur menggunakan pita fiberglas atau logam, atau menggunakan takimeter.

6	Survei atau triangulasi menggunakan alat terkalibrasi yang terpasang pada tripod untuk mengukur arah dan kemiringan. Jarak diukur dengan pita terkalibrasi, takimeter presisi, atau alat semacam Disto X yang terkalibrasi.
X	Survei menggunakan teodolit atau yang serupa.

Sumber: Häuselmann (2011)

**Tabel 2.6** Standar Sistem *Grade* UIS

<i>Grade</i>	Presisi			Ekspetasi Rasio Kesalahan
	Angular	Linear	Klino	
-1	-	-	-	-
0	-	-	-	-
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	0,5 m	5°	-	Apabila tidak dapat mencapai <i>grade</i> 5.
4	0,1 m	2°	2°	<i>Grade</i> minimal yang dianjurkan. <i>Grade</i> tertinggi yang dapat dicapai tanpa cek magnetis.
5	0,05 m	1°	1°	-
6	0,02 m	0,25°	0,25°	-
X	variabel	-	-	variabel

Sumber: Häuselmann (2011)

### C. Akurasi dan Presisi Pemetaan Gua

*Grade* pemetaan ditentukan terutama oleh akurasi alat-alat ukur yang dipergunakan. Akurasi memiliki arti adanya kedekatan antara hasil pengukuran (angka rata-rata dari beberapa hasil pengukuran) terhadap nilai sebenarnya. Istilah akurasi sering rancu dengan istilah presisi yang berarti kedekatan antara angka-angka hasil pengukuran, terlepas dari akurasinya.

Dari penggolongan *grade* BCRA, menjadi jelas bahwa *grade* yang disediakan untuk dipilih hanya *grade* 1, 3, 5, 6 dan X. **Grade 1** adalah pilihan bagi survei dengan keterbatasan waktu atau keterbatasan peralatan pengukuran sudut dan jarak.

**Grade 3** diperoleh saat *surveyor* mempergunakan peralatan ukur sudut dengan akurasi hingga  $2,5^\circ$  dan kesalahan alat ukur jarak mencapai 50 cm untuk tiap stasiun survei. Langkah kaki *surveyor* atau panjang tubuh saat ia harus merayap ketika melalui lorong beratap rendah, sudah dapat dianggap sebagai alat ukur jarak yang memadai bagi pemetaan dengan *grade* ini. Peta yang dibuat dengan survei *grade* 3 dianggap sebagai peta darurat dan harus diusahakan segera diulang dengan *grade* lebih tinggi.

**Grade 5** dianggap sebagai *grade* standar dalam pemetaan gua. Meski pemetaan *grade* 5 dilakukan dengan peralatan yang lebih akurat dari pemetaan *grade* 3, namun waktu yang dibutuhkan untuk menjalankan pemetaan dengan kedua *grade* ini tidaklah jauh berbeda. Peralatan pengukur sudut horizontal yang direkomendasikan adalah kompas bermerek dagang Suunto, tipe K14/360 atau K14/360R. Bila kompas jenis ini sulit didapat, perannya dapat diganti kompas prisma yang berisi cairan, misalnya kompas militer Mark III atau tipe 06A.

Pengukuran sudut vertikal dianjurkan dilakukan dengan klinometer bermerek Suunto, tipe PM5/360. Apabila tidak ada, dapat dipergunakan klinometer cermin Watkin atau sebuah *abney level*. Alat ukur jarak harus terbuat dari bahan yang tidak mudah mengalami perubahan fisik, baik oleh perubahan lingkungan, misalnya suhu udara, maupun yang disebabkan oleh penggunaan. Salah satu bahan dengan

ketahanan fisik seperti ini, dan mudah dijumpai di pasaran adalah fibron. Untuk menjamin peralatan survei bekerja dengan baik, *grade* 5 mensyaratkan agar dilakukan kalibrasi bagi peralatan pengukur sudut di lapangan sebelum survei dilaksanakan.

**Grade 6** adalah *grade* pemetaan yang dapat mencapai akurasi tertinggi. Untuk meminimalkan kesalahan penempatan stasiun, pemetaan dengan *grade* 6 perlu dilakukan dengan bantuan tripod.

**Grade X** adalah pengukuran sudut horizontal yang tidak dilakukan dengan bantuan kompas, melainkan dengan alat ukur non-magnetis, yaitu teodolit atau *total station*. Teodolit yang dioperasikan secara benar dapat menghasilkan akurasi pengukuran melampaui akurasi yang dapat dicapai oleh *grade* 6. Keuntungan dari pemetaan dengan *grade* ini adalah pengukuran sudut horizontal yang terbebas dari gangguan magnetis.

Dikarenakan adanya akurasi relatif yang dimiliki peralatan survei, seorang *surveyor* seharusnya dapat memperoleh angka lebih akurat pada saat ia melakukan pengukuran vertikal daripada ketika ia melakukan pengukuran horizontal.

Ada ungkapan lama yang masih akan tetap relevan bagi para *surveyor* gua di masa kini dan masa mendatang, “*Surveyor* terbaik bukanlah mereka yang mengejar presisi ekstrem, melainkan mereka yang melakukan survei dengan presisi memadai sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai, tanpa menya-nyiaikan waktu dan biaya.”

Buku ini tidak diperjualbelikan.

# 3

## KOMPONEN PENGUKURAN DAN PERALATAN PEMETAAN GUA

### A. Komponen-Komponen Pengukuran dalam Pemetaan Gua

*Plan surveying* atau pengukuran tanah dengan berbagai macam variasinya, pada prinsipnya adalah kegiatan mengumpulkan data yang terdiri dari dua komponen, yaitu sudut dan jarak. Tidak terkecuali *plan surveying* yang dilakukan di dalam gua.

#### 1. Sudut

Ada beberapa cara untuk menyatakan besaran sudut, salah satunya dengan menggunakan satuan derajat. Dalam sistem ini, sebuah lingkaran dibagi ke dalam 360 satuan. Tiap satuan derajat masih bisa dibagi ke dalam satuan lebih kecil, yang dapat dilakukan dengan cara desimal (persepuluhan). Dengan cara ini, ketelitian pembagian satuan derajat dapat ditentukan dengan banyaknya angka di belakang koma. Semakin teliti pembagian sudut maka semakin banyak digit tercantum di belakang koma. Pemetaan hingga *grade 5* hanya memiliki ketelitian yang menyediakan tempat bagi satu angka di belakang koma dan angka tersebut adalah 5.

Cara pembagian sexagesimal (perenampuluhan) membagi satu satuan derajat ke dalam 60 satuan menit, dan satu satuan menit menjadi 60 satuan detik. Satuan terakhir lebih lanjut dibagi secara desimal.

Simbol-simbol yang dipergunakan dalam satuan derajat adalah:

derajat : °  
menit : ‘  
detik : “

Dalam kegiatan pemetaan, secara garis besar, pengukuran sudut dilakukan pada dua bidang. Sudut horizontal dipergunakan pada bidang horizontal, sedangkan sudut vertikal pada bidang vertikal. Sudut horizontal merupakan besaran yang menyatakan perubahan arah secara mendatar. Dalam bahasa sehari-hari, sudut horizontal dapat dinyatakan dengan arah kiri, kanan, depan, dan belakang, maupun arah mata angin, utara, selatan, timur, dan barat.

Berkaitan dengan kegiatan survei dan navigasi, sudut horizontal baru dapat dipergunakan hanya apabila ia dapat dikonotasikan kepada arah mata angin. Oleh sebab itu, dalam navigasi dan survei (kecuali survei dengan *grade X*) variabel sudut horizontal yang diukur adalah berupa angka-angka azimut.

Azimut berarti sudut yang diukur searah jarum jam dari sembarang meridian acuan (Brinker dkk., 1986). Untuk selanjutnya, meridian acuan yang akan kita pergunakan adalah arah utara magnet. Ini berarti, yang dimaksud dengan azimut dalam buku ini adalah sudut yang diukur searah jarum jam dari arah utara magnet.

Arah yang berlawanan dengan azimut disebut azimut balik. Antara azimut dan azimut balik terdapat selisih sebesar  $180^\circ$ . Azimut sebesar  $180^\circ$  atau lebih memiliki azimut balik sebesar angka besar sudutnya dikurangi 180. Sedangkan azimut yang besarnya kurang dari  $180^\circ$ , azimut baliknya adalah bilangan tersebut ditambah dengan 180. Misalnya azimut suatu objek dari tempat kita berdiri adalah  $90^\circ$  (timur) maka azimut balik adalah besarnya sudut antara arah pandang objek terhadap kita dengan arah utara (magnet), yaitu  $90^\circ + 180^\circ = 270^\circ$ , atau dalam bahasa sehari-hari disebut barat. Saat kita menunjuk kepada seseorang yang berada di sebelah timur, orang tersebut akan menganggap kita berada di sebelah baratnya.

Sudut vertikal mewakili perubahan arah secara tegak. Peristilahan sehari-hari yang berkaitan dengan sudut vertikal antara lain adalah: naik, turun, datar, landai, dan terjal. Dalam pemetaan, ada dua sistem yang dipergunakan untuk mengukur besarnya sudut vertikal. Perbedaan mendasar antara dua sistem tersebut adalah penentuan titik nol. Sistem pertama menentukan angka nol pada posisi horizontal sempurna, sedangkan sistem kedua menentukan angka nol pada titik zenit, yaitu titik yang berada tepat di atas kita.

## 2. Jarak

Teknik pemetaan gua kontemporer dikembangkan di Inggris. Di negara itu, untuk menyatakan jarak (panjang) dipergunakan satuan-satuan yang ditetapkan dalam sistem imperial. Sungguh beruntung, sistem yang lahir pada abad pertengahan itu tidak diterapkan di Indonesia. Dengan sistem metrik yang kita pergunakan, pembagian dan perkalian satuan jarak dilakukan dengan cara sangat sederhana dan jelas sehingga memudahkan penggunaannya dalam melakukan estimasi dan kalkulasi.

Standar dari pengukuran dengan sistem metrik adalah meter. Pada awalnya, penetapan satuan meter ditetapkan berdasar panjang 1/10.000.000 kuadran meridional Bumi. Dalam perkembangannya, standar meter ditetapkan sebagai interval dalam kondisi fisis tertentu antara garis-garis pada sebuah batang "Bentuk-dasar Internasional" yang dibuat dari 90% platina dan 10% iridium, dan diakui sama dengan 39,37 inci (Brinker dkk., 1986). Standar Internasional ini kini disimpan di Prancis. Pada 1960, dalam suatu acara bertajuk *General Conference on Weights and Measures* (GCMF), satuan meter ditetapkan ulang dengan cara lain yang memungkinkan bidang-bidang industri untuk dapat melakukan pengecekan terhadap instrumen-instrumen mereka sendiri, tanpa perlu mendatangi tempat-tempat di mana batang meter standar atau duplikatnya disimpan. Dengan cara baru tersebut, satuan meter ditetapkan sebagai panjang dari 1.650.765,73 gelombang sinar merah-jingga yang dihasilkan oleh pembakaran unsur krypton (Kr-86).

Perbandingan antara sistem imperial dan sistem metrik adalah:

1 kaki = 0,3048006 meter

1 meter = 3,2808 kaki

## B. Peralatan Pemetaan Gua

Untuk mendapatkan data berupa komponen pengukuran, dipergunakan peralatan yang sesuai dengan tujuannya. Pengukuran sudut dilakukan dengan kompas dan klinometer, sedangkan pengukuran jarak dapat dilakukan dengan berbagai macam alat.

### 1. Kompas

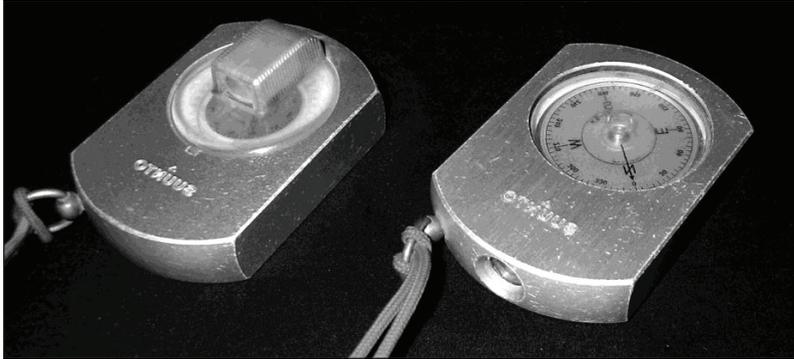
Kompas dipergunakan untuk mengukur komponen pengukuran pertama, yaitu sudut, dalam hal ini berupa azimuth. Komponen utama dari alat ini adalah sebuah lempengan logam (*dial*) yang memiliki gaya magnet. Pada lempengan logam terdapat angka-angka atau simbol yang menandai bagian dari lempengan yang tertarik oleh kutub utara magnet Bumi.

Berdasar fungsinya, secara umum kompas dapat digolongkan ke dalam dua kelompok, yaitu kompas bidik dan kompas orientasi. Kompas bidik memiliki seperangkat alat bidik dari mana dapat dilakukan pembidikan pada suatu objek dan pada angka yang tertera di dalam kompas. Kompas bidik dapat memberi hasil bacaan yang lebih akurat bila dibandingkan kompas orientasi. Oleh karena itu, ia lebih sesuai dipergunakan dalam pembuatan peta gua. Meski demikian, bukan berarti kompas orientasi tidak dapat dipergunakan untuk tujuan ini. Kompas dengan ketelitian hingga satu derajat akan menjadikan suatu survei memiliki *grade* 5 BCRA.

Contoh dari kompas yang dapat digunakan dalam pemetaan *grade* 5 adalah kompas Suunto tipe K14/360 atau K14/360R. Alternatif yang direkomendasikan adalah kompas prisma yang berisi cairan, misalnya kompas militer Mark III atau tipe 06A.

Kompas K14/360 yang dipergunakan dalam pemetaan gua dengan *grade* 5 adalah suatu alat optik. Artinya, pembacaan dilaku-

kan melalui sebuah lensa atau prisma. Meski demikian, pembacaan langsung dengan akurasi lebih rendah dapat dilakukan melalui jendela di bagian atas alat ini.



**Gambar 3.1** Kompas Suunto K14/360 dan K14/360R



**Gambar 3.2** Posisi Pembacaan Kompas Suunto

## 2. Klinometer

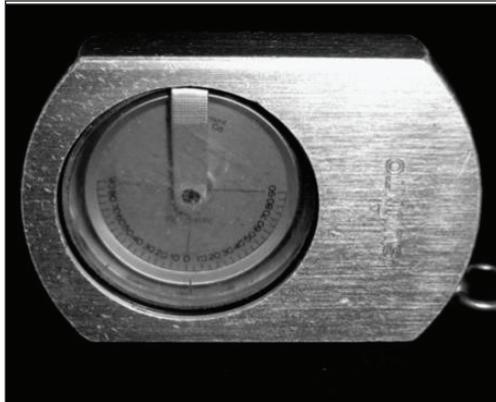
Sebutan lengkap bagi alat pengukur sudut vertikal (kemiringan) ini adalah *inclinometer*, yang artinya sendiri adalah pengukur kemiringan. Sebutan yang lebih umum dipergunakan adalah klinometer, dan terkadang masih disingkat lagi menjadi klino.

Sebagaimana presisi yang ditetapkan bagi kompas, klinometer juga membutuhkan presisi sebesar satu derajat untuk layak dipergunakan sebagai instrumen pengukuran *grade* 5 BCRA. Klinometer bermerek dagang Suunto dengan tipe PM-5 memenuhi syarat tersebut dan memiliki akurasi bacaan hingga 1 derajat atau 1%.

Untuk memenuhi kebutuhan pemakaian yang berbeda-beda, Suunto PM-5 diproduksi dengan beberapa varian yang masing-masing hanya berbeda pada skala yang dipergunakan, namun di buku ini kita hanya akan membahas varian Suunto PM-5/360 PC yang menggunakan skala derajat pada dan persen. Dua skala tersebut dapat dilihat melalui lensa okuler sebagai dua deret angka. Deret angka di sebelah kanan adalah persentase, dan deret angka sebelah kiri adalah derajat. Presentase adalah perbandingan antara jarak datar dari pengamat ke objek dengan bedaketinggian antara pengamat dan objek tersebut. Seandainya jarak datar adalah 10 meter, sedangkan beda tinggi adalah 5 meter maka akan diperoleh angka kemiringan sebesar 50%,  $(5:10) \times 100\% = 50\%$ . Apabila dibaca dalam satuan derajat maka angka ini setara dengan  $27^\circ$ . Kecuali untuk tujuan yang jelas, selalu pergunakan angka-angka yang tertera pada deret sebelah kiri.

Klinometer digunakan dengan cara membidikkannya pada suatu objek. Menggunakan klinometer Suunto PM-5, si pembidik mengarahkan satu matanya ke objek sementara mata yang lain membaca deret angka melalui lensa okuler. Nilai sudut inklinasi adalah angka yang berada pada garis rambut mendatar di tengah lensa bidik. Pada posisi mendatar sempurna, kedua deret angka akan menunjukkan angka 0. Angka positif akan semakin bertambah ketika klinometer diarahkan semakin ke atas. Sebaliknya, angka negatif juga semakin besar saat klinometer diarahkan ke bawah.

Beberapa perusahaan alat survei, di antaranya Suunto, Sisteco, dan Silva telah memproduksi klinometer dan kompas yang digabungkan menjadi satu, dan disebut sebagai kompas tandem Suunto juga melengkapi pilihan dengan menyediakan klinometer dengan penerangan *tritium*, yang dapat menyala tanpa sumber tenaga tambahan.



**Gambar 3.3** Klinometer Suunto PM-5



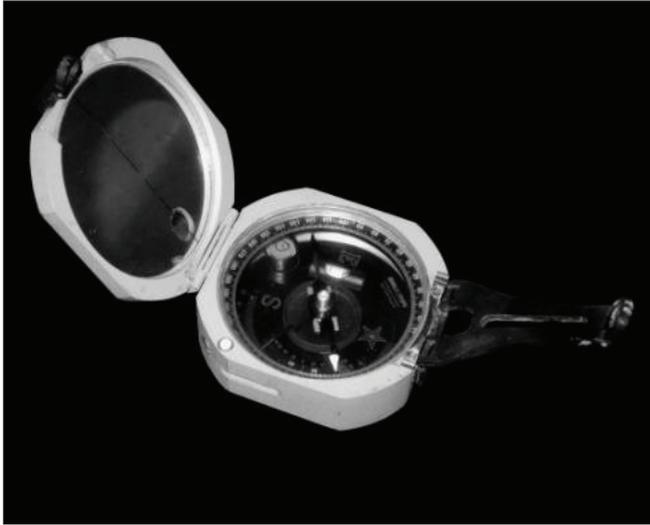
**Gambar 3.4** Posisi Pembacaan Klinometer



**Gambar 3.5** Suunto Tandem

Brunton *pocket transit* adalah kompas yang memiliki kemampuan ganda, sebagai kompas sekaligus sebagai klinometer sehingga dapat juga dipergunakan untuk mengukur struktur geologi. Kompas ini juga dilengkapi dengan tabung nivo untuk menjaga kedataran kompas saat dipergunakan. Selain presisi, keunggulan Brunton adalah dapat dibongkar pasang sehingga sangat memudahkan untuk mengeringkan kompas ketika kemasukan air. Di kalangan para *cave surveyor* Amerika utara, Brunton *pocket transit* pernah menjadi pesaing tangguh bagi Suunto.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



**Gambar 3.6** Kompas Brunton Pockettransit

**Tabel 3.1** Perbandingan Alat Ukur Arah

Alat	Kelebihan	Kekurangan
Suunto K140	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Akurasi memadai.</li> <li>2. Lebih sesuai untuk medan berair dan berlumpur.</li> </ol>	Suspensi hidrolik rentan terhadap munculnya gelembung.
Suunto tandem	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Akurasi memadai.</li> <li>2. Lebih sesuai untuk medan berair dan berlumpur.</li> <li>3. Dilengkapi dengan klino.</li> </ol>	Suspensi hidrolik rentan terhadap munculnya gelembung.
Brunton pockettransit	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Akurasi memadai.</li> <li>2. Dapat berfungsi sebagai klino.</li> <li>3. Mudah dibongkar pasang</li> </ol>	Kurang sesuai untuk medan berair dan berlumpur

### 3. Alat Ukur Jarak

Untuk mendapatkan komponen data survei yang kedua, yaitu jarak, digunakan alat ukur jarak. Alat seperti ini tersedia dalam berbagai pilihan, mulai dari yang paling sederhana dan mudah diperoleh, seperti meteran gulung, hingga yang menggunakan teknologi tinggi seperti misalnya *laser distometer*.

### 4. Pita Ukur

Pita ukur atau *roll meter* dipergunakan untuk mengukur jarak antara dua stasiun pemetaan dan detail lorong (untuk pemetaan dengan kelas C dan D). Untuk pemetaan *grade 5* (BCRA) dipergunakan pita ukur dari bahan PVC yang diperkuat oleh *fiberglass* (Fibron) dengan panjang 30 meter. Bahan Fibron dipilih karena ia lebih tahan terhadap kemuluran saat ditarikkencang apabila dibandingkan dengan pita plastik atau linen. Ia juga lebih tahan terhadap karat bila dibandingkan pita ukur logam. Panjang 30 meter ditentukan berdasar jarak maksimal antarstasiun yang direkomendasikan untuk menekan kesalahan. Pita ukur dengan wadah terbuka lebih mudah dibersihkan dari lumpur dibanding dengan pita ukur yang menggunakan wadah tertutup.

Pengukuran jarak antar stasiun dilakukan dengan merentangkan pita ukur pada dua stasiun. Tinggi ujung pita ukur dari lantai stasiun harus sama dengan tinggi ujung yang lain dari lantai. Baca angka pada bagian yang berada tepat di atas titik stasiun. Pastikan membaca angka pada sisi yang benar karena biasanya pita ukur memiliki satuan metrik di satu sisi, dan satuan imperial di sisi sebaliknya.



**Gambar 3.7** Pita Ukur Fiber dengan *Casing* Terbuka

## 5. Topofil

Jarak juga dapat diukur dengan menggunakan *topofil*. Alat ini sebenarnya adalah sebuah odometer atau *revolution counter* yang akan berputar apabila gulungan benang yang terpasang pada porosnya ditarik keluar. Jarak antara dua titik pengukuran diketahui dengan menentukan selisih antara angka odometer sebelum dan setelah benang ditarik.



**Gambar 3.8** Topofil Swayasa

Pada gambar 3.8 paling kiri adalah bagian dalam topofil diletakkan dalam posisi telentang. Paling kanan adalah saat ia dikenakan di dalam wadah terpal.

*Topofil* tertentu dilengkapi dengan alat ukur arah dan alat ukur kemiringan. Azimut antar stasiun dapat diketahui dengan menyejajarkan arah utara kompas dengan *topofil*, selanjutnya tempatkan kompas di bawah benang yang terentang, hingga posisi benang tepat melintasi sumbu jarum kompas. Angka yang tepat berada di bawah benang yang mengarah ke stasiun berikutnya adalah azimut stasiun tersebut (Warild, 1990).

Kemiringan lereng antarstasiun diperoleh dengan cara yang sama dengan pengukuran azimut, namun dengan menggunakan alat klinometer yang terpasang pada unit *topofil*.

Keunggulan *topofil* akan terlihat saat ia dipergunakan untuk mengukur jarak pada suatu bidang vertikal. Tidak seperti pita ukur, penggunaan *topofil* pada bidang vertikal tidak terbatas hingga jarak 30 meter, jarak berapa pun dapat dicakup dalam satu kali pengukuran sepanjang benang di dalam gulungannya mencukupi, dan tidak ada hembusan angin kencang atau air terjun pada bidang vertikal tersebut.



**Gambar 3.9** Hipchain atau Topofil Pinggang Chainman II

## 6. Laser Distometer

Alat ukur jarak elektronik disebut dengan nama *range finder*, dibuat untuk dipergunakan tanpa menarik pita atau benang dari ujung ke ujung. *Range finder* terkini mengukur jarak dengan menggunakan teknologi laser, oleh sebab itu ia dinamakan sebagai *laser range finder* atau *laser disto*. Alat ini menyediakan berbagai kemudahan bagi tim survei gua, tim survei tidak lagi perlu menarik-narik dan menggulung pita ukur selama melakukan pemetaan. Untuk mengetahui jarak dari stasiun ke titik sasaran, seorang *shooter* hanya perlu menekan tombol. Dalam pengukuran *left, right, up, down* (LRUD), di mana

penampang lorong diukur pada dinding kiri, dinding kanan, atap, serta lantai, penggunaan alat *laser disto* akan menambah kecepatan dan akurasi pengukuran, khususnya bagi pengukuran pada atap gua. Dengan alat ini, pemetaan dengan kelas D dapat dilakukan dengan kecepatan pemetaan kelas C. Dari segi akurasi, *laser disto* mampu mengukur jarak hingga satuan milimeter. Terdapat berbagai merek dan tipe *laser disto* di pasaran dengan spesifikasi kemampuan yang berbeda-beda. *Laser disto* Leica 2D misalnya, memiliki kemampuan mengukur jarak antara 0,5 hingga 60 meter dengan klaim akurasi mencapai 1,5 milimeter.

Di samping berbagai kemudahan, menggunakan *laser disto* di dalam gua juga dapat memunculkan kesulitan-kesulitan yang tidak dijumpai pada penggunaan alat konvensional. Suatu kesulitan yang pasti dijumpai adalah ketika melakukan bidikan tepat pada jarak jauh. Diameter berkas sinar laser yang cukup kecil, akan sulit ditemukan pada jarak beberapa puluh meter. Selain itu, gerakan sekecil apapun dari pemegang alat akan menyebabkan titik merah kecil itu bergerak liar di sekitar sasaran. Semakin jauh sasaran, semakin lebar radius gerakannya sehingga pada saat dilakukan pengukuran, titik merah itu dapat menyapu objek apa saja yang berada di sekeliling target. Hal seperti ini dapat mengakibatkan alat tersebut bukannya mengukur tepat di sasaran, melainkan justru mengukur jarak objek lain yang berada jauh di depan atau di belakang target. Keadaan seperti ini juga dapat mengakibatkan terjadinya *error*.

Satu kesulitan lagi bagi pengguna *laser disto* di dalam lorong gua dapat terjadi akibat gangguan dari kabut yang disebabkan oleh kelembaban tinggi dan suhu tubuh manusia. Setelah mencapai tingkat kepekatannya tertentu, lapisan kabut tersebut akan mampu menggagalkan pengukuran.

Gangguan lain yang dapat dialami ketika menggunakan *laser disto* adalah tetesan-tetesan air dari atap gua atau dari ornamen. Cahaya yang dipancarkan oleh alat ini akan sangat sulit mencari celah melalui tetesan-tetesan air tersebut (Laksmana dkk., 2013).



**Gambar 3.10** Laser Disto Leica D330i

Di dalam buku petunjuk penggunaan *laser disto* Leica 2D, memang dijelaskan bahwa *error* pengukuran dapat terjadi ketika mengukur pada cairan tak berwarna (misalnya air), atau kaca yang tidak berdebu, *styrofoam* atau permukaan yang bersifat *semi permeabel*. Mengarahkan pada permukaan yang sangat mengkilat dapat berakibat pemantulan sinar laser yang menyebabkan terjadinya *error* pengukuran. Selain sebab-sebab tersebut, *error* juga dapat terjadi apabila alat terkena panas atau dingin yang berlebihan. *Error* juga dapat disebabkan oleh sinyal yang diterima terlalu lemah atau terlalu kuat, waktu pengukuran terlalu lama, latar belakang terlalu terang, dan sasaran berada di luar jarak jangkauan. Sebagai sebuah perangkat elektronik, alat ini juga dapat mengalami *hardware error*, atau kerusakan pada perangkat kerasnya, misalnya sebagai akibat dari benturan keras.

Selama menggunakan alat laser disto, jangan pernah mengarahkan sinar langsung ke mata. Sinar laser kelas 2 yang dipancarkan oleh alat itu dapat menyebabkan kerusakan pada mata.

**Tabel 3.2** Perbandingan Alat Ukur Jarak

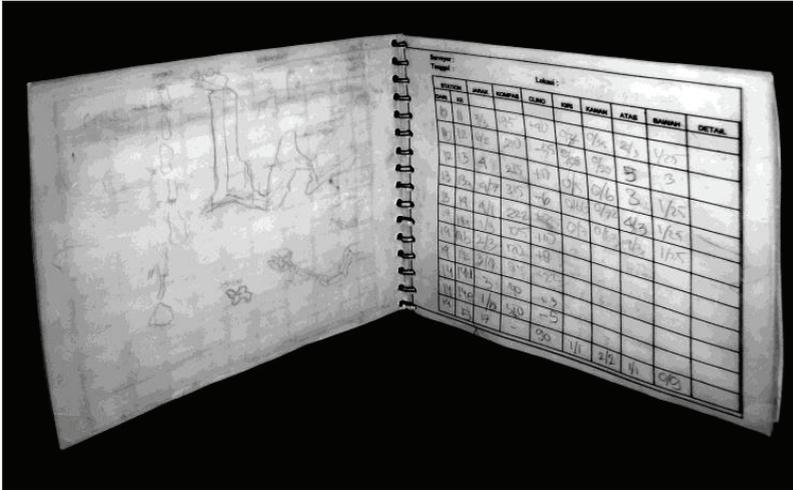
Alat	Kelebihan	Kekurangan
Pita ukur baja	Tidak mengalami kemuluran Tidak mudah putus	Mudah berkarat dalam lingkungan gua
Pita ukur fiber	Tahan karat	Rentan putus, terutama pada bagian ujung
Topofil	Ideal untuk pengukuran <i>pitch</i> dalam	Harus selalu mengumpulkan sampah benang
Laser disto	Akurasi tinggi	Rentan mengalami gangguan pengukuran atau bahkan kerusakan akibat kelembaban

### C. Perlengkapan Survei

Selain peralatan utama yang dipergunakan untuk mengukur sudut dan jarak, perlengkapan pendukung di bawah ini juga diperlukan dalam kegiatan survei gua.

#### 1. Buku Catatan

Semua data berupa angka, sketsa, dan keterangan tambahan yang dikumpulkan selama pemetaan direkam dalam suatu buku catatan. Buku ini terbuat dari bahan tahan air agar tidak rusak saat dipakai di dalam lorong berair atau berlumpur. Buku semacam ini dapat dibeli, atau dibuat sendiri dari kertas *Kodatrace*, yang (apabila beruntung) dapat diperoleh di toko peralatan sablon terdekat, dan dilindungi dengan sampul dari bahan plastik atau mika tebal. Buku catatan pemetaan gua sebaiknya memiliki halaman yang berisi tabel pengambilan data serta halaman kosong untuk menggambar sketsa gua.



**Gambar 3.11** Buku Catatan Pemetaan Gua

## 2. Alat Tulis

Angka-angka dan sketsa sebaiknya dibuat dengan menggunakan pensil lunak (B). Pensil jenis ini menghasilkan garis-garis hitam yang lebih pekat sehingga lebih mudah untuk dilihat. Untuk mengatasi salah tulis atau salah gambar, selalu sediakan karet penghapus.

## 3. Alat Penerangan

Alat-alat pengukur sudut yang dipergunakan dalam pemetaan gua baru dapat dibaca apabila mereka memperoleh cukup cahaya yang jatuh pada sudut yang tepat. Cahaya matahari di luar gua sudah cukup untuk menerangi deret angka baik pada klinometer maupun pada kompas. Adapun di dalam gua, lampu-lampu penerangan yang dipakai para penelusur, meskipun sangat terang, namun tanpa sudut jatuh cahaya tidak tepat, tidak akan dapat menerangi pembacaan kedua alat ukur ini.

Ketika membaca angka-angka dalam kompas dan klinometer, seorang *shooter* harus membawa alat penerangan tambahan. Alat penerangan yang digunakan untuk tujuan ini tidak perlu sangat terang.

Hal yang lebih penting adalah bahwa alat ini terbuat dari bahan selain logam yang dapat memengaruhi medan magnet (*ferromagnetic metal*), misalnya besi dan baja, serta tidak memiliki bagian yang terbuat dari magnet.

Kelembaban dan air yang masuk ke dalam instalasi listrik di dalam senter dapat menyebabkan terbuangnya energi listrik secara sia-sia, dan dalam jangka waktu lama dapat menyebabkan pengamatan dan kerusakan. Untuk menghadapi kelembaban dan air yang bukan hal asing di dalam gua, sebaiknya gunakan senter kedap air.

Saat dipergunakan menerangi kompas, senter harus dijaga agar tidak berada terlalu dekat. Meskipun ia terbuat dari bahan yang tidak menimbulkan gangguan magnetis, arus listrik searah yang ditimbulkannya dapat menimbulkan gangguan ini.



**Gambar 3.12** Beberapa macam alat penerangan listrik kedap air yang tidak menyebabkan banyak gangguan magnetis.

#### 4. *Marker*

*Marker* atau penanda titik stasiun diperlukan untuk menandai tempat-tempat pada dinding, lantai atau atap gua yang telah dipergunakan sebagai stasiun. Titik stasiun dapat ditandai secara sederhana, misalnya dengan cat berwarna terang berupa titik atau tanda silang berukuran kecil.

Untuk pemetaan dengan akurasi tinggi, perlu dipasang *marker* permanen, biasanya berupa baut yang dipasang pada lubang bor. Pemasangan *marker* permanen merusak keaslian gua. Oleh karena itu, usahakan agar pemasangannya tidak dilakukan berlebihan dan tidak terlalu menonjol tetapi masih dapat dikenali dalam jangka waktu lama.



**Gambar 3.13** *Marker* Permanen

## D. Alat Survei Elektronik

Perkembangan terakhir dalam peralatan pemetaan gua ditandai oleh hadirnya perangkat pengukuran elektronik. Sebagaimana para pendahulunya, alat-alat mutakhir ini sebenarnya tidak secara khusus diproduksi untuk keperluan pemetaan gua. Namun demikian, para *surveyor* gua yang jeli telah menangkap bakat yang mereka miliki sehingga membawa alat-alat canggih tersebut ke dalam praktik pemetaan gua.

Semua alat ukur yang digunakan dalam kegiatan pemetaan gua telah dibuat dalam versi elektronik. Alat ukur arah (kompas) serta alat ukur kemiringan (klinometer) telah muncul dengan versi digital, dan tentu saja alat *laser disto* yang telah dibahas sebelumnya.

Kemunculan alat ukur elektronik dalam dunia pemetaan gua disertai mitra kerja yang tak kalah canggih, yaitu alat pencatat elektronik. Alat pencatat ini berupa *personal computer tablet* atau *Personal Digital Assistance* (PDA) yang telah dilengkapi perangkat lunak perekam data survei.

Sebagai generasi yang lahir belakangan, alat-alat survei elektronik memiliki sederet keunggulan bila dibandingkan alat survei konvensional. Keunggulan pertama adalah kemampuan untuk melakukan pengukuran dengan tingkat akurasi lebih tinggi. Keunggulan berikutnya adalah mereka dilengkapi oleh fasilitas manajemen data, artinya alat-alat ini dapat menyimpan data lapangan dan memindahkan data tersebut ke perangkat komputer pengolahan data. Keunggulan ketiga, yang hanya dimiliki alat survei elektronik tertentu adalah kemampuan melakukan tiga fungsi pengukuran sekaligus. Contoh alat yang diproduksi dengan kemampuan mengukur jarak, kemiringan, sekaligus arah lorong adalah alat ukur dengan merek dagang Kombi (Widjanarko, 2005).

## E. Kalibrasi Alat Ukur

Untuk memastikan alat survei dapat bekerja dengan baik, setiap akan dipergunakan, alat-alat tersebut harus dikalibrasi terlebih dahulu.

### 1. Kalibrasi Kompas

Kalibrasi pada kompas dilakukan dengan membidikkannya dari titik pertama ke titik kedua. Bidikan kedua dilakukan dari titik kedua ke titik pertama. Angka yang diperoleh dari pembidikan kedua harus merupakan azimut balik dari angka hasil pembidikan pertama.

Cara kedua untuk melakukan kalibrasi kompas adalah dengan melakukan pembidikan dari suatu tempat ke tempat lain yang keduanya terlihat jelas pada peta rupa Bumi, dan yang berada pada jarak cukup berjauhan, misalnya dari suatu persimpangan jalan ke arah jembatan.

Cocokkan angka hasil bacaan kompas dengan angka yang diperoleh dari pengukuran sudut antara kedua titik pada peta terhadap arah utara sebenarnya. Apabila terdapat selisih maka besarnya selisih tersebut adalah angka koreksi bacaan kompas yang harus disertakan pada saat pengolahan data pengukuran.

### 2. Kalibrasi Klinometer

Tidak seperti medan magnet yang mudah terpengaruh oleh berbagai faktor, gravitasi cenderung seragam di seluruh muka Bumi. Tentu saja gravitasi tetap mengalami penyimpangan, namun angkanya terlalu kecil untuk dapat kita amati.

Terlepas dari hal tersebut, kalibrasi terhadap alat pengukur kemiringan tetap perlu dilakukan, karena mungkin saja oleh suatu sebab, misalnya benturan keras, membuat alat itu tidak lagi dapat bekerja sebagaimana mestinya. Untuk mengetahui ada tidaknya penyimpangan bacaan pada klinometer, dapat dilakukan kalibrasi seperti yang dilakukan pada kompas, hanya saja yang menjadi perhatian di sini bukanlah arah, melainkan beda tinggi. Angka yang diperoleh dari bidikan kedua harus merupakan kebalikan dari angka hasil bidikan pertama. Misalnya angka dari bidikan pertama adalah sebesar  $15^\circ$ , maka bidikan kedua harus menghasilkan angka  $-15^\circ$ .

Apabila kesalahan seperti itu terus terjadi dengan besar kesalahan konsisten, berarti alat itu memiliki masalah kesalahan yang bersifat sistematis. Alat dengan kondisi demikian masih tetap dapat dipergunakan, namun angka koreksi harus dimasukkan dalam proses pengolahan data. Misal dari titik A ke B sudut inklinasi terbaca sebesar  $15^\circ$ , namun dalam pembacaan sebaliknya, dari titik B ke A sudut inklinasi terbaca sebesar  $-16^\circ$  maka angka koreksi adalah sebesar  $0,5^\circ$ .

### 3. Kalibrasi Alat Ukur Jarak

Pada umumnya alat ukur jarak berupa pita ukur Fibron, selama dipergunakan dan diperlakukan secara wajar, tidak banyak mengalami masalah. Kalibrasi justru perlu dilakukan pada alat ukur *topofil*. *Topofil* memiliki komponen yang dapat mengalami perubahan, yaitu roda penggerak odometer. Kalibrasi pada *topofil* dilakukan dengan membandingkan angka pengukuran jarak yang terbaca pada odometer, dengan pengukuran pita ukur pada panjang benang yang ditarik keluar. Apabila terdapat selisih, itu adalah indikasi bahwa diameter roda di dalam *topofil* sudah berubah. Diameter roda dapat dikembalikan ke ukuran semula dengan menambahkan bahan pelapis pada permukaannya, atau mengganti roda yang sudah aus dengan yang baru.

*Laser disto* merupakan alat ukur jarak dengan akurasi yang sangat tinggi, oleh sebab itu, alat ini dapat dipergunakan untuk mengkalibrasi alat ukur jarak, baik pita ukur maupun *topofil*, yaitu dengan membandingkan hasil pengukurannya.

## F. Perawatan dan Penanganan Alat Ukur

Perawatan dan penanganan yang benar terhadap alat ukur bukan saja dilakukan guna memperpanjang usia pakai alat, namun juga untuk menjaga performanya. Perawatan yang paling sederhana dan berlaku bagi semua alat ukur adalah menjaga kebersihan. Semua alat yang dipergunakan dalam pemetaan gua sebaiknya segera dibersihkan setelah penggunaan. Terlalu lama membiarkan peralatan dalam keadaan kotor akan memberi kesempatan bagi munculnya kerak atau karat pada bagian-bagian tertentu. Membersihkan peralatan survei cukup

dengan air bersih dan alat pembersih seperti sikat halus atau kain lap. Bagi alat yang tidak memiliki kemampuan kedap air, ia cukup dibersihkan dengan menggunakan lap basah. Berikutnya, keringkan alat dengan cara diangin-anginkan. Jangan dijemur di bawah terik matahari. Setelah kering, simpan alat survei di dalam tempat sejuk dan kering.

Desain kompas dan klinometer Suunto memungkinkan kelembaban atau air terjebak di dalamnya. Terlambat membersihkan dan membiarkan mereka terpapar sinar matahari dalam waktu lama, dapat menyebabkan tumbuhnya alga di dalam alat (Swicegood, 1983).

Kompas sebaiknya disimpan jauh dari sumber magnet dan logam yang bersifat magnetis. Ini berarti kompas sebaiknya disimpan saling berjauhan. Alat survei yang memiliki panel elektronik sebaiknya disimpan tanpa baterai terpasang. Dalam perjalanan, alat survei seperti kompas, klinometer dan pengukur jarak elektronik sebaiknya disimpan dalam tempat yang dapat melindungi dari benturan, guncangan, dan kelembaban.

Selama digunakan di dalam gua, usahakan agar alat-alat ini tidak terendam air atau terkena lumpur, meskipun terkadang keduanya sangat sulit untuk dihindari. Lensa dan prisma pada kompas K14/360 dan K14/360R dapat menjadi sumber masalah saat alat ini dipergunakan di dalam gua. Atmosfer gua yang lembab dapat menyebabkan terjadinya pengembunan pada lensa dan prisma. Bila pengembunan terlanjur terjadi di balik lensa, sedangkan survei masih harus diteruskan, kejernihan lensa dapat dikembalikan dengan cara merendam kompas tersebut ke dalam air, dan menggoyang-goyangkannya agar air dapat mencapai bagian berembun. Sayangnya cara seperti ini hanya dapat mengembalikan kejernihan lensa untuk sementara. Air di dalam kompas akan segera kembali mengembun sehingga proses perendaman harus sering dilakukan berulang. Saat merendam kompas ke dalam air di dalam gua, harus dipastikan bahwa air benar-benar jernih. Lumpur dan pasir halus yang ikut terbawa masuk ke dalam kompas akan menjadikan kompas lebih sulit dibaca. Bila lumpur dan pasir halus sudah menyusup ke dalam kompas, tidak ada cara lain untuk mengeluarkannya selain dengan membongkarnya.

Kompas Suunto KB-14, dan klinometer Suunto PM-5 dengan desain baru memiliki ulir pengatur fokus lensa okuler, demikian juga dengan Suunto Tandem. Selain dapat dipergunakan untuk mengatur fokus, ulir ini juga dapat dilepas sehingga lebih memudahkan apabila harus membuang air atau embun di balik lensa.

Beberapa produsen membuat kompas dan klinometer dengan sistem suspensi hidrolis berupa cairan dalam kapsul plastik (*liquid damped capsule*), di antaranya adalah Suunto seri K14 dan klinometer Suunto PM5 yang telah dibahas di atas. Begitu juga Silva dengan kompas tipe Sightmaster dan klinometer tipe Clinomaster. Desain seperti ini ternyata rentan terhadap perubahan tekanan udara akibat dari bertambahnya ketinggian. Permasalahan seperti ini tidak pernah diberitahukan dalam buku manual penggunaan alat, namun pengalaman para *surveyor* menunjukkan bahwa gelembung akan muncul apabila alat-alat ini dibawa hingga ketinggian tertentu dan dalam jangka waktu tertentu. Gelembung berukuran sedang biasanya mulai muncul ketika Silva Sightmaster/Clinomaster dibawa ke ketinggian 1.800 meter dari permukaan laut. Semakin lama berada pada ketinggian tersebut, gelembung akan tumbuh semakin besar, dan akhirnya menjadi terlalu besar sehingga alat ukur tidak dapat dipergunakan lagi. Untuk menghilangkan gelembung seperti ini dapat dilakukan dengan membawanya kembali ke ketinggian muka air laut.

Penyebab dari munculnya gelembung adalah kapsul plastik yang sedikit memuai ketika tekanan udara di sekitarnya turun secara signifikan, sementara volume cairan yang ada di dalam kapsul tidak berubah. Dari berbagai kejadian, peralatan Suunto dan Silva tipe 80, tampaknya lebih tahan menghadapi perubahan tekanan udara (Wookey, 2003).

Tanggapan resmi dari Silva terhadap hal di atas adalah ketinggian yang dapat diterima di mana gelembung terbentuk adalah 5.000 meter, dan gelembung semacam itu akan menjadi permanen hanya saat dibawa ke ketinggian di atas 12.000 mdpl (contohnya di dalam bagasi pesawat yang tidak mendapat perlakuan penambahan tekanan udara). Silva juga menerima laporan berdasarkan pengalaman para

surveyor gua di atas sangat berbeda dari spesifikasi desain mereka. Berdasar pengalaman di atas, BCRA *Cave Surveying Group* (CSG) menyarankan agar tidak membawa alat ukur Silva Clinomaster dan Sightmaster melebihi ketinggian 1.700 mdpl dalam waktu lebih dari satu atau dua pekan.

# 4

## AKUISISI DATA

### A. Stasiun Survei

Stasiun survei merupakan suatu titik yang dipergunakan untuk proses pengumpulan data survei. Worthington membagi stasiun survei dalam dua kategori. Kategori pertama disebut sebagai *fixed station* (stasiun tetap), yaitu titik stasiun yang berada pada suatu tempat di lorong gua yang dapat ditandai dengan jelas seperti ornamen, lubang atau cacat batuan pada lantai, dinding, atau atap gua. Kategori berikutnya adalah *floating station* (stasiun mengambang), yaitu suatu tempat di atas (atau di bawah) *fixed station* yang berada pada ketinggian mata *shooter*. Ketinggian tersebut tergantung pada tinggi dan posisi tubuh *shooter* (Worthington, 1987).

Suatu tempat dapat dijadikan stasiun survei apabila memenuhi salah satu dari syarat berikut.

1. Mewakili perubahan lebar lorong, misalnya pada awal penyempitan atau pelebaran.
2. Mewakili perubahan tinggi atap.
3. Mewakili perubahan arah lorong.
4. Mewakili perubahan kemiringan lantai.
5. Mewakili perubahan pada kondisi dan situasi lorong, termasuk di dalamnya perubahan sedimen dan jenis ornamen.

6. Berada pada posisi yang dapat berperan sebagai titik ikat bagi percabangan lorong.
7. Berada pada jarak tidak lebih dari 30 meter dari stasiun sebelumnya. Semakin jauh jarak antar dua stasiun, akan semakin besar kesalahan posisi stasiun yang disebabkan oleh kesalahan pengukuran sudut. Misalnya pada dua stasiun yang berjarak 30 meter, kesalahan pembacaan kompas sebesar  $0,5^\circ$  sudah mengakibatkan kesalahan posisi sebesar 26 cm. Demikian juga dengan kesalahan yang diakibatkan oleh kesalahan pembacaan klinometer. Hal ini berarti meski tim melakukan survei melalui sebuah lorong panjang yang tidak memiliki perbedaan arah, kemiringan lantai, detail, lebar, serta tinggi atap yang menonjol, tim tersebut tetap harus membagi lorong tersebut menjadi beberapa *survey leg* atau bagian antara dua titik stasiun, yang masing-masing tidak lebih panjang dari 30 meter. Sekadar gambaran, jarak optimal antarstasiun untuk mencapai ketepatan pengukuran posisi stasiun dengan toleransi kesalahan *grade* 5 adalah 7 meter (Irwin, 1974). Namun, perlu dipertimbangkan bahwa setiap stasiun akan disertai oleh kesalahan pengukuran. Semakin banyak stasiun pengukuran, akan semakin banyak kesalahan yang dibuat. Pengecualian jarak maksimal 30 meter diberlakukan bagi dua stasiun yang dihubungkan oleh *survey leg* vertikal.
8. Ketika melakukan survei pada suatu *chamber* dengan metode poligon terbuka, harus dipilih titik stasiun yang dapat mengikat substasiun-substasiun yang berada di sepanjang dinding *chamber*. Stasiun tersebut tidak harus tepat berada di tengah *chamber*, namun harus dapat dihubungkan dengan titik-titik substasiun di sekeliling *chamber*.

### 1. Stasiun Permukaan

Pemetaan gua sebaiknya diawali dari setidaknya satu stasiun permukaan di luar mulut gua. Tujuannya adalah agar peta yang dihasilkan dapat memberi informasi memadai tentang kondisi sekitar mulut gua.

Pada masa mendatang, informasi seperti ini akan sangat membantu dalam usaha menemukan kembali lokasi mulut gua. Fitur yang perlu tercakup dalam survei di luar mulut gua antara lain berupa kemiringan lereng, posisi tebing, runtunan batu, fitur buatan manusia seperti bangunan, pagar, jembatan, dan jalan. Selain itu, apabila terdapat informasi vegetasi berupa pohon berukuran besar juga dapat dicantumkan. Pengukuran di luar mulut gua perlu dilakukan secara memadai apabila terdapat aliran sungai permukaan yang berhubungan dengan sungai bawah tanah pada gua tersebut. Jika mulut gua berada di dasar tebing dan mulut gua hanya dapat dicapai dengan menggunakan lintasan melalui tebing tersebut (misalnya gua di dasar tebing laut), pengukuran harus dimulai dari atau sebelum awal lintasan.

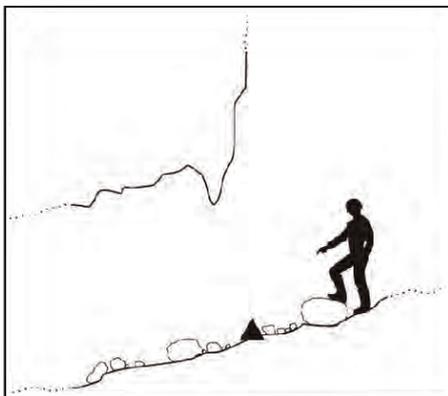
## 2. Stasiun Nol

Stasiun nol (0,0) atau disebut sebagai stasiun datum adalah titik stasiun yang berada pada posisi yang dianggap dapat mewakili posisi mulut gua. Titik ini menentukan angka panjang dan kedalaman gua atau sistem perguaan. Titik stasiun datum juga merupakan titik ikat yang mungkin akan dipergunakan lagi di masa depan, entah untuk keperluan survei permukaan, atau bawah permukaan. Oleh karena itu, stasiun datum sebaiknya ditandai dengan jelas dan ditempatkan pada tempat atau fitur yang mudah dikenali. Apabila dirasa perlu, posisi stasiun datum dapat dicatat secara khusus dan didokumentasikan dalam bentuk foto.

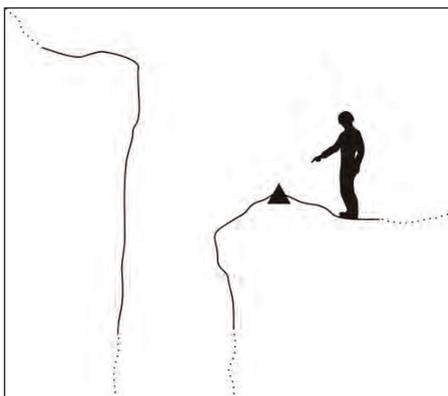
Definisi mulut gua telah ditentukan berdasarkan standar internasional. Bagi gua yang memiliki pintu masuk berupa lorong horizontal, yang dinyatakan sebagai mulut gua adalah bidang vertikal di mana mulai terdapat atap. Bidang ini dinamakan *drip line*. Pada bidang inilah, ditentukan posisi stasiun 0,0 atau stasiun datum.

Bagi gua dengan mulut berupa lorong vertikal, stasiun 0,0 ditempatkan pada bidang horizontal yang dikelilingi oleh kontur tertutup paling tinggi di atas depresi mulut gua. Bidang seperti ini secara alami berupa tanggul pemisah aliran air hujan. Aliran yang jatuh ke tempat ini akan terbagi, sebagian masuk ke dalam lorong

gua dan sebagian lagi menjauh dari mulut gua. Bagi *sinkhole* yang memiliki diameter besar, tentu saja cara ini tidak tepat untuk dilakukan. Sebagai gantinya, posisi stasiun datum dapat ditentukan di sekitar tepi lorong vertikal (Dasher, 1994).



**Gambar 4.1** Posisi stasiun datum pada mulut gua dengan lorong masuk horizontal.



**Gambar 4.2** Posisi stasiun datum pada mulut gua dengan lorong masuk vertikal

## B. Poligon Survei

Stasiun pengukuran merupakan sendi dari sistem pengukuran. Secara skematis, dua stasiun pengukuran yang berurutan dihubungkan oleh suatu garis lurus imajiner yang disebut sebagai *survey leg*. *Cave surveyor* Amerika menyebutnya sebagai *segment* (segmen). Rangkaian dari beberapa segmen membentuk suatu jalur survei (*traverse*). Istilah lain bagi *traverse* adalah *series*, *string*, dan *branch* (Wefer, 1987). Jalur survei dapat disebut sebagai poligon survei (*survey polygon*). Arti dari poligon adalah bangun bersegi banyak. Secara umum terdapat dua macam poligon, yaitu poligon terbuka dan poligon tertutup. Poligon terbuka disebut juga sebagai *open traverse*, adalah jalur pengukuran yang ujung-ujungnya tidak saling bertemu, sedangkan poligon tertutup adalah bangun poligon yang ujung-ujungnya saling bertemu. Istilah lain bagi poligon tertutup adalah *loop* atau *closed traverse*.

Suatu poligon terbentuk dengan sendirinya mengikuti bentuk dan sebaran lorong gua. Bentuk poligon bisa sangat sederhana, namun juga bisa berupa rangkaian yang lebih rumit. Pada gua dengan sistem lorong yang lebih kompleks, jalur survei dapat berupa kombinasi dari banyak poligon, baik terbuka maupun tertutup. Ada kalanya suatu jalur pengukuran sengaja dibuat sedemikian rupa agar membentuk suatu poligon tertutup. Tujuan dari pembuatan poligon tertutup adalah untuk mengetahui akurasi pengukuran pada jalur survei. Akurasi pengukuran dapat diketahui dari besarnya selisih koordinat dan sudut pada suatu titik stasiun yang merupakan awal sekaligus akhir dari poligon. Semakin kecil selisih koordinat dan sudut maka semakin tinggi ketelitiannya.

Apabila dalam suatu pengukuran dituntut adanya rangkaian berupa poligon tertutup untuk memastikan tingkat akurasi pengukuran, sedangkan medan lorong gua tidak memadai bagi terbentuknya poligon tertutup maka yang dapat dilakukan oleh *surveyor* adalah meneruskan pengukuran pada jalur poligon tersebut dengan arah sebaliknya, yaitu dari stasiun terakhir hingga ke stasiun awal. Dengan cara tersebut, poligon terbuka tersebut telah terukur sebagai suatu poligon tertutup. Cara lain yang dapat dilakukan agar poligon terbuka

dapat diketahui tingkat ketelitiannya adalah dengan menghubungkan kedua ujung poligon pada titik ikat yang telah diketahui koordinatnya dengan tepat. Hal itu berarti kedua ujung poligon harus berada di luar mulut gua dan kedua titik ikat telah ditentukan koordinatnya secara teliti, misalnya dengan pengukuran GPS geodetik. Jenis poligon seperti ini disebut sebagai poligon terbuka terikat koordinat.

Dalam pemetaan sistem gua yang rumit diperlukan manajemen poligon survei, yaitu dengan menggunakan sistem peringkat poligon yang membagi poligon dalam beberapa orde. Orde pertama ditempati oleh satu poligon yang disebut sebagai poligon utama. Poligon utama ini berperan sebagai induk bagi poligon-poligon sekunder, sedangkan poligon sekunder adalah muara bagi cabang-cabang yang berstatus sebagai poligon tersier dan demikian seterusnya. Manajemen poligon survei diperlukan untuk menghindari kekacauan akibat banyaknya poligon tertutup yang saling berhubungan.

Poligon utama sebagai kerangka bagi seluruh sistem poligon sebaiknya memiliki jangkauan luas agar dapat menjangkau poligon-poligon orde di bawahnya. Selain itu, poligon utama harus memiliki ketelitian yang tinggi. Perataan kesalahan harus sudah dilakukan pada poligon utama sebelum ia dijadikan awal pengukuran bagi poligon-poligon berikutnya.

Konsekuensi penerapan sistem seperti ini adalah semakin rendah orde suatu poligon maka semakin tinggi akumulasi kesalahannya. Poligon orde kedua selain memiliki kesalahan pengukurannya juga mewarisi kesalahan pengukuran dari poligon orde pertama. Poligon orde ketiga juga meneruskan kesalahan poligon orde kedua dan pertama, demikian seterusnya.

### **C. Tim Survei**

Pekerjaan pemetaan gua adalah pekerjaan yang dilakukan secara kelompok. Masing-masing anggota kelompok memiliki peran tertentu sesuai dengan kemampuannya. Pembagian peran anggota tim survei adalah sebagai berikut.

### 1. *Shooter*

Tugas seorang *shooter* adalah membidik sasaran dan membaca instrumen-instrumen pengukuran kemudian menyampaikan hasil pembacaan kepada *descriptor*. *Shooter* harus memiliki pengetahuan tentang standar *grade* pemetaan yang ingin dicapai dan mampu membaca alat-alat ukur hingga ke satuan-satuan yang disyaratkan untuk memenuhi *grade* yang dikehendaki.

### 2. *Stationer*

Anggota tim yang bertugas sebagai sasaran bidik bagi *shooter* disebut sebagai *stationer*. Seorang *stationer* juga bertugas menentukan posisi stasiun pengukuran. Oleh karena itu, *stationer* harus mengetahui syarat-syarat tempat yang dapat atau harus dijadikan titik stasiun. Untuk mempercepat pekerjaan, *stationer* dapat berbagi tugas dengan *shooter* saat mengoperasikan alat ukur jarak.

Selama melakukan pemetaan gua terdapat kemungkinan *stationer*, *shooter*, atau keduanya tidak dapat melakukan pengambilan data dalam posisi berdiri karena terhalang oleh atap atau ornamen yang menggantung rendah. Untuk melanjutkan pemetaan melalui lorong beratap pendek, *stationer*, dan *shooter* harus menyesuaikan diri dengan cara merendahkan postur tubuh. Cara termudah melakukannya ialah dengan posisi berjongkok. Namun, apabila masih terlalu tinggi, pengambilan data dapat dilakukan dengan posisi tiarap.

Dalam kegiatan survei yang menggunakan *floating station*, untuk menghindari terjadinya kesalahan pembacaan klinometer, *shooter* harus menjaga agar posisi matanya dari lantai berada dalam ketinggian yang sama dengan mata *stationer* dari lantai. Hal ini berarti saat *stationer* harus berjongkok di bawah atap rendah maka *shooter* harus turut berjongkok, meski atap di atas kepalanya cukup tinggi untuk dapat tetap berdiri. Demikian pula sebaliknya.

### 3. *Descriptor*

*Descriptor* bertugas mencatat semua hasil pengukuran pada buku catatan. Selain itu, *descriptor* memiliki tugas merekam detail lorong

dalam bentuk sketsa yang terdiri dari sketsa tampak atas lorong, sketsa tampak samping, serta *cross section* (penampang) lorong. *Descriptor* juga harus mendokumentasikan situasi lorong serta tanda medan, ornamen, dan sedimen yang dijumpai selama perjalanan. Setelah tahap pengambilan data, *descriptor* sebagai anggota tim yang paling memahami angka-angka, sketsa, serta simbol-simbol yang dicantumkan dalam buku catatan masih mengemban tanggung jawab untuk memproses data hingga menjadi peta.

Bila suatu tim survei beranggotakan lebih dari tiga orang, tugas *descriptor* bisa dilakukan oleh dua orang. Satu orang bertugas menggambar sketsa, sementara seorang lagi bertugas mencatat angka-angka. Meski tugas penggambaran sketsa dan pencatatan data dapat dipisah, sebagai sosok sentral dalam kegiatan pemetaan, seorang penggambar sketsa atau *sketcher* harus tetap menguasai data. *Sketcher* harus mengetahui informasi yang diberikan oleh *shooter* berupa informasi mengenai arah lorong, jarak antarstasiun, maupun ukuran detail lorong.

Pemetaan gua tetap dapat dilakukan meskipun jumlah anggotanya kurang dari ideal. Untuk melakukan pemetaan gua dengan jumlah anggota terbatas, anggota tim harus menjalankan lebih dari satu tugas sekaligus. Misalnya, tugas *stationer* dan *descriptor* dapat dilakukan oleh satu orang. Bahkan seluruh tugas tim survei masih dapat dilakukan seorang diri oleh satu orang *surveyor*. Tentu saja ada faktor akurasi dan waktu yang harus dikorbankan dalam pemetaan seorang diri. Namun, Faulkner mengklaim bahwa data pengukuran yang dikumpulkan dengan solo *survey* masih dapat mencapai akurasi *grade 3 BCRA* (Faulkner, 2008).

Berkaitan dengan faktor keselamatan harus diingat bahwa solo *survey* sama sekali bukan berarti solo *caving*.

## D. Sistem Survei

Ada dua sistem yang dapat dijadikan pilihan dalam melaksanakan survei gua. Sistem pertama adalah sistem *top to bottom*, dan yang kedua disebut sistem *bottom to top*. Perbedaan sistem ini didasarkan pada arah perjalanan survei.

### 1. *Top to Bottom*

Dalam sistem ini arah pengambilan data adalah dari bagian luar gua menuju bagian dalam gua. Pemetaan dimulai dari atau sebelum pintu masuk dilanjutkan ke arah dalam.

### 2. *Bottom to Top*

Sistem *bottom to top* merupakan pemetaan yang dilakukan mulai dari suatu tempat di dalam gua menuju ke luar. Tim survei yang memilih untuk memetakan gua dengan sistem ini harus mempertimbangkan dengan cermat waktu yang akan diperlukan agar survei yang dilakukan dapat mencapai mulut gua, karena suatu peta gua yang lebih pendek namun lengkap dengan mulut gua adalah lebih berharga daripada peta yang panjang tetapi tanpa mulut gua.

## E. Pemilihan Jalur Survei

Pemilihan jalur survei merupakan faktor penentu bagi dua hal dalam pemetaan gua, yaitu kecepatan dan ketelitian. Setiap pilihan akan membawa konsekuensi mengesampingkan salah satu dari dua hal di atas.

### 1. *Station to Station Survey*

Pemilihan jalur survei *station to station* dilakukan dengan menempatkan alat ukur tepat pada titik *fixed station*. Dengan pilihan jalur seperti ini, pekerjaan survei akan berjalan dalam ritme yang lebih lambat, karena untuk menentukan posisi stasiun dan melakukan pembacaan alat ukur sudut akan menjadi lebih sulit.

## 2. Center of Passage Survey

Tim survei juga dapat melakukan pemetaan dengan jalur *center of passage survey*, atau survei tengah lorong. Tim survei memilih titik stasiun di sekitar tengah lorong, meski tidak harus selalu demikian, dan melakukan pengukuran di atas titik tersebut dengan berdiri, jongkok, maupun tiarap. Kategori stasiun yang dipergunakan dalam gaya ini adalah *floating station*. Jalur survei ini tidak dapat menyamai akurasi jalur survei *station to station*. Keunggulannya adalah dalam segi kecepatan.

Kecepatan adalah alasan utama bagi para *surveyor* yang tinggal di negara-negara beriklim dingin untuk memilih jalur survei *center of passage survey*. Kecepatan kerja bagi mereka adalah hal yang sangat penting untuk menjaga tubuh mereka agar terus bergerak dan menghasilkan panas. Namun, justru cara ini juga yang paling banyak dilakukan di Indonesia meski beriklim hangat.



Sumber: Mohammad Asril

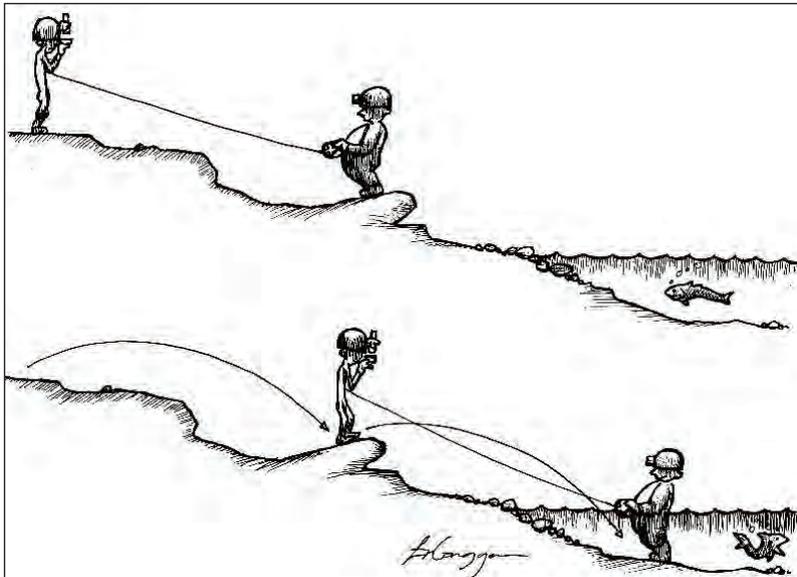
**Gambar 4.3** Tim survei gua yang terdiri dari *shooter*, *descriptor*, dan *stationer* sedang melakukan pemetaan dengan jalur *center of passage*.

## F. Metode Survei

Metode survei mengatur urutan posisi *stationer* dan *shooter*. Dalam melakukan pengambilan data, suatu tim dapat memilih satu di antara empat metode berikut.

### 1. *Forward Method (Foresight)*

Disebut *forward method* atau metode maju karena *shooter* selalu berada di belakang sedangkan *stationer* selalu berada di depan. Setelah melakukan pembacaan alat ukur dan melaporkan hasil pembacaan kepada *descriptor*, *shooter* berpindah ke posisi *stationer*, dan *stationer* bergerak menuju titik stasiun berikutnya, dan demikian seterusnya.



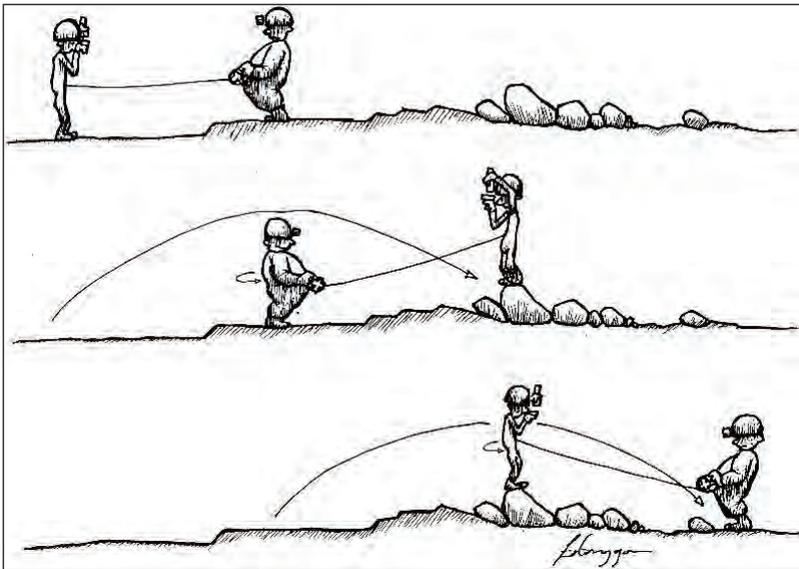
Gambar 4.4 *Forward Method*

## 2. Leapfrog Method

Pada metode loncat katak ini, *shooter* dan *stationer* bergantian saling mendahului. Tentu saja metode ini hanya dapat dipraktikkan pada lorong gua yang tidak terlalu sempit di mana dua orang *surveyor* masih dapat saling melewati.

Perlu diperhatikan ketika melakukan pemetaan dengan metode ini adalah pembacaan alat pengukur (klinometer dan kompas) dilakukan dengan arah ke depan dan ke belakang secara bergantian. Oleh karena itu, untuk mencegah kerancuan data dari angka-angka pengukurannya yang berlawanan arah, *descriptor* harus memberi tanda pada tiap angka hasil bacaan pada stasiun yang arah hadapnya berlawanan dengan arah survei. *Shooter* membaca dan melaporkan azimuth dan azimuth balik secara bergantian sesuai dengan arahnya menghadap.

*Leapfrog method* merupakan metode survei yang lebih dapat mengurangi terjadinya pergeseran titik stasiun. Hal itu disebabkan karena tidak adanya pergantian orang pada satu titik stasiun yang sama. Keuntungan lain dari metode ini adalah ia dapat mengeliminasi kesalahan sistematis (diterangkan lebih jauh pada bab 6).



Gambar 4.5 Leapfrog Method

### 3. *Backsight*

Pembacaan instrumen pengukuran dilakukan dari stasiun yang berada di depan terhadap stasiun yang ada di belakangnya. Metode ini dipergunakan ketika tim survei mempergunakan alat *topofil* yang sudah dilengkapi dengan kompas dan klinometer.

### 4. *Fore and Backsight*

*Shooter* melakukan pembacaan pada stasiun yang berada di depannya maupun yang berada di belakangnya sehingga tiap stasiun survei diukur dari dua arah. Metode ini hanya dilakukan untuk mencapai tingkat akurasi maksimal.

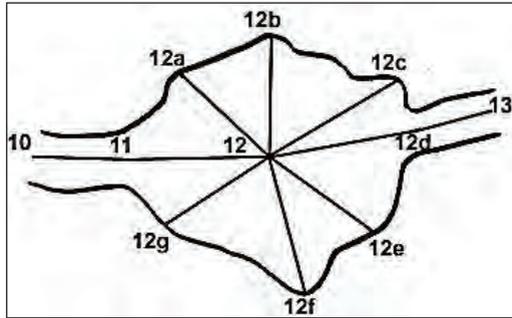
## G. Pengukuran pada *Chamber*

*Chamber* adalah suatu istilah dalam bahasa Inggris yang berarti ruangan tertutup yang luas. Dalam speleologi, istilah ini digunakan secara relatif untuk menunjukkan suatu bagian lorong yang lebih lebar atau lebih luas dibandingkan bagian lorong pada umumnya. Untuk melakukan pengukuran pada *chamber* diperlukan metode survei yang berbeda dari metode survei pada lorong biasa.

### 1. *Radial*

Metode ini digunakan untuk melakukan pemetaan pada *chamber* dengan dimensi serta kondisi yang memungkinkan *surveyor* untuk berada di tengah *chamber* dan melakukan pengukuran pada substasiun-substasiun yang berada di bagian pinggir *chamber*. Hal yang perlu diperhatikan dalam menentukan substasiun adalah keterwakilan bentuk *chamber*, serta jaraknya dengan stasiun utama tidak melebihi 30 meter.

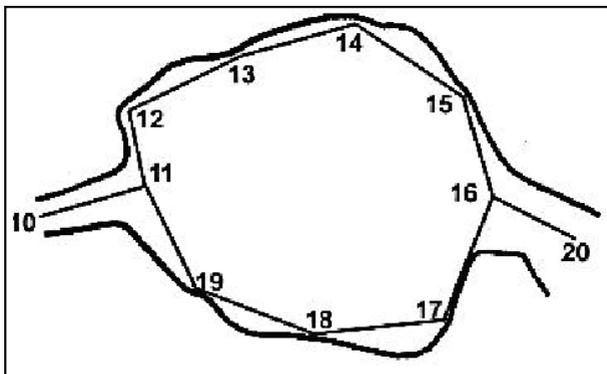
Substasiun dinyatakan dengan angka dan huruf. Misalnya, stasiun di tengah *chamber* adalah stasiun 10 maka substasiun di tepi *chamber* dicatat sebagai stasiun 10a, 10b, 10c, dan seterusnya. Tentukan satu titik stasiun pada bagian *chamber* yang berhubungan dengan mulut lorong berikutnya. Stasiun ini perlu ditandai karena akan menjadi stasiun yang mengawali pemetaan lorong berikutnya.



**Gambar 4.6** Pengukuran *Chamber* dengan Metode Radial (Poligon Terbuka)

## 2. Poligon Tertutup

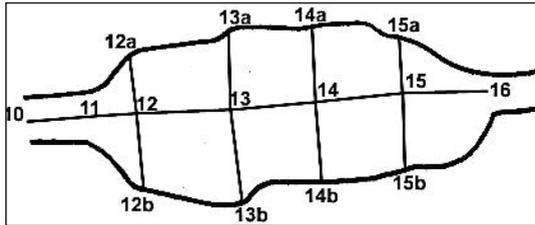
Bila suatu *chamber* memiliki dimensi serta topografi lantai yang tidak memungkinkan pengukuran dilakukan dari stasiun di pusat *chamber* maka survei dapat dilakukan dengan metode poligon tertutup, yaitu dengan mengelilingi dinding tepi *chamber*. Penentuan titik stasiun terutama berdasar pada perubahan arah dinding serta perubahan kemiringan lantai. Urutan penomoran stasiun merupakan kelanjutan dari stasiun-stasiun pada lorong sebelumnya. Tandai titik stasiun yang akan menjadi titik ikat ke lorong berikutnya.



**Gambar 4.7** Pengukuran *Chamber* dengan Metode Poligon Tertutup

### 3. Offset

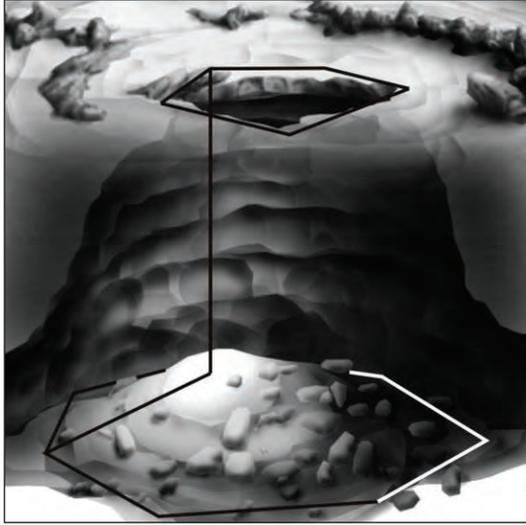
*Offset* adalah metode pengumpulan data pada *chamber* yang memiliki dimensi memanjang. Pada metode ini, pengambilan data dilakukan dengan cara yang hampir sama dengan pengambilan data pada lorong biasa. Perbedaannya, dari tiap stasiun di tengah lorong ditarik dua *survey leg* ke substasiun di dinding kiri dan dinding kanan. Substasiun-substasiun ini diberi nomor sesuai dengan stasiun induknya ditambah dengan huruf di belakangnya.



**Gambar 4.8** Pengukuran *Chamber* dengan Metode *Offset*

### H. Pengukuran pada *Pothole*

*Pothole* adalah lorong gua vertikal dengan dasar lorong lebih luas daripada mulutnya. *Pothole* diukur dengan dua rangkaian poligon, satu di permukaan dan satu di dasar. Kedua poligon ini dihubungkan oleh satu *survey leg* vertikal yang berada pada lintasan tali. Poligon di permukaan gua berupa poligon tertutup dan diukur pada jarak aman dari mulut *pothole*, sedangkan poligon di dasar *pothole* dapat dirangkai secara terbuka maupun tertutup.

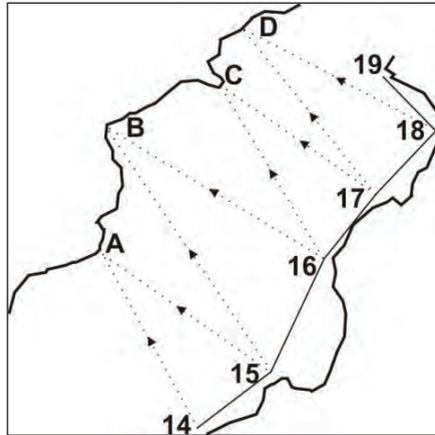


Gambar 4.9 Jalur Survei pada *Pothole*

## I. Pengukuran Lorong dengan Teknik Interseksi

Interseksi adalah teknik pengukuran yang digunakan untuk menentukan arah dan jarak suatu titik tanpa harus melakukan pengukuran langsung ke titik tersebut. Teknik ini diterapkan untuk mengetahui jarak dan arah suatu titik pada sisi lorong gua yang sulit untuk dijangkau. Teknik ini juga dapat dipergunakan untuk menghindari kerusakan yang ditimbulkan oleh kegiatan pemetaan secara langsung pada lorong atau *chamber* yang memiliki kumpulan ornamen atau biota yang rentan atau sangat langka.

Pengukuran yang dilakukan berupa pengukuran sudut dari dua titik survei. Untuk menerapkan teknik ini, tim survei dapat dibantu oleh satu anggota tim sebagai *stasioner* kedua yang berjalan menyusuri sisi yang berseberangan. *Stationer* kedua berperan sebagai sasaran bidik bagi *shooter*, dan bertugas membuat sketsa serta mencatat detail sepanjang sisi lorong yang dilalui. Selain melakukan pengukuran seperti biasa sepanjang jalur survei utama, *shooter* juga harus melakukan pengukuran sudut ke sisi seberang.



**Gambar 4.10** Pengukuran Lorong dengan Teknik Interseksi

Ketika medan, waktu, maupun jumlah *surveyor* tidak memungkinkan untuk menempatkan *stationer* di seberang lorong, pembidikan titik stasiun pada sisi seberang dapat dilakukan pada objek-objek alami pada dinding atau lantai yang mudah dikenali oleh *descriptor* maupun *shooter*.

Pada saat penggambaran peta, posisi stasiun di seberang dapat ditentukan dengan cara mudah, namun kurang akurat, yaitu dengan menarik dua garis lurus dari dua stasiun pengukuran. Arah kedua garis lurus tersebut disamakan dengan azimut yang terbaca oleh kompas. Perpotongan antara dua garis lurus ini adalah posisi stasiun yang berada di seberang.

Hasil lebih akurat dapat diperoleh dengan menggunakan penghitungan berikut ini. Apabila diketahui koordinat titik 1 ( $X_1, Y_1$ ) dan koordinat titik 2 ( $X_2, Y_2$ ) maka untuk mengetahui koordinat titik A ( $X_A, Y_A$ ) adalah dengan rumus (Widjanarko & Duta, 2007):

$$Y_A = \frac{(X_2 - X_1) + Y_1 \cdot \tan \alpha - Y_2 \cdot \tan \beta}{\tan \alpha - \tan \beta}$$

$$X_A = X_1 + (Y_A - Y_1) \tan \alpha$$

$\alpha$  adalah azimut dari stasiun 1 ke A.

$\beta$  adalah azimut dari stasiun 2 ke A.

Setelah koordinat diketahui, apabila diperlukan data elevasi titik A, terlebih dahulu harus diketahui jarak datar antara stasiun 1 ke A, atau stasiun 2 ke A. Jarak datar dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$c = \sqrt{(a^2 + b^2)}$$

$c$ : jarak datar yang dicari

$a$ : selisih absis (nilai  $x$ ) antara stasiun pengukuran dan titik A

$b$ : selisih ordinat (nilai  $y$ ) antara stasiun pengukuran dan titik A

Setelah jarak datar diketahui maka angka elevasi dari stasiun yang berada di sisi seberang dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut.

$$h_1 = h + T_1 + (L \cdot \tan \alpha)$$

$h_1$ : nilai elevasi titik stasiun yang diukur

$h$ : nilai elevasi stasiun tempat dilakukan pengukuran

$T_1$ : tinggi alat ukur dari titik stasiun

$L$ : jarak datar antara stasiun pengukuran dan stasiun target

$\alpha$ : sudut vertikal hasil pengukuran terhadap target

## J. Pengukuran pada *Pitch* Dalam

Istilah *pitch* ditujukan bagi lorong, jurang, atau air terjun vertikal yang cukup dalam sehingga dibutuhkan teknik khusus untuk melaluinya. Bila *pitch* tersebut memiliki kedalaman hingga 30 meter, masih dapat diukur dengan menggunakan rollmeter. Namun, bila *pitch* tersebut memiliki kedalaman lebih dari 30 meter maka *surveyor* harus mengukurnya dengan alat atau teknik yang berbeda. Istilah yang terdengar mirip dan memiliki makna hampir sama adalah *pit*, yang memiliki arti lubang/jurang.

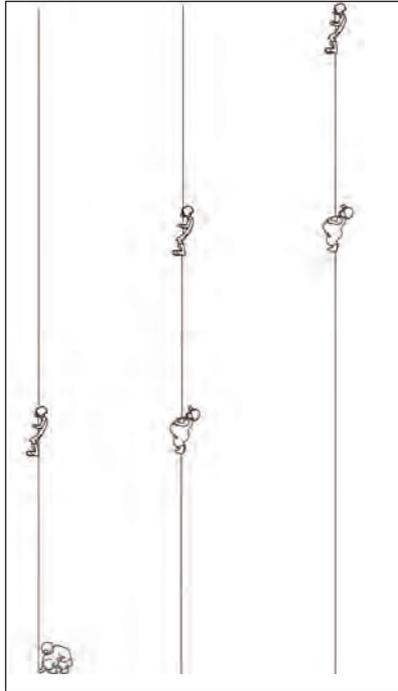
## 1. Mengukur Tali

Pengukuran kedalaman *pitch* dengan cara mengukur panjang tali lintasan merupakan cara termudah. Pada tali lintasan dipasang tanda, misalnya simpul, yang disesuaikan dengan panjang lorong yang ingin diukur. Setelah penelusuran selesai dan tali tersebut dilepas, ukur panjang bagian tali yang telah ditandai menggunakan alat ukur. Meski mudah, cara ini dapat menghasilkan kesalahan pengukuran yang besar karena ketegangan tali ketika terpasang sebagai lintasan berbeda dengan ketegangan tali ketika diukur.

## 2. Metode Tandem

Metode ini dilakukan oleh dua orang yang memanjat secara berurutan pada satu lintasan tali. Pemanjat pertama meniti tali sejauh yang dapat dicapai oleh alat ukur panjang yang dibawanya, dan membuat tanda pada bagian tersebut. Setelah pemanjat kedua naik hingga mencapai tanda ini, pemanjat pertama kembali melakukan pengukuran hingga tanda berikutnya. Demikian seterusnya hingga pemanjat pertama mencapai bibir *pitch*. Kedalaman *pitch* diketahui dari penjumlahan hasil-hasil pengukuran ( $A+B+C$ ).

Angka yang diperoleh dari penjumlahan di atas masih memiliki kesalahan, khususnya ketika kedua pemanjat memiliki perbedaan berat badan yang signifikan. Untuk meminimalisasi kesalahan dapat dilakukan dengan tindakan serta perhitungan berikut: Pemanjat pertama menggantung pada tali yang dipergunakan sebagai lintasan, tidak perlu terlalu tinggi asal tidak menyentuh tanah, kemudian tandai bagian ujung tali yang menyentuh tanah. Pemanjat kedua melakukan hal yang sama.



**Gambar 4.11** Mengukur Kedalaman *Pitch* dengan Metode Tandem

Hitung tinggi *pitch* dengan rumus berikut (White & White, 1987):

$$\text{Tinggi } pitch = L - \frac{(S \times T)}{L}$$

L : panjang yang belum dikoreksi

T : panjang tandem (panjang A+B+C)

S : angka perbedaan kemuluran

### 3. Metode Triangulasi

Tinggi suatu *pitch* dapat diketahui dengan penghitungan sudut vertikal dan jarak miring antara stasiun pengamat dengan stasiun sasaran yang berada tepat di bawah *pitch* (titik jatuh tali lintasan). Rumus yang dipakai adalah sebagai berikut:

$$T=(L \cdot \tan \alpha)+T1-h$$

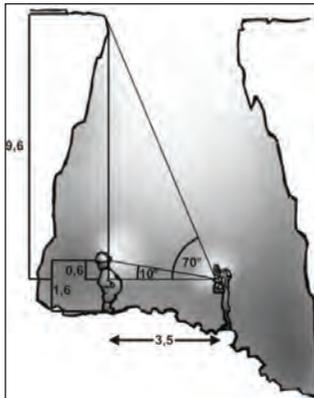
T : tinggi *pitch*

L : jarak datar

$\alpha$  : sudut yang terbaca pada klinometer

T1 : tinggi stasiun (jarak antara mata *shooter* dengan lantai)

h : beda ketinggian antara dua stasiun pengukuran



**Gambar 4.12** Mengukur Kedalaman *Pitch* dengan Metode Triangulasi

Contoh: Diketahui jarak datar antara dua stasiun pada Gambar 4.12 adalah 3,5 meter, sudut yang terbaca pada klinometer  $70^\circ$  dan tinggi stasiun dari lantai 160 cm.

Tinggi *pitch*

$$= (3,5 \tan 70) + 1,6 - 0,6$$

$$= (3,5 \cdot 2,74) + 1,6 - 0,6$$

$$\begin{aligned} &= 9,6 + 1,6 - 0,6 \\ &= 10,6 \end{aligned}$$

Kelemahan dari cara ini adalah semakin besar sudut yang terbaca, semakin besar pula kemungkinan terjadinya kesalahan pengukuran.

#### 4. Pengukuran dengan *Topofil*

Mengukur kedalaman *pitch* dengan menggunakan *topofil* merupakan cara mudah dengan hasil yang cukup akurat. Seperti diketahui, *topofil* bekerja berdasar pada benang yang ditarik keluar dari gulungannya sehingga berapa pun jarak antara dua stasiun vertikal tidak akan menjadi masalah asal panjang benang mencukupi (Warild, 1990).

### K. Pengukuran Beda Tinggi dengan Metode *Hydrolevelling*

Prinsip pengukuran *Hydrolevelling* adalah memanfaatkan tekanan air guna mengetahui beda tinggi antara dua stasiun. Metode yang telah dipraktikkan oleh para *caver* Rusia sejak tahun 1970-an dilakukan dengan alat ukur berupa selang air transparan dengan panjang 50 meter (diameter yang dianjurkan adalah 4–5 mm) yang diisi dengan air tawar. Pada ujung atas selang dipasang sebuah sarung tangan karet yang berfungsi sebagai penampung dan di ujung bawah selang dipasang sebuah wadah dengan jendela tembus pandang. Satu buah jam tangan dengan fitur pengukur kedalaman air diletakkan dalam wadah tersebut. Satu ujung pipa yang tertutup oleh sarung tangan karet ditempatkan pada stasiun yang berada di atas dan ujung pipa yang terdapat jam tangan pengukur tekanan pada stasiun di bawah. Tekanan air akan menyebabkan alat pengukur tekanan bekerja dan menunjukkan kedalamannya. Metode ini jika dilakukan dengan prosedur yang benar, akan menghasilkan pengukuran beda tinggi dengan kesalahan hanya 0.2%. Hal itu menandakan ketelitian yang dapat dicapainya jauh melampaui ketelitian pengukuran beda tinggi dengan menggunakan klinometer dan pita ukur yang kesalahannya dapat mencapai 2%. Hanya pada pengukuran *vertical free drop*,

di mana tidak terdapat penghalang antara stasiun di atas dan stasiun yang ada tepat di bawahnya, pita ukur dapat mengungguli akurasi pengukuran *hydrolevelling* (Degtjarev dkk., 2007).

Dalam upaya pemecahan rekor dunia dengan kategori gua terdalam, Degtjarev dan kawan-kawan melakukan pengukuran di gua Voronja (nama lain bagi gua Krubera) dengan kombinasi teknik pengukuran *hydrolevelling* dan pengukuran konvensional menggunakan pita ukur. Pada kesempatan itu, pengukuran dengan pita ukur hanya dilakukan sebanyak sepuluh kali dengan jumlah angka beda tinggi 211 meter. Pada dua kasus dengan dua stasiun tidak tepat berada di bawah (bergeser) kurang dari dua meter dari titik tegak lurus, pengukuran dengan pita ukur tetap dilakukan dan angka beda tinggi diperoleh dengan penghitungan menggunakan rumus pitagoras.

Setelah menghitung seluruh hasil pengukuran, tim ini berhasil mengumpulkan angka kedalaman sebesar 2.197 meter yang merupakan rekor dunia baru yang memecahkan rekor sebelumnya, yaitu 2.080 meter pada gua yang sama.

Agar dapat mencapai ketelitian seperti yang diharapkan, penerapan metode *hydrolevelling* membutuhkan bermacam-macam perlakuan serta kalkulasi khusus.



**Gambar 4.13** Skema Pengukuran Beda Tinggi dengan Metode *Hydrolevelling*

## 1. Pengisian air

Air yang diisikan ke dalam selang dapat mengalami proses pelepasan gas yang memunculkan gelembung udara. Air dari saluran perusahaan air minum biasanya mengandung klorin yang menyebabkan pelepasan gas dalam jumlah besar. Suhu air juga berpengaruh pada proses pelepasan gas. Air yang dimasukkan ke pipa dalam suhu rendah akan melepaskan gas saat suhunya meningkat. Gas yang dilepaskan oleh air akan menimbulkan gelembung-gelembung udara dalam selang. Gelembung berukuran lembut yang menempel di dinding

tabung selang tidak akan memengaruhi pengukuran, namun apabila gelembung-gelembung tersebut bergabung menjadi suatu sekat udara maka kesalahan pengukuran akan terjadi. Menurut Degtjarev dan kawan-kawan (2007), sekat udara sepanjang 10 cm di dalam selang air akan menyebabkan kesalahan sistematis sebesar 10 cm pada tiap pengukuran. Persiapan yang teliti dapat mengurangi masalah yang berkaitan dengan gelembung udara. Pengisian air dalam selang sebaiknya dilakukan di luar gua. Air yang digunakan sebaiknya air hangat yang telah dididihkan dan baru digunakan setelah suhu air stabil. Udara yang terkumpul dalam satu gelembung besar dapat dihalau dengan menjentik selang udara dengan jari, hingga gelembung tersebut lari ke atas dan tertampung dalam sarung tangan karet.

## **2. Pencegahan munculnya keadaan hampa udara**

Gelembung dalam selang juga dapat muncul akibat keadaan hampa udara. Kejadian tersebut dapat disebabkan oleh air yang keluar melalui wadah di ujung bawah selang, baik yang disebabkan oleh kebocoran maupun karena wadah tersebut sengaja dibuka ketika memasukkan jam tangan. Dalam keadaan demikian, alat ini tidak dapat dipergunakan untuk mengukur.

## **3. Menjaga tekanan air**

Tekanan air dalam selang harus dijaga agar tetap dalam keadaan normal. Sarung tangan karet di ujung atas selang yang berfungsi sebagai penampung air harus dijaga agar tekanannya tidak terlalu tinggi karena terlalu penuh oleh air, juga tidak boleh menjadi terlalu kempis yang akan menyebabkan terjadinya kesalahan pengukuran yang bersifat sistematis. Ia sebaiknya terisi air antara separuh hingga dua pertiga bagian.

## **4. Kalibrasi alat**

Perangkat *hydrolevelling* harus dikalibrasi sebelum digunakan. Caranya adalah dengan membandingkan hasil pengukuran alat tersebut dengan hasil pengukuran menggunakan pita ukur. Faktor yang sangat berpengaruh pada ketelitian pengukuran yang diperoleh dengan

teknik ini adalah tekanan udara pada lokasi pengukuran. Tekanan udara selalu bervariasi bergantung pada ketinggian suatu tempat terhadap permukaan air laut. Tekanan udara juga dapat bervariasi sebagai akibat adanya perubahan *front* cuaca utama serta perubahan suhu udara di permukaan. Oleh karena itu, dianjurkan untuk membawa barometer untuk melakukan kalibrasi pada alat ukur. Pada tiap stasiun pengukuran *hydrolevelling*, pembacaan barometer dan pencatatan angka yang terbaca perlu dilakukan. Pada titik itu juga dilakukan *setting* alat pengukuran hingga menunjukkan angka nol. Dalam pengukuran bolak-balik yang dilakukan di gua Voronja, alat ukur kedalaman telah ditetapkan pada angka nol saat berada di permukaan. Setelah dipergunakan untuk melakukan pengukuran hingga kedalaman 1.200 meter dan dibawa kembali ke permukaan, angka kedalaman yang ditunjukkan oleh alat ukur berhenti pada angka 1,2 meter. Artinya adalah setiap beda tinggi 100 meter alat ini mengalami kesalahan pengukuran sebesar 10 cm. Besarnya kesalahan dapat berbeda pada kondisi suhu udara dan ketinggian yang berbeda.

Rumus untuk memperkirakan besarnya kesalahan acak ketika menggunakan teknik ini adalah  $R=x\sqrt{N}$

R : angka total kesalahan acak yang mungkin terjadi.

N : jumlah pengukuran yang dilakukan.

x : perkiraan kesalahan maksimal yang diperoleh dari ketidaktepatan penempatan permukaan air di dalam sarung tangan penampung dan alat ukur kedalaman terhadap elevasi stasiun pengukuran sesungguhnya.

Degtjarev dan kawan-kawan mencontohkan kesalahan penempatan ini sebesar masing-masing satu cm pada stasiun atas dan bawah sehingga angka untuk x adalah 2, sedangkan jumlah pengukuran untuk mencapai kedalaman 1200 meter adalah 80 sehingga dengan menggunakan rumus maka  $R= 2\sqrt{80}$

$$R= 18 \text{ cm}$$

## L. Pengukuran pada Lorong Bercabang

Dalam pemetaan gua, lorong bercabang dilalui oleh jalur pengukuran berbeda, namun diikat oleh satu stasiun yang sama pada titik-titik percabangan. Oleh karena itu, sebelum meninggalkan stasiun ini, tinggalkan tanda yang mudah dikenali, karena stasiun ini masih akan diperlukan untuk mengawali pemetaan pada cabang berikutnya.

## M. Pengukuran Tinggi Atap

Pemetaan dalam klasifikasi C dan D dilakukan dengan mengukur detail lorong yang meliputi jarak stasiun ke dinding kiri dan kanan, serta tinggi atap dari lantai. Pengukuran atap akan menjadi sulit ketika tingginya sudah berada di luar jangkauan tangan. Di antara berbagai cara yang pernah dicoba adalah menggunakan balon gas dan benang. Cara ini memang menghasilkan angka yang cukup akurat, namun bukan cara yang paling praktis. Tinggi atap dapat diketahui dengan cara yang lebih mudah, yaitu dengan cara serupa yang dilakukan untuk mengukur kedalaman *pitch* menggunakan metode triangulasi, yaitu dengan menerapkan rumus berikut.

$$T=(L \cdot \tan \alpha)+T_1-h$$

T : tinggi atap

L : jarak datar

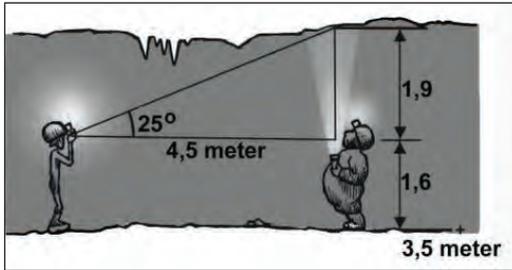
$\alpha$  : sudut yang terbaca pada klinometer

T<sub>1</sub> : tinggi stasiun (jarak antara mata *shooter* dengan lantai)

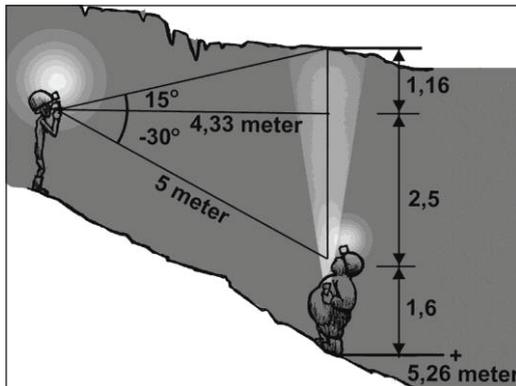
h : beda ketinggian antara dua stasiun pengukuran

Seperti halnya dengan pengukuran *pitch* dalam penghitungan tinggi atap, dengan cara ini rentan terhadap kesalahan yang disebabkan oleh terbatasnya akurasi alat pengukur sudut. Kemungkinan terjadinya kesalahan pengukuran juga diperbesar dengan kesulitan menentukan titik pada atap gua yang tepat berada di atas titik stasiun. Penunjukkan suatu titik di atap lorong dengan cahaya baterai akan memperluas sasaran yang harus dibidik oleh *shooter*, yang berarti memperbesar

kemungkinan terjadinya kesalahan pembidikan. Sumber cahaya yang mampu menghasilkan sinar yang terfokus dapat digunakan untuk meningkatkan ketepatan pembidikan, misalnya dengan menggunakan *laserpointer*.



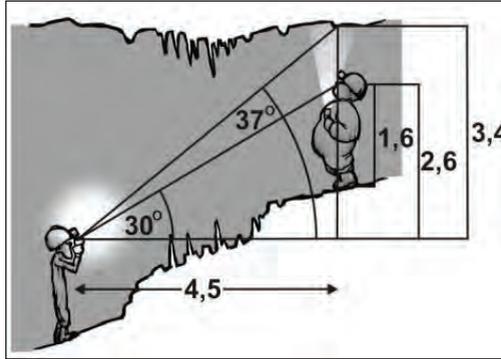
**Gambar 4.14** Mengukur Tinggi Atap pada Lorong dengan Lantai Datar



**Gambar 4.15** Mengukur Tinggi Atap pada Lorong dengan Lantai Menurun (Inklinasi Negatif)

Masalah yang dihadapi ketika menggunakan *laserpointer* adalah mirip dengan yang dialami ketika menggunakan laser disto. Diameter berkas cahaya yang terlalu kecil sehingga sulit untuk dilihat dari jarak jauh, serta kesulitan untuk menjaga berkas cahaya agar diam tepat di sasaran. *Stationer* yang mencoba untuk mengarahkan sumber cahayanya secara tegak lurus ke atas hanya berdasar perkiraan dapat

memperbesar kesempatan terjadinya kesalahan. Untuk menekan kesalahan semacam itu, pada sumber cahaya yang digunakan dapat ditambah alat bantu pengarah gravitasi seperti unting-unting (bandul) atau tabung nivo.



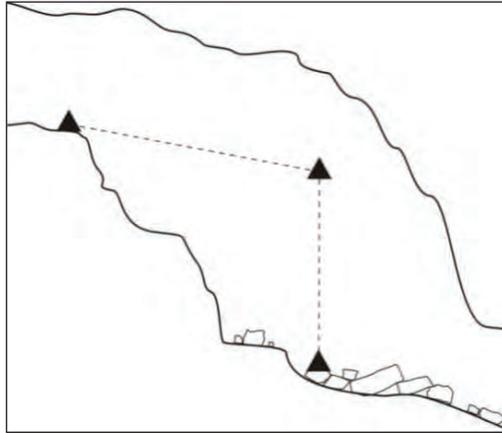
**Gambar 4.16** Mengukur Tinggi Atap pada Lorong dengan Lantai Menanjak (Inklinasi Positif)

Titik pada atap yang berada tepat tegak lurus dari suatu titik di lantai gua juga dapat ditemukan dengan mencari tetesan air yang jatuh dari atap gua. Bagian dari atap yang meneteskan air dapat ditemukan dengan bantuan cahaya yang cukup terang, sedangkan di lantai gua tempat jatuhnya titik air biasanya ditandai dengan lantai batu, lumpur yang berlubang, atau terdapat bekas percikan (Ganter, 1983).

Sejauh ini, cara paling praktis dan akurat untuk mengukur tinggi atap lorong gua adalah dengan menggunakan *laser distometer*.

## N. Survei pada Lorong Berlantai Terjal

Kemungkinan terjadinya kesalahan pembacaan kompas bertambah ketika kemiringan lorong yang dipetakan semakin besar. Untuk mengatasi hal seperti itu, pemetaan pada lorong berlantai terjal dianjurkan untuk dilakukan melalui jalur vertikal. Pada jalur survei seperti ini, *surveyor* menghindari jalur miring dengan memanjat atau meniti dinding sisi lorong. Setelah bagian lorong berlantai terjal dilewati, survei dilakukan melalui jalur vertikal.

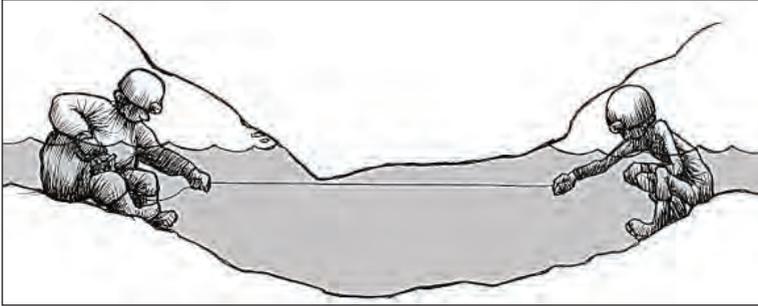


**Gambar 4.17** Jalur Survei pada Lorong Berlantai Terjal

## O. Survei pada *Sump*

*Sump* adalah bagian dari lorong gua yang seluruhnya tertutup air. Survei pada *sump* pendek dilakukan dengan menempatkan dua stasiun dekat ujung *sump*, dan di bawah permukaan air. Jarak antara kedua stasiun diukur dengan pita ukur. Usahakan agar pita ukur terhindar dari atap dan dinding *sump* yang dapat membelokkan arah pita. Setelah jarak diketahui, pita diangkat dari permukaan air sembari tetap dijaga arah tarikannya. Arah tarikan ini disejajarkan dengan kompas untuk mengetahui azimuthnya. Cara membaca azimuth melalui jendela atas ini memang tidak seakurat pembacaan kompas dengan pembidikian melalui lensa okuler. Untuk meminimalisasi kesalahan, pembacaan kompas juga dilakukan pada stasiun di ujung seberang *sump* menuju arah sebaliknya. Pembacaan dari seberang *sump* dapat dipergunakan untuk sekadar melakukan *cross check* maupun untuk mendapat angka rata-rata.

Ketika *sump* tidak menunjukkan adanya tanda-tanda beda tinggi yang berarti, *sump* tersebut dianggap datar dan pengukuran sudut vertikal tidak dilakukan. Beda tinggi diasumsikan sebesar 0 (Lloyd, 1976).



**Gambar 4.18** Survei pada *Sump*

*Siphon* adalah lorong penuh air yang memiliki variasi inklinasi sehingga jalurnya berbentuk menyerupai huruf “U”. Pada *siphon* maupun *sump* panjang, survei hanya dapat dilakukan oleh tim yang menguasai teknik penyelaman dalam gua (*cave diving*).

Teknik pemetaan lorong penuh air, menurut Cordingley (1997), meliputi pengukuran jarak, arah, dan beda tinggi antarstasiun. Sebagai alat bantu navigasi sekaligus alat ukur jarak, seorang *cave diver* yang membuka jalan selalu membawa segulung tali pemandu (*guideline*). Untuk tujuan pemetaan, gulungan tali tersebut diberi tanda pada setiap interval panjang tertentu. Kemudian tali direntangkan kencang dan ditambatkan pada tempat-tempat yang mewakili perubahan arah lorong. Tempat penambatan *guideline* dianggap sebagai titik stasiun.

Untuk mengetahui jarak antarstasiun, penyelam menghitung jumlah tanda pada tali dari satu stasiun ke stasiun berikutnya saat perjalanan kembali. Untuk mengetahui arah antarstasiun, *surveyor* menempatkan kompas sejajar dengan *guideline*. Angka yang terbaca pada kompas merupakan azimuth antarstasiun. Beda tinggi tidak diperoleh dengan menggunakan klinometer, melainkan dengan membaca *depth gauge* atau alat pengukur kedalaman air pada tiap stasiun survei. Dengan latihan yang memadai, kesalahan penutup koordinat sebesar 5% tidak akan sulit untuk dicapai.

Masih menurut Cordingley, perhatian utama saat berada ratusan meter di dalam lorong gua penuh air adalah bagaimana caranya agar tetap hidup. Kembali ke tempat awal penyelaman dengan membawa satu set angka-angka koheren adalah benar-benar hanya dianggap sebagai bonus.

## P. Pencatatan Data

Data yang dikumpulkan dalam survei gua berupa angka dan sketsa. Data berupa angka dicatat dalam kolom-kolom yang sudah tersedia dalam lembar pengambilan data seperti yang digunakan untuk mencatat data survei gua Simulasi (fiktif) berikut.

Nama gua		: Simulasi						
Lokasi		: Dusun Watu, desa selo, kec. Karang						
Tanggal survey		: 1 Maret 2005						
Grade survey		: 5B						
Surveyor		: Markus, Maryadi, Marpaung, Marfuah						
Stasiun		Tape	Kompas	Klino	◀	▶	▲	▼
Dari	Ke							
0	1	12	147	-28	2/5	2/5	3	B
1	2	15/25	053	-19	1/5	2	2	B
2	3	10/01	-	-90	2	2/5	4	B
3	4	14/3	087	4	2/5	1/5	15	B
4							10/5	B
4	4a	10/53	325	-4			3	B
4	4b	6/88	021	-10			4	B
4	4c	13	067	-14			7	B
4	4d	9/7	101	-11			6	B
4	4e	17/8	132	0			1/5	J
4	4f	7/71	197/5	-9			4	B
4c	5	16/74	-	-90	1	5		B
5	6	10/82	032/5	0/5	1	2/5	20	B
6	7	18/09	092	-0/5	1	1/5	10	B
7	8	14/33	199	0	1	1/5	8	B
8	9	19/42	091/5	-2	1	3	20	B
9	cs.		0		0/4	0/2	2	B
4c	10	20/15	106/5	-13/5				B
10	8	12/49	-	-90	1,5	1,5	6	B

Gambar 4.19 Lembar Pencatatan Data Lapangan

Keterangan:

1. Nama gua

Pencantuman nama gua sesuai dengan nama yang diberikan oleh penduduk setempat. Di Indonesia, banyak terjadi kesalahan penulisan yang di antaranya disebabkan oleh kesalahan mengeja nama yang diucapkan oleh pemberi informasi. Tim survei yang tidak menguasai bahasa daerah (atau negara) setempat memiliki lebih banyak kemungkinan untuk melakukan kesalahan ini. Kesalahan penamaan dapat dihindari dengan melakukan verifikasi atas informasi yang diterima.

Tim survei boleh memberi nama pada gua yang belum memiliki nama. Pada umumnya, penamaan diberikan berdasar posisinya terhadap ruas jalan terdekat, misalnya gua Km. 12, atau dari nama gunung, sungai, dusun, atau desa terdekat.

2. Lokasi

Lokasi administratif harus dituliskan secara jelas. Tulis nama dusun, desa, kecamatan dan kabupaten, serta lokasi geografis mulut gua.

3. Tanggal survei

Kegiatan pemetaan gua dapat memakan waktu lebih dari satu hari. Tulislah tanggal setiap kali dilakukan pemetaan.

4. *Grade* survei

Tulislah *grade* dan kelas survei serta lembaga yang mengeluarkan sistem *grade* dan kelas tersebut.

5. *Surveyor*

Tuliskan nama anggota-anggota yang terlibat dalam kegiatan pemetaan. Bila kegiatan melibatkan lebih dari satu organisasi, tuliskan nama organisasi-organisasi yang terlibat.

## 6. Stasiun

Kolom stasiun dibagi menjadi dua kolom. Kolom pertama merupakan stasiun tempat *shooter* berada, sedangkan kolom kedua adalah tempat *stationer* berada. Stasiun ditulis dalam angka, sedangkan substasiun dinyatakan dengan angka yang diikuti oleh huruf.

## 7. Tape

Kolom *tape* memuat angka-angka jarak miring (jarak sebenarnya) antara dua stasiun. Satuan jarak yang dipergunakan adalah meter.

## 8. Kompas

Kolom ini berisi azimut yang terbaca oleh *shooter*. Satuan yang digunakan adalah derajat.

## 9. Klino

Kolom klino merekam kemiringan (inklinasi) antara dua stasiun. Satuan yang digunakan adalah derajat. Angka-angka yang lebih besar dari angka 0 ditulis sebagaimana adanya. Namun, tanda minus/negatif (-) harus dicantumkan di depan setiap angka yang terbaca di bawah 0.

## 10. Kiri, Kanan

Pada kolom yang bertuliskan kiri, masukkan angka-angka jarak antara stasiun dengan dinding kiri lorong. Pada kolom kanan, tuliskan angka jarak dari titik stasiun ke dinding kanan. Pada survei dengan *floating station*, dinding kiri dan kanan lorong yang diukur berada pada ketinggian mata.

Kesalahan yang sering dilakukan oleh *surveyor* yang belum berpengalaman saat melakukan survei dengan gaya *center of passage* adalah menghitung atau memperkirakan jarak ke dinding gua dengan titik awal pengukuran pada pundak *surveyor*. Pada lorong yang berukuran cukup lebar, kesalahan seperti ini mungkin tidak akan terlihat dalam peta gua. Namun bagi gua dengan lorong yang sempit, kesalahan seperti ini dapat memunculkan kejanggalan. Suatu lorong yang sebenarnya memiliki lebar 60 cm akan tergambar hanya selebar 15 cm.

Pada kasus di atas, kelalaian diawali oleh *surveyor* yang mengukur jarak ke dinding kiri sejauh 5 cm dan ke dinding kanan sejauh 10 cm, pengukuran dimulai dari bagian tubuh terluarnya. Di atas meja gambar, penggambar lupa untuk menambahkan angka 45 cm, yaitu lebar tubuh *surveyor* dari bahu ke bahu.

Untuk menghemat tempat pada lembar pencatatan yang memang terbatas, beberapa *surveyor* menggunakan simbol ◀ atau ← untuk dinding kiri, simbol ▶ atau → untuk dinding kanan, dan tinggi atap dapat diwakili oleh simbol ▲ atau ↑. Selain itu, tinggi stasiun dapat diwakili oleh simbol ▼ atau ↓.

### 11. Tinggi Atap

Kolom tinggi atap berisikan angka-angka yang menunjukkan ketinggian atap dari lantai lorong. Ketinggian diukur atau diperkirakan tepat pada titik stasiun. Bagi yang belum terbiasa memperkirakan jarak, hasil perkiraan cenderung terlalu besar pada lorong yang lebar dan tinggi, dan terlalu kecil pada lorong yang sempit. Perbandingan dapat digunakan untuk melakukan perkiraan, misalnya lebar atau tinggi tubuh *surveyor* yang berada di dekat penampang lorong.

### 12. Tinggi Stasiun

Tinggi stasiun adalah jarak antara lantai lorong dan alat ukur. Dalam survei dengan jalur *center of passage*, seorang *shooter* yang memiliki tinggi badan 170 cm dan melakukan pembidikan alat ukur dalam posisi berdiri akan menghasilkan tinggi stasiun sekitar 160 cm (jarak tegak lurus dari mata hingga titik stasiun di lantai). Apabila dilakukan dalam posisi berjongkok, tinggi stasiun akan terukur sebesar 80–90 cm. Dan bila pembidikan alat ukur dilakukan saat *shooter* berbaring tiarap di lorong beratap rendah, stasiun tersebut memiliki tinggi antara 20 hingga 40 cm. Pencatatan tinggi stasiun dapat disederhanakan dengan menerangkan postur pembidik, yaitu berdiri, jongkok dan tiarap, dan dapat disingkat dengan huruf B, J, dan T.

Apabila tim survei menggunakan gaya *station to station*, tinggi stasiun adalah jarak vertikal antara titik stasiun dengan lantai lorong.

Pada contoh di atas, tinggi atap merupakan jumlah antara tinggi antara alat ukur dengan atap dan antara alat ukur dengan titik stasiun di lantai gua.

Pada gambar 4.19, terdapat ketidakkonsistenan penempatan angka-angka kiri, kanan, dan tinggi atap yang dilakukan secara sengaja. Dari stasiun 0 hingga stasiun 3, angka-angka detail lorong merupakan angka-angka untuk stasiun tersebut. Pada baris berikutnya, yaitu stasiun 4 hanya berisi data detail lorong stasiun 4. Angka dinding kiri dan kanan tidak perlu dicantumkan karena stasiun 4 merupakan stasiun yang berperan sebagai pusat pengukuran *chamber* dengan metode radial sehingga data detail dinding di sekelilingnya dapat diperoleh dari pengukuran itu. Pada enam baris berikutnya, data detail lorong hanya berupa tinggi atap dan tinggi stasiun pada stasiun-stasiun target. Angka dinding kiri dan kanan tidak tercantum pada baris ini karena posisi stasiun-stasiun tersebut kecuali stasiun 4c berupa *fixed station* yang tepat berada pada dinding *chamber*. Baris berikutnya dari stasiun 4c ke stasiun 5, data detail lorong kembali merupakan data pada stasiun 4c. Data tinggi atap stasiun 5 berdasar perkiraan ialah 20 meter, namun karena posisi stasiun 5 tepat berada di bawah stasiun 4c maka pada tahap penghitungan data dapat diperoleh angka yang lebih tepat, yaitu tinggi atap stasiun 4c ditambah beda tinggi antara stasiun 4c dan stasiun 5. Dari stasiun 5 hingga stasiun 9, data detail lorong adalah milik masing-masing stasiun. Dari stasiun 9 ke arah lorong *continues small* hanya dilakukan pengukuran azimuth. Pengukuran terakhir dilakukan untuk menghubungkan dua lorong cabang, yaitu dari stasiun 4c ke stasiun 10 dan dari stasiun 10 ke stasiun 8. Tinggi atap pada stasiun 10 diperkirakan sebesar 6 meter. Dalam tahap penghitungan data, angka ini ditambah dengan beda tinggi antara stasiun 10 dan stasiun 8 yang akan digunakan untuk mengganti tinggi atap pada stasiun 8 yang semula diperkirakan sebesar 20 meter.

Cara pencantuman detail lorong yang tidak berurutan seperti contoh di atas dilakukan untuk mempermudah *descriptor* dalam memilah data detail lorong. Untuk mencegah agar cara pencatatan

seperti di atas tidak berujung pada kebingungan pada tahap pengolahan data, dibutuhkan tambahan data berupa sketsa yang baik yang dibuat oleh seorang *descriptor* yang menguasai dan memahami dengan benar apa yang ditulis dan digambarnya.

Ketika mencatat data, seorang *descriptor* mencantumkan hasil pengukuran berupa angka beserta satuan desimalnya dalam lembar catatannya, misalnya angka kompas 32,5 atau jarak 2,11. Kondisi gua yang basah atau berlumpur serta posisi penulisan yang tidak nyaman, seringkali berakibat pada tanda baca tidak dapat tertulis dengan baik, atau bahkan tanpa sengaja terhapus. Hal seperti ini akan pada tahap pengolahan data, karena angka 32,5 bisa terbaca sebagai 325, dan angka 2,11 terbaca sebagai 21,1 (bila ini terjadi, sketsa yang dibuat secara benar akan sangat membantu). Cara untuk menghindari masalah seperti ini adalah penggunaan tanda baca garis miring untuk memisahkan angka dengan desimalnya. Sebagai contoh angka 32,5 ditulis sebagai 32/5, dan angka 2,11 dituliskan 2/11. Sebagian *surveyor* gua membaca dan menulis angka kompas dalam tiga digit. Misalnya angka 32,5 ditulis sebagai 032,5. Saat pemetaan, tiga digit ini disampaikan satu persatu. Kebiasaan seperti ini akan mengurangi kemungkinan terjadinya salah baca dan salah pencatatan. Hal yang sama juga dilakukan ketika membaca klinometer.

Pada gambar 4.19, kolom yang terisi pada baris paling bawah hanya kolom stasiun dari dan ke, serta kolom kompas. Pada kegiatan survei yang sesungguhnya kejadian seperti ini dapat saja terjadi, misalnya ketika perjalanan survei mencapai bagian lorong yang terlalu sempit sehingga *surveyor* hanya melakukan pengukuran dengan kompas untuk mengetahui arah lorong.

## Q. Sketsa

Data berupa angka yang dikumpulkan oleh tim survei tidak akan dapat digambar menjadi peta yang informatif tanpa adanya sketsa yang baik. Sketsa yang digambar meliputi sketsa tampak atas, sketsa tampak samping, dan sketsa penampang lorong. *Descriptor* juga harus

melengkapi sketsa dengan simbol-simbol yang mewakili kondisi lorong, ornamen, sedimen, pola hidrologi, dan segala sesuatu yang ditemui sepanjang jalur survei yang dirasa penting dan perlu dicatat.

### 1. Sketsa Tampak Atas

Sketsa tampak atas terdiri dari unsur-unsur sebagai berikut.

1. Titik stasiun beserta angkanya.
2. Garis tengah (*centerline*) yang menjadi penghubung antara titik-titik stasiun.
3. Garis lebar lorong kiri dan kanan.
4. *Outline* (garis luar) dinding kiri dan kanan.
5. Simbol-simbol.

Urutan penggambaran sketsa tampak atas adalah sebagai berikut.

1. Perkirakan kecenderungan arah lorong gua dengan melihat arah mulut gua.
2. Orientasikan lembar gambar sesuai dengan arah utara kompas. Biasanya utara mengarah ke bagian atas kertas gambar.
3. Tandai titik pada lembar gambar sebagai stasiun awal pemetaan (stasiun 0), sesuaikan dengan perkiraan kecenderungan arah lorong gua sehingga *descriptor* tidak cepat kehabisan lembar gambar.
4. Tarik *centerline* berdasar laporan angka bacaan kompas. *Centerline* cukup ditarik berdasar perkiraan. Sebagai contoh, bila kompas menunjuk pada angka 0 (utara) berarti garis ditarik tegak lurus ke atas pada bidang sketsa. Bila angka yang terbaca adalah  $90^\circ$  (timur) maka *centerline* berupa garis mendatar ke arah kanan. Jika angka yang diperoleh ada di antara kedua angka tersebut, misalnya  $30^\circ$  maka tariklah garis dengan arah antara tegak lurus ke atas dan mendatar ke kanan dengan sudut yang lebih mendekati arah tegak lurus. Sebaiknya saat menarik *centerline*, *descriptor* sudah dapat membayangkan panjang garis yang secara skalatis sesuai dengan angka pengukuran jarak.

5. Tandai kedua ujung *centerline* dengan angka 0 di titik awal dan angka 1 di ujung lainnya. Kedua angka ini merupakan angka stasiun survei.
6. Tarik garis ke kiri dan ke kanan dari stasiun 1. Garis-garis ini mewakili jarak antara titik stasiun 1 dengan dinding kiri dan kanan lorong gua. Sudut antara garis kiri dan kanan pada *centerline* diusahakan mendekati sudut sebenarnya antara garis imajiner yang menghubungkan dinding kiri dan kanan dengan arah bentangan pita ukur.
7. Bila stasiun 0 berada di luar lorong gua, dan stasiun 1 berada di mulut gua maka sketsa lorong tampak atas belum dapat digambar karena bagian tersebut belum memiliki dinding. Catatan yang dapat dimasukkan adalah keterangan medan antara dua stasiun serta simbol mulut gua dan tebing bagian kiri-kanan.
8. Ulangi proses pada poin 4 hingga 6 untuk menyusun kerangka bagi lorong gua. *Descriptor* harus dapat menyesuaikan arah antara *centerline* yang sedang ditarik dengan *centerline* yang sudah ada sebelumnya. Bila kompas menunjukkan angka yang lebih kecil dari angka pada stasiun sebelumnya maka *centerline* yang baru harus terlihat berbelok ke kiri dari *centerline* sebelumnya. Demikian juga sebaliknya.
9. *Centerline* dan garis kiri-kanan antara stasiun 1 dan stasiun 2 merupakan kerangka bagi pembuatan sketsa lorong. Sketsa tubuh lorong digambar dengan cara menggambar *outline* kiri dan kanan lorong dengan menghubungkan ujung luar garis kiri antara stasiun 1 dan 2 serta ujung dinding kanan antara stasiun 1 dan 2 dengan garis-garis yang mewakili bentuk dinding kiri dan kanan lorong.
10. Tambahkan simbol-simbol yang mewakili bentuk dan kondisi lorong sesuai dengan posisi dan proporsinya. Apabila *descriptor* mengalami kesulitan untuk mengingat simbol bagi bentuk atau kondisi yang ditemui, dapat dibuat simbol dengan keterangan yang dituliskan pada lembar sketsa. Dalam proses penggam-

baran peta, simbol darurat ini akan digantikan dengan simbol standar.

11. Cantumkan catatan tertulis apabila diperlukan.

## 2. Sketsa Tampak Samping

Sketsa tampak samping lorong berisi rekaman tentang dimensi, serta kondisi lantai dan atap gua, dengan unsur-unsur berikut:

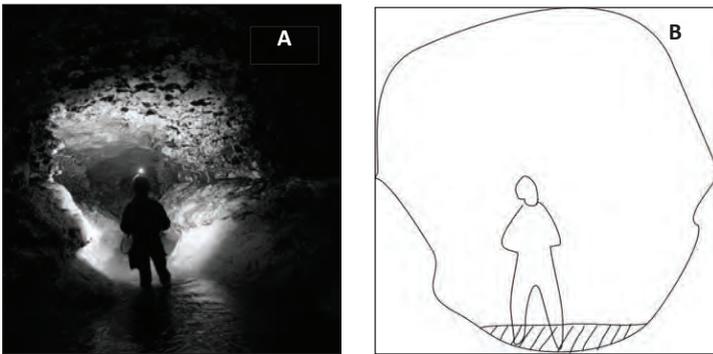
1. Titik stasiun disertai simbol stasiun dan angka.
2. Garis lantai dan atap lorong.
3. Gambar yang menerangkan kondisi lorong ketika dilihat dari samping, misalnya air dan runtuh batuan.

Urutan penggambarannya adalah sebagai berikut:

1. Perkirakan kecenderungan kemiringan lorong dengan mengamati lorong setelah mulut gua. Perkirakan gua tersebut berlorong horizontal atau vertikal dan cenderung naik atau turun.
2. Orientasikan lembar gambar sesuai dengan perkiraan kemiringan lorong. Pada gua dengan lorong horizontal, bidang gambar akan lebih dapat dihemat bila diposisikan mendatar. Sebaliknya, saat melakukan survei pada gua dengan lorong yang cenderung memanjang ke bawah, bidang gambar akan lebih dapat dimanfaatkan secara efisien saat lembar gambar diposisikan secara vertikal.
3. Buatlah tanda stasiun 0 pada sisi kiri agak atas bidang gambar.
4. Cantumkan tanda stasiun 1 dengan posisi terhadap stasiun 0 yang ditentukan berdasar perkiraan jarak dan kemiringan yang ada di antara kedua stasiun tersebut.
5. Hubungkan kedua titik stasiun dengan sketsa permukaan lantai.
6. Gambar *outline* atap lorong.

### 3. Sketsa *Cross Section*

Sketsa penampang lorong (*cross section*) dibuat pada tiap titik stasiun dan suatu tempat antara dua titik stasiun bila dirasa perlu. Sketsa ini digambar dengan mempertimbangkan proporsi tinggi dan lebar lorong. Tanda titik stasiun ditempatkan pada sketsa penampang lorong sesuai dengan posisi sebenarnya pada lorong gua. Kesulitan dalam menggambar *cross section* dapat diatasi dengan membayangkan bentuk atau kerangka dasar dari penampang lorong yang digambar.



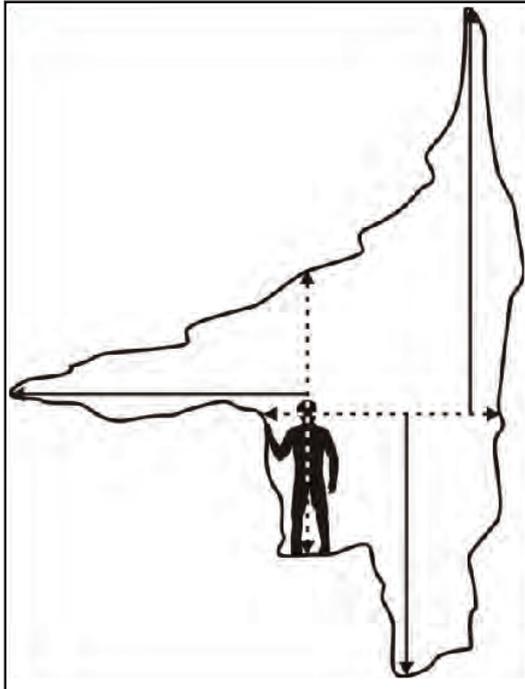
Keterangan: (A) Penampang lorong gua, (B) Sketsa *cross section*

Sumber: Akhmad Zona Ardiadi

**Gambar 4.20** Proporsi Sketsa *Cross Section*

Penampang suatu lorong kadang memiliki dimensi sedemikian rupa sehingga tidak cukup terdokumentasi hanya dengan sketsa dan catatan kiri, kanan, atas, dan bawah. Tidak jarang posisi stasiun pengukuran berada di bawah atap miring atau berundak sehingga catatan yang mencantumkan tinggi atap tidak mewakili tinggi atap lorong yang sebenarnya. Demikian juga dengan posisi dinding yang terukur di sisi kiri atau kanan stasiun, namun posisi dinding yang sebenarnya masih berada lebih jauh lagi. Ketika harus merekam penampang lorong seperti ini, para *cave surveyor* Amerika memberikan keterangan *false* dan *real* untuk membedakan atap, dinding, maupun lantai yang terukur dari stasiun, dan yang mewakili dimensi lorong sebenarnya.

Sketsa *cross section* harus dapat menunjukkan dengan jelas perbedaan posisi, misalnya *false left wall* (dinding kiri dekat) dan *real left wall* (dinding kiri sebenarnya). Pada lembar catatan, posisi dinding kiri dekat dan dinding kiri dapat ditulis dengan mencantumkan tanda /. Misal jarak dinding dekat adalah 2 meter, dan dinding sebenarnya adalah 7 meter maka dalam kolom dinding kiri ditulis 2/7 (Dasher, 1984).

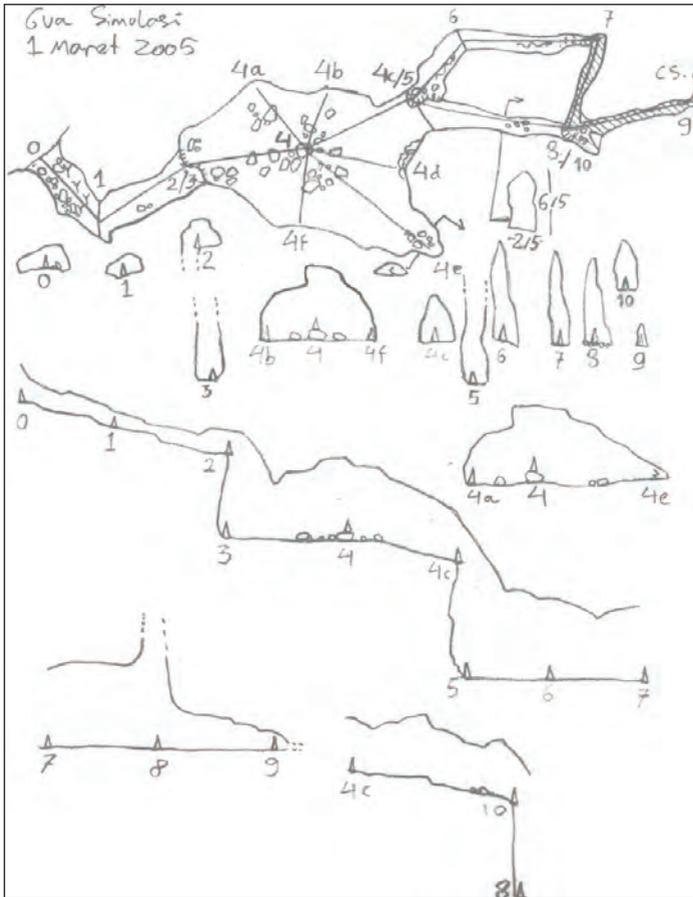


Keterangan: lorong dengan dinding kiri, atap, dan lantai dekat (garis putus-putus), dan dinding kiri, atap dan lantai sebenarnya (garis tegas).

**Gambar 4.21** *Cross Section*

Sketsa lorong gua berupa sketsa tampak atas, tampak samping dan penampang lorong dapat digambar pada satu lembar gambar yang sama atau lembar yang terpisah, tergantung cara yang dianggap lebih mudah oleh *descriptor*.

Sketsa gua digambarkan pada buku catatan survei. Halaman yang disediakan untuk menuangkan sketsa dapat berupa lembar kosong maupun halaman yang dilengkapi dengan garis-garis silang (*grid*). Nama gua dan tanggal survei dituliskan pada halaman pertama.

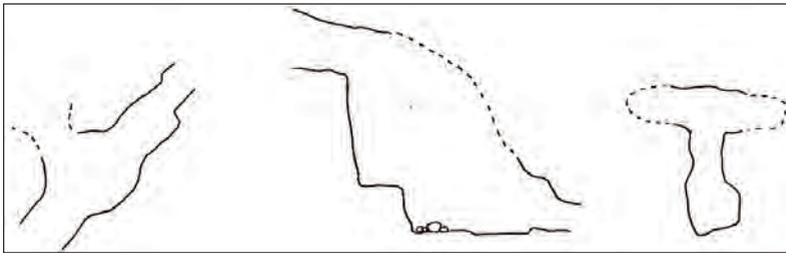


Keterangan: *Cross section* pada *chamber* cukup diwakili oleh penampang stasiun 4 dengan batas kiri stasiun 4b dan batas kanan stasiun 4f. *Cross section* tambahan dapat digambar bila dirasa perlu, contohnya adalah *cross section* antara stasiun 4c dan stasiun 10

**Gambar 4.22** Sketsa Lorong Gua

Bila *descriptor* menemukan lorong yang salah satu bagiannya tidak dapat terlihat, misalnya atap yang sangat tinggi atau bagian dari lorong yang tertutup oleh bagian lainnya, ia cukup menggambarkan bentuknya sejauh yang dapat dilihat.

Semua *cross section* harus digambar terbuka apabila ada dinding yang tidak dapat ditentukan, atap atau ceruk atap yang tertutup dari pandangan, atau ketika *surveyor* tidak dapat menyentuh dasar dari lorong berair. Tidak diperbolehkan mengarang informasi yang tidak teramati (Dasher, 1994).



Keterangan: dari kiri ke kanan sketsa tampak atas, tampak samping, *cross section*

**Gambar 4.23** Sketsa Bagian-Bagian Lorong Gua yang Tidak Terlihat Secara Utuh

Penggambaran sketsa lorong gua para *cave surveyor* terbagi menjadi dua golongan. Golongan pertama berpendapat bahwa sketsa peta gua harus dibuat dengan skala dan arah yang tepat. Untuk itu, diperlukan busur dan penggaris untuk menarik garis *centerline*. Bagi golongan ini, peta gua tidak harus dibuat oleh orang yang membuat sketsa di dalam gua. Oleh karena itu, seorang *sketcher* harus membuat sketsa se jelas mungkin sehingga orang lain dapat membacanya dengan mudah. Golongan kedua adalah *sketcher* yang menghindari penggambaran sketsa lorong gua sesuai skala karena hal tersebut membuat pekerjaan menjadi lebih lambat. Selain itu, beredar anggapan bahwa skala dan arah bukan ditentukan oleh sketsa, melainkan oleh hasil penghitungan data pengukuran.

Pada gua Simulasi, sketsa disimulasikan dengan penggambaran tanpa skala dan arah yang tepat. Penentuan panjang dan arah *centerline* serta garis-garis kiri, kanan dan tinggi atap dilakukan dengan dasar perkiraan yang didasari oleh pembacaan angka-angka hasil pengukuran, serta dengan melakukan perbandingan arah dan panjang *centerline* sebelumnya. Ornamen, *boulder*, serta sungai digambar dengan menggunakan *centerline* dan garis lebar lorong sebagai dasar untuk memperkirakan posisi dan dimensinya.

Disadari atau tidak, *descriptor* ketika sedang menggambar sketsa lorong gua sebenarnya sedang melakukan suatu permainan mental. Sebagai suatu permainan, kegiatan menggambar sketsa dapat menjadi sangat membosankan, tetapi juga dapat menjadi sesuatu yang menyenangkan. Sebagaimana pada umumnya permainan, kegiatan ini juga dapat menguras stamina seorang *descriptor*. Bagian yang melelahkan dari permainan tersebut ialah ketika *descriptor* dituntut untuk selalu mengubah persepsinya terhadap lorong yang digambarnya, dari tampak atas, tampak samping, hingga tampak depan.

Pemahaman bahwa yang sedang dilakukan pada dasarnya adalah merekam bentuk tiga dimensi lorong gua pada media gambar yang hanya berdimensi dua perlu dilakukan *descriptor* agar mencapai hasil yang baik. Selain itu, *descriptor* harus mengetahui cara merepresentasikan bentuk tiga dimensi ke dalam sketsa dua dimensi. Dengan pemahaman tersebut, *descriptor* tidak hanya akan menghasilkan sketsa yang baik, tetapi juga dapat mengerjakannya dalam waktu yang lebih singkat. Dengan demikian, pekerjaannya akan lebih ringan dan kelelahan mental dapat dikurangi.

Selain persoalan kelelahan, *descriptor* harus menyadari ada kemungkinan tidak digunakannya seluruh sketsa dalam pembuatan peta, khususnya sketsa *cross section* yang hanya dipilih beberapa yang cukup mewakili. Namun, sketsa *cross section* sebaiknya tetap dibuat secara lengkap karena *descriptor* tidak pernah tahu penampang di stasiun mana yang akan dipergunakan nanti.

Peta gua yang baik bukan hanya ditentukan oleh faktor presisi dan akurasi pengukuran, melainkan juga oleh kualitas sketsa yang

dibuat didalam gua. Sketsa yang berkualitas adalah sketsa yang dapat merepresentasikan bentuk dan kondisi lorong gua serta objek-objek yang ada di dalamnya. Berbeda dengan hasil pengukuran, sebuah sketsa hampir tidak mungkin untuk dinilai tingkat akurasi. Sketsa hanya dapat dinilai dari segi kemampuannya merepresentasikan bentuk dan kondisi lorong gua, serta secara lebih subjektif, dari kualitas estetisnya.

## R. Sudut Deklinasi

Sudut deklinasi merupakan sudut yang terbentuk dari selisih antara arah utara sebenarnya (*true north*) dengan arah utara magnet (*magnetic north*). Arah utara sebenarnya adalah arah utara yang mengacu pada kutub utara bumi, sedangkan arah utara magnet mengacu pada kutub utara magnet. Karena kutub-kutub magnet bumi tidak pernah berhenti berpindah tempat, arah utara magnet yang terbaca pada kompas juga selalu berubah setiap saat. Besar perubahan ini berbeda-beda untuk setiap tempat di seluruh muka bumi.

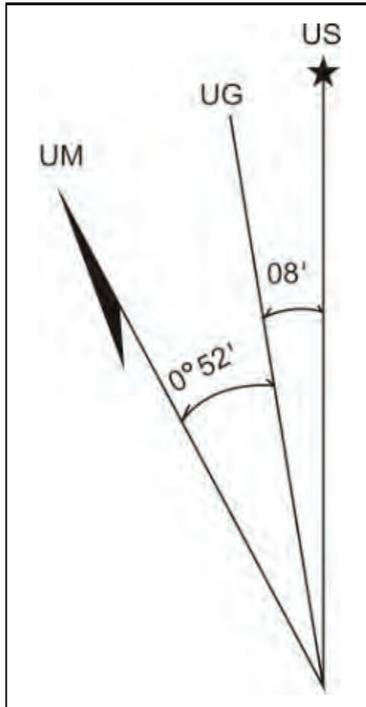
Pada peta rupabumi yang diproduksi Badan Informasi Geospasial (BIG) terdapat tiga macam utara, yaitu utara sebenarnya yang diberi keterangan *US* dan tanda berupa bintang pada ujung panah, utara *grid* dengan keterangan *UG*, dan utara magnet yang diberi keterangan *UM*. Utara *grid* adalah selisih antara utara sebenarnya dengan utara yang tergambar pada garis-garis *grid* peta sebagai akibat dari proyeksi peta.

Untuk mengetahui besarnya sudut deklinasi dari informasi yang tersedia pada peta BIG, dapat dilakukan dengan menghitung angka yang tertera pada busur-busur di antara tanda panah.

Gambar 4.24. menunjukkan bahwa besarnya sudut deklinasi pada tahun produksi peta adalah  $08^{\circ}+0^{\circ} 52' = 60' = 1^{\circ}$ . Deklinasinya adalah barat atau disebut juga deklinasi negatif karena posisi sumbu utara magnet berada di sebelah kiri dari sumbu utara sebenarnya. Jadi besar sudut deklinasi peta tersebut adalah  $-1^{\circ}$ .

Arah utara sebenarnya disimbolkan dengan tanda bintang. Hal ini berkaitan dengan salah satu cara yang hingga saat ini masih digu-

nakan untuk menentukan arah utara yaitu pengamatan pada bintang Polaris yang terlihat berada hampir tepat di atas kutub utara bumi.



**Gambar 4.24** Anak panah yang menunjukkan arah utara magnet, utara grid dan utara sebenarnya pada peta rupabumi produksi BIG.

Berbeda dengan negara-negara yang berada dekat dengan posisi kutub magnet bumi, besarnya selisih antara tiga arah utara di wilayah Indonesia tidak cukup besar untuk dapat digambarkan secara proporsional pada skema tersebut sehingga pada peta-peta BIG, penunjuk tiga arah utara sengaja dibuat secara berlebihan dan tidak proporsional dengan besar sudut yang tertulis.

Catatan yang menerangkan penambahan atau pengurangan deklinasi per tahun terdapat di bagian lain dari peta. Jika peta dibuat pada tahun 2010 dan deklinasi berkurang sebesar  $02'$  setiap tahun maka besarnya sudut deklinasi rata-rata di tempat yang tercakup dalam lembar peta pada tahun 2016 adalah:  $-1^{\circ} + (-02'6) = -1^{\circ} 12'$ .

Pada kenyataannya, penghitungan sudut deklinasi dengan menggunakan selisih sudut pada peta BIG sering menghasilkan angka yang tidak akurat, karena ternyata penambahan atau pengurangan deklinasi tahunan yang tercantum dalam peta sebenarnya hanya merupakan interpolasi kasar dari suatu model. Selain itu, peta produksi BIG mencantumkan keterangan deklinasi berdasarkan peta deklinasi magnetis yang dikeluarkan oleh Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) yang interval terbitnya terlalu lama dan tidak menentu (Amhar, 2004). Akibatnya adalah semakin jauh selisih antara tahun pembuatan dan tahun penggunaan maka informasi deklinasi magnetis pada peta produksi BIG semakin tidak akurat.

Cara penentuan besar sudut deklinasi yang lebih baik adalah dengan melakukan pembacaan sudut kompas pada objek yang jelas dan mudah dikenali pada peta rupabumi. Objek semacam ini dapat berupa persimpangan jalan, tepi jembatan, atau sudut bangunan berukuran besar. Pembacaan dilakukan dari suatu tempat yang juga jelas dan mudah dikenali pada peta. Objek sasaran harus berada pada jarak cukup jauh dari tempat pembacaan kompas. Pengukuran sudut antara dua objek tersebut dalam lembar peta dengan menggunakan busur atau *protractor*. Arah  $0^{\circ}$  pada busur diposisikan sejajar dengan arah utara sebenarnya dalam lembar peta. Selisih antara azimuth yang diperoleh dari pembidikan kompas dengan azimuth yang diperoleh dari pengukuran busur pada peta adalah nilai sudut deklinasi tempat tersebut.

Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk memperoleh angka sudut deklinasi magnetis, di antaranya dengan pengamatan pada dua titik *benchmark* menggunakan GPS geodetik. Cara lainnya berupa pengamatan astronomis. Sudut deklinasi dapat diketahui dengan pengukuran benda-benda langit menggunakan alat takimetri

dan deklinator. Cara-cara tersebut akan memberikan hasil yang akurat, tetapi hanya dapat dilakukan dengan peralatan dan teknik pengukuran yang rumit.

Selain itu, sudut deklinasi terkini di berbagai kota di seluruh dunia juga dapat diketahui dengan cara yang lebih sederhana dan dapat memberikan hasil yang memadai bagi kepentingan pemetaan gua, yaitu dengan menggunakan fasilitas yang disediakan oleh situs internet <https://www.magnetic-declination.com>.



Buku ini tidak diperjualbelikan.

# 5

## PENGOLAHAN DATA

Mulai bab ini, akan dipergunakan dua tanda pemisah desimal, yaitu koma ( , ) dan titik ( . ). Tanda titik dipergunakan dalam program-program pengolahan data dan penggambaran menggunakan komputer.

Tujuan pengolahan data survei adalah mengubah angka-angka hasil pemetaan menjadi angka-angka yang akan dijadikan acuan dalam penggambaran peta gua. Data survei dimasukkan dan diolah dalam lembar penghitungan data di bawah ini.

**Tabel 5.1** Lembar pengolahan data

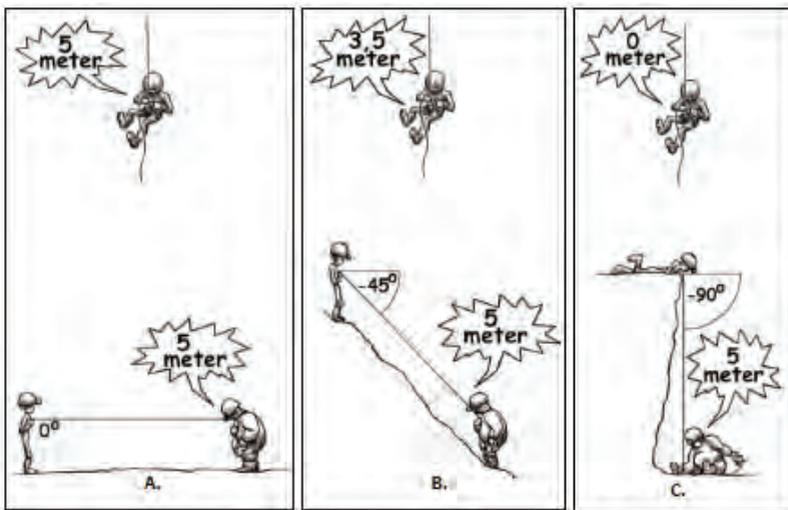
Nama Gua : Simulasi		Grade : 5 B (BCRA)										Lembar Ke : 1				
Lokasi : Dusun Watu, desa Selo, Kec. Karang		Tanggal Survei : 1 Maret 2005										Surveyor : Markus, Maryadi, Marpaung, Marli'ah				
Stasiun	Tape	Kompas	Cino	Jarak datar	$\Sigma L$	x	y	$\Sigma x$	$\Sigma y$	h	$\Sigma h$	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$	
Janti	D	a	$\theta$	$L = D \cos \theta$	$\Sigma L$	$L \sin \alpha$	$L \cos \alpha$	$\Sigma x$	$\Sigma y$	$D \sin \theta$	$\Sigma h$	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$	
0	1	12	147	28	10.595	10.595	5.771	5.771	-8.886	-8.886	-5.634	2.5	2.5	3	B	
1	2	15.25	53	-19	14.419	25.015	11.516	17.286	8.678	-0.208	-4.965	-10.599	1.5	2	2	B
2	3	10.91	0	-90	0.000	25.015	0.000	17.286	0.000	-0.208	-10.910	-21.509	2	2.5	4	B
3	4	14.3	87	4	14.265	39.280	14.246	31.532	0.747	0.538	0.998	-20.511	2.5	1.5	15	B
4	4a	10.53	325	-4	10.504	49.784	-8.025	25.507	8.605	9.143	-0.735	-21.246			3	B
4	4b	6.88	11	-10	6.775	46.055	1.293	32.825	6.651	7.189	-1.195	-21.706			4	B
4	4c	13	87	-14	12.614	51.894	11.611	43.143	4.929	5.467	-3.145	-23.656			7	B
4	4d	9.7	101	-11	9.522	48.801	9.347	40.879	-1.817	-1.279	-1.851	-22.362			6	B
4	4e	17.8	132	0	17.800	57.080	13.228	44.760	-11.911	-11.372	0.000	-20.511			1.5	J
4	4f	7.71	197.5	-9	7.615	46.895	-2.290	29.242	-7.263	-6.724	-1.206	-21.717			4	B
4c	5	16.74	0	-90	0.000	51.894	0.000	43.143	0.000	5.467	-16.740	-40.396				
5	6	10.82	32.5	0.5	10.820	62.713	5.813	48.958	9.125	14.592	0.094	-40.302	1	2.5	20	B
6	7	18.09	92	-0.5	18.089	80.802	18.078	67.035	-0.631	13.961	-0.158	-40.459	1	1.5	10	B
7	8	14.93	199	0	14.930	95.732	-4.861	62.174	-14.117	-0.156	0.000	-40.459	1	1.5	8	B
8	9	19.42	81.5	-2	19.408	115.141	19.195	81.369	2.869	2.713	-0.678	-41.137	1	3	20	B
4c	10	20.15	106.5	-13.5	19.593	71.487	18.786	61.929	-5.565	-0.098	-4.704	-28.360	1	5	8	B
10	8	12.45	0	-90	0.000	71.487	0.000	61.929	0.000	-0.098	-12.450	-40.810	1.5	1.5	6	B
4															10.5	
9													0.4	0.2	2	

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Keterangan:

### 1. Jarak datar (L)

Jarak datar adalah jarak antara dua titik ketika dilihat tepat dari atas. Sebagai contoh, dua stasiun yang saat diukur dengan menggunakan meteran berjarak 5 meter, dengan kemiringan lantai sebesar  $-45^\circ$ , akan terlihat hanya berjarak 3,5 meter saat dilihat dari atas. Jarak 3,5 meter inilah yang disebut sebagai jarak datar. Jarak miring dan jarak datar akan memiliki angka yang sama saat kedua stasiun berada pada posisi yang benar-benar datar. Semakin terjal kemiringan lorong, akan semakin kecil jarak datarnya. Bahkan jarak datar akan hilang sama sekali (0) ketika salah satu stasiun survei berada tepat di atas stasiun lainnya (klino  $90^\circ$  atau  $-90^\circ$ ).



Keterangan: A Jarak miring 5 meter, kemiringan  $0^\circ$ , jarak datar 5 meter

B Jarak miring 5 meter, kemiringan  $-45^\circ$ , jarak datar 3,5 meter

C Jarak miring 5 meter, kemiringan  $-90^\circ$ , jarak datar 0 meter

**Gambar 5.1** Perbandingan Antara Jarak Miring dan Jarak Datar

Jarak datar diperoleh dengan rumus di bawah ini.

$$L = D \cdot \cos \theta$$

D : jarak miring, atau jarak sebenarnya yang diperoleh dari pengukuran

$\theta$  : angka yang terbaca pada klinometer

## 2. Sigma jarak datar ( $\Sigma L$ )

Sigma adalah hasil penjumlahan. Sigma jarak datar berarti hasil penjumlahan jarak datar dari seluruh stasiun survei yang ada di belakang stasiun survei tertentu. Misalnya jarak datar dari stasiun 0 ke 1 adalah 7 meter itu berarti  $\Sigma L$  stasiun 1 adalah 7 meter. Dari stasiun 1 ke 2 didapati jarak datar sebesar 12 meter, berarti  $\Sigma L$  stasiun 2 adalah  $7+12=19$  meter. Antara stasiun 2 dan 3 terdapat jarak datar sejauh 9 meter, berarti  $\Sigma L$  stasiun 3 sebesar  $7+12+9=28$  meter, begitu seterusnya.

## 3. Absis (x)

Absis adalah angka yang menunjukkan posisi suatu titik yang berada pada sumbu x. Angka ini diperoleh dengan rumus

$$x = L \cdot \sin \alpha$$

L : jarak datar

$\alpha$  : angka yang tertera pada kolom kompas

Untuk menghindari salah hitung, selalu perhatikan angka hasil perhitungan. Azimut yang lebih besar dari 0 dan lebih kecil dari 180 harus menghasilkan angka x positif. Azimut yang lebih besar dari 180 dan lebih kecil dari 360 harus menghasilkan angka x negatif. Azimut 0 dan 180 akan berada tepat di titik 0 pada sumbu x.

## 4. Sigma x

Sigma x diperoleh dengan menjumlahkan seluruh angka x mulai dari stasiun 0. Perhitungan sigma harus diulang pada titik stasiun yang menghubungkan percabangan. Misalnya setelah menyelesaikan perhitungan suatu lorong utama didapat  $\Sigma L$  stasiun 50 sebesar 725

meter. Pada stasiun 20 dari lorong utama itu terdapat percabangan yang diawali oleh stasiun dengan nomor 51.  $\Sigma L$  stasiun 51 bukanlah hasil penjumlahan dari  $\Sigma L$  stasiun 50 dengan  $L$  stasiun 20 ke 51, melainkan merupakan hasil penjumlahan  $\Sigma L$  stasiun 20 dengan  $L$  stasiun 20 ke 51. Stasiun-stasiun pada *chamber* yang diukur dengan metode poligon terbuka dan *offset* juga dianggap sebagai cabang sehingga penjumlahan jarak datarnya juga harus dilakukan sebagaimana yang dilakukan pada percabangan lorong.

### 5. Ordinat (y)

Angka suatu titik pada sumbu y (ordinat) dihitung dengan mengalikan jarak datar ( $L$ ) dengan kosinus angka kompas ( $\alpha$ ).  $y=L\cos\alpha$ . Hitungan ordinat harus menunjukkan angka positif saat azimuth menunjukkan angka antara 270 dan 90. Bila azimuth tepat menunjuk 90 dan 270 maka ordinat harus 0. Semua azimuth yang lain harus menghasilkan angka negatif pada sumbu y.

### 6. Sigma y

Seperti halnya sigma L dan sigma x, sigma y juga merupakan hasil penjumlahan angka y yang berada di belakang stasiun tertentu (tanpa memperhitungkan stasiun-stasiun yang berada pada cabang lorong yang lain). Lorong cabang dan *chamber* yang dihitung dengan metode radial dan *offset* dijumlahkan mulai dari stasiun pada awal percabangan.

### 7. Elevasi (h)

Elevasi berarti beda ketinggian antara dua titik. Beda ketinggian didapat dari penghitungan jarak miring dan sudut kemiringan lorong antara dua stasiun. Rumus perhitungan untuk mendapatkan elevasi adalah bila angka kemiringan ( $\theta$ ) negatif maka elevasi juga akan berjumlah negatif. Bila angka kemiringan positif, elevasi juga akan berada pada angka positif, dan jika kemiringan 0 maka sebarang panjang jarak miring, hasil penghitungan elevasi harus sebesar 0.

## 8. Sigma h

Jumlah seluruh elevasi dari stasiun 0 hingga ke suatu stasiun tertentu dinyatakan sebagai sigma h ( $\Sigma h$ ) stasiun tersebut. Jangan campur adukkan elevasi pada dua lorong cabang, meski keduanya bermuara pada percabangan yang sama.

Rekomendasi untuk mencapai presisi yang tinggi, pada tahap pengolahan data angka-angka koordinat dihitung setidaknya hingga mendekati satuan 0,01. Bila peta menggunakan skala besar, misalnya 1:250, penghitungan sebaiknya dilakukan hingga mendekati satuan 0,001. Seluruh titik stasiun harus ditentukan posisinya hingga mendekati satuan 0,02 meter terdekat ( Ellis, 1976a).

Untuk mendapatkan peta dengan arah utara sebenarnya, angka-angka hasil bacaan kompas disesuaikan dengan besarnya sudut deklinasi pada saat survei dilakukan di daerah itu. Pada tabel 5.2 dicontohkan bahwa besarnya sudut deklinasi di wilayah itu pada bulan Maret 2005 adalah sebesar  $+1^\circ$ . Azimut yang sesuai dengan arah utara sebenarnya diperoleh dengan menambahkan koreksi sebesar  $-1^\circ$  pada seluruh hasil bacaan kompas. Perhatikan bahwa azimut  $0^\circ$  pada lorong dengan sudut inklinasi vertikal sempurna ( $-90^\circ$ ) tidak turut dirubah.

**Tabel 5.2** Lembar Pengolahan Data dengan Data Kompas yang Sudah Disesuaikan dengan Sudut Deklinasi

Stasiun dari ke		Tape D	Kompas $\alpha$	Climo $\theta$	Jarak datar $L=D \cos \theta$	$\Sigma L$	x $L \sin \alpha$	$\Sigma x$	y $L \cos \alpha$	$\Sigma y$	h $D \sin \theta$	$\Sigma h$	◀	▶	▲	▼
0	1	12	146	-28	10.595	10.595	5.925	5.925	-8.784	-8.784	-5.634	-5.634	2.5	2.5	3	B
1	2	15.25	52	-19	14.419	25.015	11.362	17.287	8.877	0.093	-4.965	-10.599	1.5	2	2	B
2	3	10.91	-1	-90	0.000	25.015	0.000	17.287	0.000	0.093	-10.910	-21.509	2	2.5	4	B
3	4	14.3	86	4	14.265	39.280	14.230	31.518	0.995	1.088	0.998	-20.511	2.5	1.5	15	B
4	4a	10.53	324	-4	10.504	49.784	-6.174	25.343	8.498	9.587	-0.735	-21.246			3	B
4	4b	6.88	10	-10	6.775	46.055	1.177	32.694	6.673	7.761	-1.195	-21.706			4	B
4	4c	13	66	-14	12.614	51.894	11.523	43.041	5.131	6.219	-3.145	-23.656			7	B
4	4d	9.7	100	-11	9.522	48.801	9.377	40.895	-1.653	-0.965	-1.851	-22.362			6	B
4	4e	17.8	131	0	17.800	57.080	13.434	44.952	-11.678	-10.589	0.000	-20.511			1.5	J
4	4f	7.71	196.5	-9	7.615	46.895	-2.163	29.355	-7.301	-6.213	-1.206	-21.717			4	B
4c	5	16.74	-1	-90	0.000	51.894	0.000	43.041	0.000	6.219	-16.740	-40.396				
5	6	10.82	31.5	0.5	10.820	62.713	5.653	48.694	9.225	15.444	0.094	-40.302	1	2.5	20	B
6	7	18.09	91	-0.5	18.089	80.802	18.087	66.781	-0.316	15.128	-0.158	-40.459	1	1.5	10	B
7	8	14.93	198	0	14.930	95.732	-4.614	62.167	-14.199	0.929	0.000	-40.459	1	1.5	8	B
8	9	19.42	80.5	-2	19.408	115.141	19.142	81.309	3.203	4.132	-0.678	-41.137	1	3	20	B
4c	10	20.15	105.5	-13.5	19.593	71.487	18.881	61.922	-5.236	0.983	-4.704	-28.360	1	5	8	B
10	8	12.45	-1	-90	0.000	71.487	0.000	61.922	0.000	0.983	-12.450	-40.810	1.5	1.5	6	B
4															10.5	
9													0.4	0.2	2	

Buku ini tidak diperjualbelikan.

# 6

## KESALAHAN-KESALAHAN DAN PERATAAN KESALAHAN DALAM PEMETAAN GUA

Suatu hal yang tidak dapat dihindari dalam pemetaan gua adalah terjadinya kesalahan. Pada masing-masing dari ketiga tahap pembuatan peta, yaitu pengumpulan data, penghitungan data, dan penggambaran, selalu terbuka kesempatan bagi *surveyor* untuk melakukan kesalahan, dan tidak seorang *surveyor* pun yang melewatkan kesempatan ini. Kesalahan-kesalahan seperti ini menyebabkan posisi stasiun survei terukur, terhitung dan tergambar tidak sesuai dengan posisinya sebagaimana mestinya. Meski tak terhindarkan, besarnya angka kesalahan dapat ditekan yaitu dengan melakukan ketiga tahap survei dengan teliti.

### A. Kesalahan dalam Tahap Akuisisi Data

#### 1. Kategori Kesalahan Pengukuran

Secara umum, kesalahan dalam tahap akuisisi atau pengumpulan data dapat digolongkan ke dalam tiga kategori, yaitu kesalahan acak, kesalahan sistematis, dan *blunder*.

##### a. Kesalahan Acak

Kesalahan acak (*random error*) adalah kesalahan-kesalahan kecil yang terjadi pada saat berlangsungnya pemetaan. Kesalahan-kesalahan seperti ini menggambarkan kenyataan bahwa mustahil untuk men-

dapatkan pengukuran yang sepenuhnya sempurna tiap saat dilakukan pembacaan pada kompas, inklinometer, atau pita ukur (Fish, 1996).

Menurut Fish, penyebab dari terjadinya kesalahan-kesalahan semacam ini sangat bervariasi, mulai dari yang disebabkan oleh *surveyor*, seperti getaran tangan saat membaca kompas dan pembidikan klinometer tidak tepat pada sasaran, kesalahan yang disebabkan oleh lingkungan, seperti perubahan panjang pita ukur sebagai akibat dari perubahan suhu udara, hingga yang disebabkan oleh alat ukur yang dipergunakan. Sudah diketahui, bahwa setiap alat ukur, baik kompas, klino, maupun alat pengukur jarak, memiliki keterbatasan dalam akurasi pengukuran. Semakin tinggi presisi dan akurasi alat ukur, semakin kecil kesalahan yang dibuatnya. Hal inilah yang menjadi salah satu alasan dalam pembagian *grade* survei. Alat pengukur sudut yang dipergunakan dalam survei *grade* 5 misalnya, memiliki akurasi pembacaan hingga sebesar 1 derajat. Ini berarti *surveyor* hanya dapat melakukan pengukuran hingga akurasi tersebut, ataupun kalau diusahakan lebih jauh lagi, hingga akurasi 0,5 derajat. Azimut antara dua titik stasiun yang sebenarnya sebesar  $125,3^\circ$ , misalnya hanya dapat terbaca sebesar  $125,5^\circ$ . Ini berarti telah terjadi kesalahan pengukuran azimut sebesar  $0,2^\circ$ .

Salah satu karakteristik dari kesalahan acak yang juga diistilahkan sebagai *accidental error*, *irregular error*, dan *erratic error* (Crowl, 1984) adalah angka kesalahan yang cenderung kecil. Karakteristik berikutnya adalah adanya kecenderungan untuk saling meniadakan, khususnya dalam rangkaian survei yang panjang. Maksudnya adalah apabila kesalahan-kesalahan tersebut benar-benar bersifat acak maka ada kalanya *shooter* melakukan pembacaan kompas sedikit lebih besar dari arah sebenarnya, namun pada kesempatan yang lain, hasil bacaannya akan lebih kecil sehingga kelebihan dan kekurangan hasil pengukuran akan saling meniadakan dan pada akhirnya hanya akan menyisakan kesalahan dalam jumlah kecil.

Dalam suatu survei yang membentuk poligon tertutup, kesalahan-kesalahan seperti ini akan terakumulasi dan akan menyebabkan terjadinya *loop closure error*. Meski bersifat acak, namun besarnya

akumulasi kesalahan memiliki kecenderungan untuk mengikuti pola tertentu yang disebut sebagai distribusi normal. Ketika akumulasi kesalahan yang terjadi pada sebuah poligon tertutup jauh melampaui perkiraan maka dapat dipastikan bahwa rangkaian survei pada poligon tersebut mengandung kesalahan lain yang lebih berat dari sekadar kesalahan acak.

### **b. Kesalahan Sistematis**

Kesalahan sistematis (*systematic error*) terjadi ketika ada sesuatu hal yang menyebabkan terjadinya kesalahan yang bersifat konstan dan konsisten pada sepanjang jalur survei (Fish, 1996). Penyebab dari terjadinya kesalahan semacam ini adalah karena gangguan pada kinerja alat ukur, misalnya pita ukur yang telah memuai secara permanen sehingga menjadi lebih panjang beberapa sentimeter dari ukuran sebenarnya, atau kompas yang sudutnya selalu melenceng beberapa derajat dari sudut sebenarnya. Kunci dari masalah ini adalah pada besarnya kesalahan yang bersifat konstan dan konsisten sehingga apabila sumber dari kesalahan tersebut dapat ditemukan maka kesalahan seperti ini dapat dikoreksi pada saat proses pengolahan data. Sebagai contoh, bila diketahui pita ukur telah mengalami perubahan panjang sebesar 3 cm maka data lapangan berupa jarak miring harus disesuaikan secara proporsional sesuai dengan panjang pengukurannya. Juga apabila diketahui bahwa kompas mengalami kesalahan sebesar -4 derajat maka seluruh data azimuth yang diinput ke dalam lembar penghitungan harus ditambah 4 derajat.

### **c. Blunder**

*Blunder* adalah kesalahan mendasar dalam proses pemetaan. Pada umumnya, *blunder* disebabkan oleh faktor manusia. *Blunder* dapat terjadi dalam proses pengukuran, pembacaan, penyalinan, dan pencatatan data survei. Kesalahan pengukuran yang termasuk ke dalam golongan ini bersifat tidak konsisten dan seringkali tidak terdeteksi. Apabila kesalahan acak dapat dijelaskan dengan hukum probabilitas, sedangkan kesalahan sistematis dapat dijelaskan dengan hukum matematika dan atau fisika maka tidak ada hukum, baik probabilitas,

matematika maupun fisika yang dapat diterapkan pada *blunder* (Wefer, 1987).

Kesalahan seperti ini juga disebut sebagai *gross error* atau *mistake* (Ellis, 1987b). Kesalahan seperti inilah yang nantinya akan menyebabkan kesulitan besar pada tahap-tahap selanjutnya. Ketika pada tahap penghitungan data, *surveyor* menyadari bahwa suatu *blunder* telah terjadi, ia tidak dapat melakukan koreksi kesalahan karena ia tidak tahu seberapa besar kesalahan yang telah terjadi. Bahkan untuk memperkirakannya pun terkadang adalah sesuatu yang mustahil. Lebih buruk lagi, pada kenyataannya ada banyak *blunder* yang dapat terjadi tanpa pernah disadari hingga angka-angka yang salah ini akhirnya lolos ke meja gambar dan menjadi sebuah peta. Tentu saja peta seperti ini mengandung kesalahan yang tidak disadari, bahkan oleh orang yang menggambarnya.

## **2. Penyebab Kesalahan dalam Tahap Akuisisi Data**

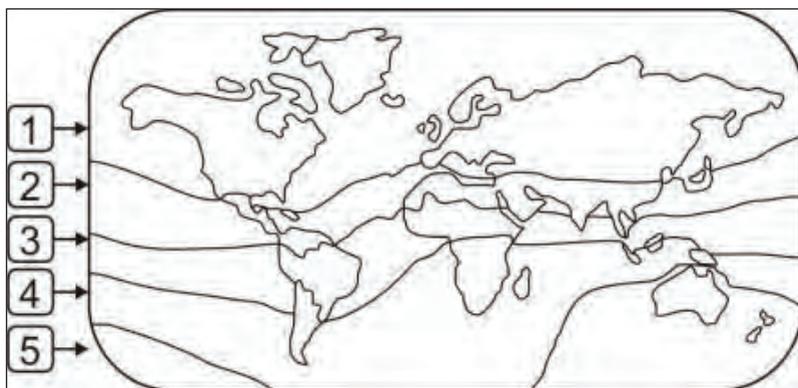
Saat melakukan pengumpulan data di lapangan, tim survei dihadapkan pada kemungkinan terjadinya kesalahan pengambilan data. Setiap anggota tim survei seharusnya mengetahui faktor-faktor yang dapat menyebabkan terjadinya kesalahan, dengan demikian mereka dapat mengantisipasi dan diharapkan mampu mengatasi masalah tersebut. Dari berbagai faktor penyebab terjadinya kesalahan pengukuran, secara umum dapat digolongkan ke dalam tiga kelompok, yaitu kesalahan yang disebabkan oleh alat survei, kesalahan yang disebabkan oleh *surveyor*, dan kesalahan yang diakibatkan oleh lingkungan kerja.

## **3. Kesalahan Alat Survei**

### **a. Kompas**

Jarum atau piringan yang terpasang di dalam kompas pada keadaan tertentu dapat mengalami ketidakseimbangan sehingga posisinya menjadi berat sebelah. Hal itu dapat menyebabkan salah satu sisi dari jarum atau piringan tersangkut pada dasar atau atap tabung kompas. Bila ini terjadi maka kemungkinan besar telah terjadi *blunder* berupa kesalahan pembacaan azimut.

Tersangkutnya jarum atau piringan dapat disebabkan oleh jarum atau piringan yang memang dibuat lebih berat pada salah satu sisinya. Ini dilakukan untuk menyesuaikan dengan kondisi magnetis suatu daerah. Pada setiap daerah di muka Bumi terdapat perbedaan arah tunjaman garis-garis gaya magnet yang sudut tunjamnya tergantung pada jarak daerah tersebut dari kutub-kutub magnet Bumi. Setiap kompas dibuat untuk dipergunakan hanya pada daerah-daerah yang berada pada kisaran garis lintang tertentu. Suatu kompas yang dirancang hanya untuk dipergunakan di daerah yang berada pada kisaran khatulistiwa tidak akan dapat mempertahankan kedataran lempeng magnetisnya ketika dibawa terlalu jauh ke utara atau ke selatan, demikian pula sebaliknya (White & White, 1987). Penyesuaian terhadap sudut tunjam setempat dapat dilakukan dengan memasang pemberat pada salah satu sisi lempeng magnetis kompas.



Sumber: Digambar ulang dari Suunto, *Optical Reading Clinometer PM-5 (user manual)*

**Gambar 6.1** Skema Pembagian Zona Keseimbangan Kompas

Dalam gambar 6.1 terlihat posisi wilayah negara Indonesia berada pada zona 4. Agar dapat berfungsi dengan baik, kompas yang dipergunakan di Indonesia juga harus kompas yang khusus diperuntukkan bagi pemakaian di zona tersebut. Pada umumnya kompas yang

dipasarkan di suatu negara adalah kompas yang memang diproduksi sesuai dengan zona keseimbangan negara bersangkutan.

Bagi pengguna kompas yang menginginkan unit kompas untuk dipergunakan di seluruh muka bumi, produsen Suunto telah mengeluarkan kompas yang mampu menjaga kestabilan jarum magnetnya di manapun alat tersebut dipergunakan. Sayangnya kompas yang diberi nama Suunto M-3G (G merupakan singkatan dari Global) ini hanya memiliki akurasi bacaan sebesar 2 derajat.

Tentu saja kesalahan pembacaan azimuth juga dapat disebabkan oleh performa kompas itu sendiri yang memang sudah menurun. Penyebabnya bisa bermacam-macam, misalnya munculnya gelembung pada kompas yang menggunakan suspensi cairan, atau poros kompas yang sudah aus. Kesalahan yang dapat diakibatkan oleh menurunnya performa kompas dapat tergolong dalam kesalahan yang bersifat sistematis hingga *random*.

## **b. Klinometer**

Penurunan performa juga dapat terjadi pada klinometer yang dapat menyebabkan kesalahan pengukuran sudut kemiringan. Seperti halnya kompas, performa klinometer juga dapat menurun ketika muncul gelembung di dalam kapsul plastik pada klinometer ber-suspensi cairan, jugaketika poros *dial* tidak dapat lagi berputar dengan lancar. Kerusakan pada klinometer dapat disebabkan oleh benturan keras. Kategori kesalahan yang dihasilkan dari menurunnya kinerja klinometer dapat bersifat sistematis maupun *blunder*. Cara untuk memastikan klinometer yang dipergunakan berada dalam kondisi baik, kalibrasi perlu dilakukan setiap kali pemetaan akan dimulai.

## **c. Alat Ukur Jarak**

Alat ukur jarak dapat mengalami penurunan akurasi pengukuran. Pita ukur dapat mengalami kemuluran permanen yang disebabkan oleh salah penggunaan, misalnya karena ditarik terlalu kencang. Topofil juga dapat mengalami penurunan akurasi. Hal itu terjadi bila ukuran keliling roda tempat benang berputar telah mengalami perubahan

dari ukuran semula. Penurunan akurasi alat ukur jarak menyebabkan kesalahan pengukuran yang bersifat sistematis.

#### **4. Kesalahan Surveyor**

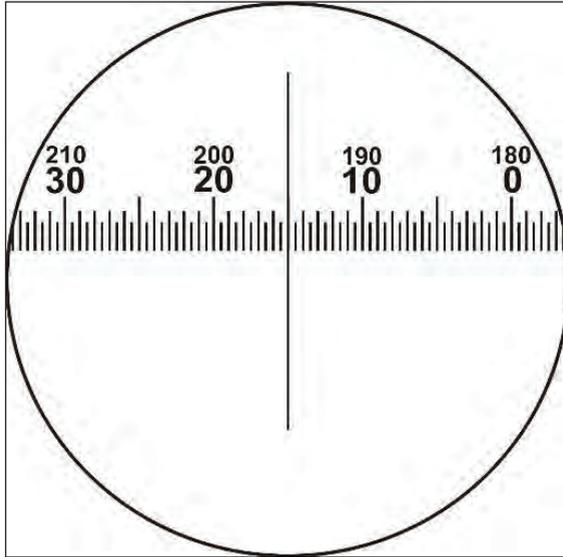
Seringkali, kesalahan pengambilan data justru disebabkan oleh keteledoran maupun kondisi fisik *surveyor* sendiri. Di bawah ini adalah uraian tentang macam-macam kesalahan pengukuran yang dapat disebabkan oleh *surveyor*.

##### **a. Gangguan Magnetis yang Disebabkan oleh Peralatan Surveyor**

Gangguan magnetis di dalam lorong gua, selain merupakan suatu fenomena alam, juga dapat disebabkan oleh berbagai peralatan yang dibawa oleh anggota tim survei, khususnya yang dibawa dan dipergunakan oleh *shooter*. Untuk menekan resiko terjadinya kesalahan pengukuran akibat gangguan magnetis, anggota tim survei, khususnya sekali lagi *shooter*, harus selalu memperhatikan barang-barang yang mereka pergunakan seperti jam tangan, kacamata, dan alat penerangan yang berpotensi memengaruhi medan magnet.

##### **b. Pembacaan Angka pada Kompas Suunto K14/360**

Dari lensa pengamatan, angka pada kompas Suunto K14/360 terlihat berurutan dari kanan ke kiri, suatu hal yang kelihatannya berlawanan dengan kewajaran, karena dalam kehidupan sehari-hari kita selalu membaca, menulis dan mengurutkan angka dari kiri ke kanan. Deretan angka di dalam kompas yang harus dilihat melalui lensa atau prisma memang harus diurutkan secara demikian, justru untuk membuatnya muncul dalam urutan yang benar. Kesalahan sering terjadi ketika seorang *shooter* membaca suatu garis graduasi yang merupakan perwakilan dari angka tertentu, dan mengurutkan garis tersebut dari angka puluhan terdekat yang berada di sebelah kirinya. Urutan yang kelihatannya wajar ini justru dapat menyebabkan kesalahan karena ia seharusnya mengurutkan dari angka puluhan terdekat yang berada di sebelah kanan. Jika *shooter* mengamati dengan lebih teliti, angka puluhan yang berada di sebelah kanan memiliki nilai lebih kecil dari angka puluhan yang berada di sebelah kiri.



**Gambar 6.2** Graduasi yang Terlihat dari lensa Kompas Suunto K14/360

Pada gambar 6.2 terlihat deretan angka pada kompas Suunto K14/360 dengan urutan dari kanan ke kiri. Dalam contoh di atas, kompas menghadap pada azimuth 15, namun seorang *shooter* yang belum terbiasa menggunakan kompas jenis ini, dapat dengan mudah melakukan kesalahan sebesar 10 derajat dengan menyebut angka 25.

### c. *Dial* Kompas Tersangkut

Kesalahan lain yang sebenarnya tidak perlu terjadi adalah membaca angka kompas dalam keadaan *dial* (jarum atau piringan) tersangkut pada permukaan bagian dalam tabung kompas. Hal ini akan menyebabkan angka yang terbaca tidak sesuai dengan arah sebenarnya. Selain disebabkan oleh penggunaan kompas yang tidak sesuai zona keseimbangannya, tersangkutnya *dial* pada permukaan tabung dapat disebabkan karena kompas digunakan dalam posisi miring. Kejadian seperti ini dapat terjadi apabila si pembaca berusaha untuk membaca

angka sambil terus mengawasi objek yang terletak pada ketinggian yang berbeda. Sebenarnya ia dapat mengatasi hal tersebut dengan tetap memosisikan kompas secara mendatar. Untuk membidik objek yang terletak lebih tinggi atau lebih rendah dari posisinya, ia dapat menarik garis imajiner tegak lurus yang menghubungkan objek dengan garis rambut atau pisir (*vizier*) kompas.

#### **d. Binocular Vision Disorder**

*Binocular vision disorder* adalah gangguan penglihatan yang disebabkan oleh ketidakselarasan fungsi mata kanan dan mata kiri. Salah satu subkelas dari gangguan penglihatan ini adalah *heterophoria*. Gangguan ini berupa ketidaksesuaian posisi kedua bola mata secara horizontal yang seringkali tidak disadari oleh penderita. Kelainan ini dapat menyebabkan kegagalan pengamat dalam membaca instrumen optik kompas (Hatherly, 1987), namun, tidak mengalami masalah dalam membaca klinometer. Untuk mengetahui seseorang menderita *heterophoria* atau tidak, produsen kompas dan klinometer *Suunto* menganjurkan cara berikut, bacalah alat optik dengan kedua mata terbuka lalu tutuplah satu mata, yaitu mata yang memandang objek, seseorang yang terbebas dari kelainan *heterophoria* akan mendapati angka yang dibacanya tidak banyak berbeda dari bacaan pertama. Membaca instrumen dengan satu mata tertutup dapat membantu mengatasi masalah ini. Satu mata yang terbuka digunakan secara bergantian untuk mengamati objek dan instrumen. Penderita kelainan *heterophoria* yang sudah parah seharusnya tidak ditugaskan sebagai *shooter*.

*Heterophoria* terbagi dalam dua golongan. *Exophoria* merupakan kelainan yang terjadi apabila sudut pandang mata kanan dan mata kiri saling menjauh, dan *esophoria*, yaitu apabila sudut pandang kedua mata saling mendekat. Pengamatan yang dilakukan oleh Dougherty (2006) atas kelainan *esophoria* yang dideritanya menghasilkan perbedaan bacaan kompas sebesar 8 derajat antara mata kanan dan mata kiri. Kesalahan sebesar itu merupakan masalah serius dalam kegiatan survei.

Subkelas lain dari gangguan penglihatan binokuler adalah *hyperphoria*, kelainan yang terjadi apabila kedua bola mata tidak bersesuaian arah dalam bidang vertikal. Dibandingkan *heterophoria* maka kelainan jenis kedua ini lebih jarang ditemui. Seseorang dengan gangguan penglihatan *hyperphoria* melihat suatu objek pada posisi vertikal (ketinggian) yang berbeda antara mata kanan dan mata kiri. Oleh sebab itu, saat penderita kelainan *hyperphoria* membaca sudut inklinasi dengan menggunakan klinometer akan menghasilkan angka yang salah. Besar kecilnya kesalahan tergantung dari tingkat gangguan penglihatan yang diderita. Namun, penderita kelainan ini tidak akan mengalami masalah pada saat membaca kompas (Dougherty, 2006).

#### **e. Rivalry Error**

Dalam petunjuk penggunaan yang dibuat oleh produsen kompas Suunto dijelaskan bahwa cara menggunakan kompas ini adalah dengan dua mata terbuka. Satu mata dipergunakan untuk melihat objek, dan mata yang lain membaca angka azimut. Pembacaan dengan satu mata tertutup hanya disarankan untuk pengidap *heterophoria*. Para *cave surveyor* berpengalaman menemukan bahwa hal di atas tidaklah sepenuhnya benar. Membaca kompas Suunto dengan satu mata tertutup seharusnya tidak hanya dilakukan oleh pengidap *heterophoria*, melainkan oleh semua pengguna kompas ini. Berdasar pengalaman, mereka mengetahui bahwa membaca kompas dengan desain seperti ini (termasuk kompas Sisteco dan Silva) dengan dua mata terbuka dapat mengakibatkan kesalahan yang cukup signifikan. Bartholomew (1988) menyebut kesalahan ini sebagai *rivalry error*. Pada eksperimen yang dia lakukan terhadap dirinya sendiri, kesalahan yang dibuatnya mencapai 1,3 derajat. Besarnya kesalahan pembacaan kompas dengan dua mata terbuka bervariasi, tergantung pada jarak objek, dan perbedaan intrinsik mata setiap individu.

#### **f. Kesalahan Pembacaan Pita Ukur**

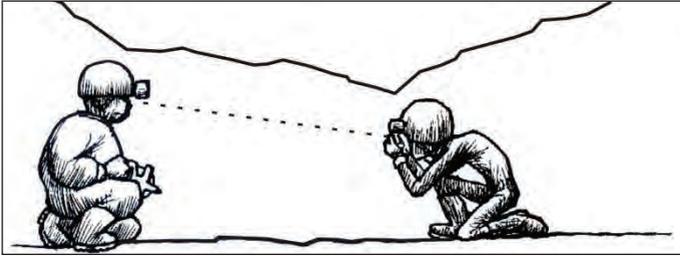
Pengukuran jarak, meskipun kelihatannya adalah pekerjaan mudah, juga memiliki potensi bagi terjadinya kesalahan. Kesalahan kecil yang biasa terjadi adalah kurangnya ketelitian dalam menentukan titik 0

pada alat ukur. Tidak semua pita ukur memiliki angka 0 tepat pada ujung pita. Beberapa produk memiliki angka 0 beberapa sentimeter, atau lebih dari sepuluh sentimeter dari ujung pita. Produk lain memulai hitungan 0 dari ujung pengait pita. Ketika seorang *surveyor* menghitung jarak antarstasiun dengan anggapan bahwa titik 0 pada alat ukurnya adalah pada bagian ujung pita, sementara sebenarnya titik 0 alat ukurnya berada beberapa puluh sentimeter dari ujung, itu berarti ia telah mengalami kesalahan pengukuran sebesar jarak antara ujung pita dengan titik 0 sebenarnya. Apabila kesalahan menentukan titik 0 pada alat ukur terjadi secara konsisten selama kegiatan survei maka sifat dari kesalahan itu adalah sistematis dan masih dapat diperbaiki pada tahap pengolahan data.

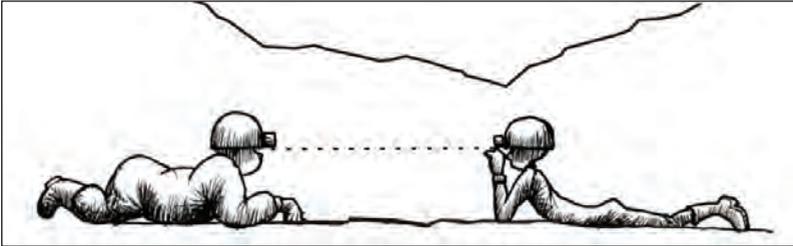
Kesalahan berikutnya yang masih berkaitan dengan pembacaan pita ukur adalah pembacaan pada sisi yang salah. Banyak pita ukur menggunakan dua satuan pada dua sisinya, satu sisi menggunakan sistem metrik, sedangkan pada sisi yang lain tertera sistem imperial. Tentu saja kita sama sekali tidak berminat untuk menggunakan sistem yang kedua, namun akibat kelelahan atau faktor lain, bisa saja seseorang membaca sisi yang salah ini. Seorang *descriptor* yang peka, dan menguasai data akan dapat menangkap keganjilan pembacaan pita ukur sehingga *blunder* seperti ini tidak perlu terjadi.

#### **g. Perbedaan Ketinggian Titik Bidik dan Sasaran**

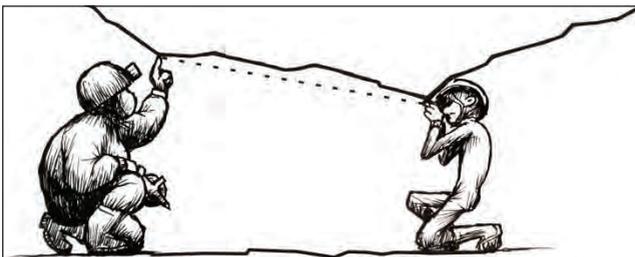
Kesalahan seperti ini cukup sering terjadi dalam survei dengan jalur *center of passage* yang dilakukan tanpa menggunakan tripod. Ketika kondisi medan menyebabkan *shooter* dan *stationer* harus mengambil data dalam posisi selain berdiri, misalnya jongkok, harus diingat bahwa yang terpenting bukanlah pada kesamaan posisi tubuh, namun kesamaan tinggi titik bidik dan titik sasaran. Bila memang perlu, lakukan pengambilan data dalam posisi tiarap.



**Gambar 6.3** Posisi tubuh serupa (jongkok) tapi tak sama (*shooter* terlalu merunduk karena atap yang rendah) menyebabkan kesalahan dalam pengukuran sudut kemiringan.



**Gambar 6.4** Posisi Tubuh yang Lebih Baik



**Gambar 6.5** Pengukuran Titik Stasiun dengan Jalur Survei *Station To Station*

Pada gambar 6.5, dua orang *surveyor* terlihat melakukan pengukuran langsung pada titik stasiun yang berada di atap lorong. Dalam jalur survei *station to station* seperti di atas, kesalahan tinggi stasiun hampir tidak perlu dikhawatirkan. Kesalahan yang mungkin terjadi adalah pengukuran jarak vertikal dari titik stasiun di atap hingga lantai lorong. Kesalahan ini akan tergambar di dalam peta sebagai kesalahan inklinasi lantai lorong.

#### **h. Pergeseran Posisi Titik Stasiun**

Pergeseran posisi titik stasiun disebabkan karena seseorang tidak dapat secara tepat menempati posisi titik stasiun yang sebelumnya telah ditempati oleh rekan satu timnya. Pergeseran posisi titik stasiun pada pemetaan dengan metode *leapfrog* tidaklah sebesar kesalahan pada metode *forward*. Pada pemetaan dengan alat yang memiliki presisi tinggi seperti teodolit dan *total station*, posisi stasiun pengukuran ditandai dengan tepat sehingga memungkinkan alat ukur untuk dapat menempati posisi yang sangat mendekati posisi pengukuran sebelumnya.

#### **i. Kegagalan Komunikasi**

Kendala dalam komunikasi antara anggota tim survei dapat berakibat pada perbedaan antara hasil pengukuran dengan angka-angka yang tercatat. Komunikasi verbal bisa sangat terganggu oleh jarak antarstasiun yang cukup jauh, apalagi pada lorong itu terdapat sungai berarus deras atau air terjun. Kendala-kendala seperti itu dapat menyebabkan *descriptor* salah menangkap apa yang telah diteriakkan oleh *shooter*. Untuk mengurangi kesalahan yang disebabkan oleh faktor komunikasi, *descriptor* hendaknya mengulangi apa yang telah diucapkan oleh *shooter* agar *shooter* dapat membenarkan seandainya *descriptor* menyatakan angka yang salah.

#### **j. Kesalahan Eksperimental**

Selain disebabkan oleh keteledoran, suatu kesalahan juga dapat disebabkan oleh *surveyor* yang mencoba untuk bekerja secara terlalu teliti. Ini terjadi bila *shooter* terlalu memaksakan akurasi pengukuran

melebihi kemampuan yang dimiliki oleh alat ukur yang dipergunakannya (Ellis, 1987b). Alat survei *grade 5* memiliki akurasi sebesar 1 derajat. Dengan pembacaan yang berhati-hati *shooter* dapat menentukan angka hingga satuan setengah derajat. Tetapi jika ia memaksakan untuk lebih teliti dari itu maka sangat mungkin ia akan membuat kesalahan yang disebut sebagai kesalahan eksperimental.

Dari seluruh kesalahan pengukuran yang disebabkan oleh *surveyor* yang dicontohkan di atas, kecuali untuk poin e, h, dan j menyebabkan kesalahan yang termasuk dalam kategori *blunder*.

## 5. Kesalahan Akibat Lingkungan Kerja

Manusia telah menggunakan kompas sebagai alat penunjuk arah sejak abad XIII, namun selama berabad-abad setelahnya tidak seorang ilmuwan pun yang mengetahui kekuatan yang menyebabkan jarum kompas selalu menunjuk ke arah tertentu. Rahasia itu baru tersingkap ketika William Gilbert, seorang ahli fisika yang bekerja pada kerajaan Inggris pada masa pemerintahan ratu Elizabeth I, merangkum hasil penelitiannya ke dalam suatu buku. Dalam buku berjudul *De Magnete* yang diterbitkan pada tahun 1600 tersebut ia menyatakan “*magnus magnes ipse est globus terrestris*”, “Bumi itu sendiri adalah sebuah magnet raksasa.”

*De Magnete* telah menjadi penanda penting dalam ilmu pengetahuan, khususnya tentang medan magnet Bumi dan sifat-sifat yang dimilikinya. Saat ini para ilmuwan dapat menyatakan dan membuktikan bahwa kutub-kutub medan magnet Bumi tidak pernah tetap berada pada suatu tempat, juga tentang kekuatan medan magnet Bumi yang tidak konstan dari waktu ke waktu, serta tentang keberadaan benda dan sumber tenaga yang dapat memengaruhi medan magnet setempat.

Sebagai alat ukur yang mengandalkan medan magnet Bumi, akurasi pengukuran kompas sangat tergantung pada kondisi medan magnet di sekitarnya. Gangguan magnetis yang terjadi di dekat kompas akan menyebabkan kesalahan dalam menunjukkan arah kutub magnet Bumi. Gangguan magnetis dapat terjadi di mana saja, karena

sebenarnya semua benda memiliki kemampuan untuk memengaruhi medan magnet Bumi, namun kebanyakan pengaruhnya sangatlah kecil hingga tidak terbaca oleh kompas. Pada daerah gamping, di mana gua-gua biasa terbentuk, penyimpangan garis-garis gaya magnet Bumi hingga sebesar  $3^\circ$  adalah sesuatu yang wajar (Ellis, 1971).

Aktifitas yang terjadi pada lapisan ionosfir juga memengaruhi arah garis-garis gaya magnet Bumi. Penyimpangan seperti ini disebut dengan variasi diurnal dan besarnya dapat berubah setiap hari, untungnya variasi ini hanya dapat menimbulkan anomali magnet sebesar kurang lebih  $0,2^\circ$ . (Ellis, 1976a).

Gangguan magnetis yang sangat besar dan tidak beraturan adalah hal yang biasa ditemui di dalam gua lava di mana angka penyimpangan kompas dapat mencapai lebih dari  $20^\circ$ . (Ellis, 1971). Penyebab terbesar dari anomali magnetis ini adalah sambaran petir yang mengaktifkan daya magnet pada *magnetite* (batuan yang mengandung mineral magnetis) (Green, 2004). Anomali yang disebabkan oleh sambaran petir dapat menyimpangkan jarum kompas hingga sebesar puluhan derajat.

Penyebab berikutnya adalah efek dari induksi magnetis pada *magnetite*. Batuan ini menyalurkan daya magnet dengan cara induksi, seperti halnya logam menyalurkan daya listrik. Apabila pada jalur yang dilalui oleh medan magnet terdapat rongga maka jalur tersebut tidak akan berjalan lurus menembus rongga, melainkan menempuh jalur keliling. Semakin besar ukuran rongga (lorong gua), akan memperbesar penyimpangan arah gaya magnet.

Anomali magnet di dalam lorong gua lava juga dapat disebabkan oleh runtuh batu berukuran besar yang masih menyimpan arah gaya magnet asli bumi pada saat ia mendingin. Karena runtuh dan mengalami disposisi maka arah gaya magnet pada batu itu turut berubah sebesar perubahan arah runtuh tersebut dari posisinya semula (Green, 2005).

Apabila harus melakukan pemetaan pada gua vulkanik, tim survei harus menyadari bahwa mereka sama sekali tidak dapat menghindari gangguan pada kompas, namun untuk sekadar mengurangi gang-

guan, mereka dapat menempatkan titik stasiun tidak terlalu dekat dari dinding, dan dari runtuhan batu berukuran besar.

Pemanfaatan gua, entah sebagai penyedia air bersih, sebagai objek wisata, atau pemanfaatan lainnya, akan disertai dengan pemasangan berbagai peralatan dan fasilitas seperti pintu gerbang, *railing* tangga besi, kabel dan lampu listrik, pipa besi, dan sebagainya. Semua itu sangat berpotensi untuk menimbulkan gangguan medan magnet.

Dibandingkan kompas, klinometer cenderung lebih bebas dari gangguan yang berasal dari lingkungan. Sebenarnya, seperti halnya medan magnet, gaya gravitasi juga dapat mengalami penyimpangan. Keberadaan massa di luar Bumi adalah salah satu penyebabnya. Bulan misalnya, memiliki gravitasi yang cukup besar sehingga mampu memengaruhi pasang surut air laut. Bumi ini sendiri, dengan penyebaran massa yang tidak seragam menyebabkan perbedaan arah gravitasi di berbagai tempat. Keberadaan massa basalt dan granit di permukaan dan jauh di dalam Bumi akan menarik gravitasi sedikit ke arah mereka (Beiser, 1962). Untungnya, penyimpangan gravitasi hanya terjadi pada skala yang sangat kecil. Terlalu kecil untuk dapat diamati dengan alat-alat survei biasa.

## B. Kesalahan dalam Tahap Pengolahan Data

Tabel penghitungan data sebenarnya berisi tak lebih dari sederet kesalahan. Kita sering lupa, atau bahkan tidak tahu bahwa seluruh angka yang dimasukkan, dihitung, dan dihasilkan oleh tabel penghitungan adalah angka yang salah yang dibalut dengan istilah pembulatan. Besarnya kesalahan yang dinamakan pembulatan ini adalah sedemikian kecil sehingga tidak perlu dikawatirkan. Semakin banyak angka yang tercantum di belakang koma, akan semakin tidak berarti kesalahan tersebut. Kesalahan pada tahap pengolahan data baru benar-benar berakibat buruk apabila penyebabnya adalah kesalahan dalam menghitung atau menerapkan rumus.

Salah satu kesalahan yang sering terjadi pada tahap ini adalah penghitungan pada percabangan poligon. Tabel sigma  $x$ ,  $y$ , dan  $z$  harus

dipenggal pada tiap percabangan poligon. Bila tidak demikian maka hasil penggambaran poligon pada peta akan berupa satu poligon tanpa cabang yang tentu saja sama sekali salah.

### C. Kesalahan dalam Tahap Penggambaran Peta

Pada saat penggambaran, yaitu ketika menentukan titik-titik stasiun pada kertas gambar, hampir dapat dipastikan si penggambar melakukan sedikit kesalahan penempatan titik stasiun dari posisi sebenarnya. Penggambaran dengan koordinat polar akan disertai kesalahan-kesalahan penempatan posisi stasiun yang diakibatkan oleh ketidaktepatan dalam menentukan arah, kemiringan, dan jarak antarstasiun. Demikian pula saat peta digambar dengan sistem koordinat kartesian, si penggambar peta memiliki keterbatasan untuk dapat secara tepat menentukan titik koordinat, misalnya  $\Sigma x$ : 78,396745 dan  $\Sigma y$ : 129,967835. Bahkan seandainya angka-angka tersebut dibulatkan hingga dua atau satu angka di belakang koma. Lebih jauh lagi, seandainya angka-angka di atas dibulatkan menjadi bilangan bulat,  $\Sigma x$ : 78 dan  $\Sigma y$ : 130, kesalahan kecil tetap mungkin terjadi.

Kesalahan seperti ini tidak dapat dihindari, yang dapat dilakukan hanyalah meminimalisasi besarnya kesalahan dengan menempatkan titik stasiun seteliti mungkin. Ketelitian penempatan titik stasiun juga didukung oleh pemakaian alat tulis yang baik. Pensil mekanik adalah pilihan terbaik, namun pensil gambar biasa juga dapat dipergunakan asal ujungnya dijaga agar tetap runcing.

### D. Perataan Kesalahan

Seluruh kesalahan pengukuran akan terakumulasi pada stasiun terakhir. Besarnya akumulasi kesalahan dapat diketahui salah satunya yaitu ketika jalur pemetaan membentuk sebuah poligon tertutup. Besarnya kesalahan ditunjukkan dengan selisih koordinat awal dan akhir pada stasiun yang sama. Selain dengan poligon tertutup, besarnya akumulasi kesalahan survei juga dapat diketahui dengan bantuan peralatan elektromagnetik atau GPS geodetik.

Pada contoh tabel penghitungan data di bab 5 (Tabel 5.2), stasiun yang menjadi titik temu adalah stasiun 4c dan stasiun 8. Stasiun 4c adalah stasiun di mana percabangan berawal. Oleh karena itu, dalam poligon tertutup tersebut stasiun ini memiliki peran sebagai stasiun awal, yang berarti secara relatif ia dianggap belum memiliki kesalahan. Stasiun 8 adalah titik pertemuan antara lorong pertama yang melalui stasiun 4c, 5, 6, 7, dan 8, dengan lorong kedua yang melalui stasiun 4c, 10, dan 8. Di lapangan hanya ada satu tempat yang disebut stasiun 8. Namun dari hasil penghitungan data pengukuran kedua lorong, diperoleh dua angka koordinat yang berbeda bagi stasiun 8. Hasil penghitungan pada lorong pertama menghasilkan koordinat  $\Sigma x$ : 62,1672;  $\Sigma y$ : 0,9292; dan  $\Sigma h$ : -40,5095. Sedangkan pada lorong kedua  $\Sigma x$ : 61,9217;  $\Sigma y$ : 0,9829; dan  $\Sigma h$ : -40,8600. Di sini terdapat perbedaan  $\Sigma x$ : 0,2455;  $\Sigma y$ : 0,0537; dan  $\Sigma h$ : 0,3505.

Sebelum memulai penggambaran, kesalahan-kesalahan seperti ini harus dibenahi terlebih dahulu. Ujung poligon yang masih terbuka atau saling memotong harus dibuat agar tertutup sempurna, atau dalam istilah yang biasa dipergunakan dikoreksi.

Istilah koreksi sendiri sebenarnya tidak tepat, karena kata tersebut memiliki arti mengubah yang salah menjadi benar. Dalam kasus ini kita tidak berusaha untuk mengubah angka-angka yang salah menjadi benar. Kita bahkan tidak tahu seberapa besar kesalahan masing-masing stasiun. Kita hanya tahu besarnya akumulasi seluruh kesalahan pada stasiun di titik pertemuan. Yang sebenarnya kita lakukan adalah memanipulasi angka-angka koordinat dengan cara-cara perhitungan tertentu berdasar asumsi-asumsi tertentu.

Apabila kalkulasi telah dilakukan maka angka koreksi ditambahkan pada nilai koordinat titik-titik stasiun, kecuali pada stasiun awal poligon. Perubahan pada angka-angka koordinat ini akan sedikit menggeser titik-titik stasiun yang ada pada poligon yang bermasalah sehingga stasiun terakhir akan berada tepat pada titik yang sama dengan stasiun yang mengawali poligon tersebut.

Terdapat berbagai cara untuk melakukan perataan kesalahan koordinat. Di antaranya adalah tiga cara di bawah ini.

## 1. Estimasi

Cara paling mudah dan paling buruk adalah dengan menggeser titik-titik stasiun sedikit dari posisinya yang salah hingga poligon tersebut tertutup sempurna. Penggeseran dilakukan tanpa dasar perhitungan apapun, selain berdasar perkiraan semata. Cara seperti ini hanya dapat dilakukan bila penggeseran untuk masing-masing stasiun tidak lebih besar dari 2,5 mm (Ellis, 1976b).

## 2. Pembagian Sama Rata

Cara kedua dilakukan dengan menambahkan atau mengurangi sejumlah angka yang besarnya sama bagi semua sigma titik stasiun tanpa mempertimbangkan perbedaan panjang *survey leg* antara stasiun-stasiun tersebut. Caranya adalah dengan membagi selisih angka pada masing-masing sigma dengan jumlah *survey leg* yang menyusun poligon tertutup tersebut, kemudian menambahkan atau mengurangi hasil bagi dengan angka sigma terdahulu.

Sebagai contoh, pada lembar pengolahan data gua Simulasi (tabel 5.1 dan 5.2). Stasiun 8 pada lorong pertama memiliki angka  $\Sigma x$  yang lebih besar dari  $\Sigma x$  stasiun 8 di lorong kedua, ini berarti angka  $\Sigma x$  pada setiap stasiun pada lorong ini harus dikurangkan sebesar selisih  $\Sigma x$  dibagi jumlah *survey leg* yang membentuk *loop* tersebut. Posisi stasiun 4c dan stasiun 5, serta stasiun 10 dan 8 adalah tepat satu di atas yang lain. Artinya, jarak datar di antara mereka adalah 0. Ini berarti *survey leg* ini tidak nampak sebagai *centerline*. Dengan perhitungan seperti di atas akan diperoleh jumlah *survey leg* pembagi, yaitu 4, yang terdiri dari *survey leg* stasiun 4c/5-6, 6-7, 7-8, dan 4c-10/8.

Perataan juga dilakukan pada kesalahan yang terjadi pada beda tinggi atau elevasi. Cara melakukannya sama dengan perataan koordinat. Bedanya ialah selisih perhitungan dibagi oleh jumlah seluruh *survey leg* yang ada.

## 3. Pembagian Kesalahan Berdasar Proporsi

Cara perataan kesalahan berikutnya dipakai untuk memperoleh hasil perataan yang lebih proporsional bagi masing-masing stasiun.

Langkah pertama adalah menentukan besar persentase jarak datar masing-masing *survey leg* terhadap jumlah seluruh jarak datar antara stasiun yang berada pada poligon tertutup. Contoh: *survey leg* stasiun 5-6 gua Simulasi memiliki jarak datar (L) sebesar 10,8196 meter. Ketika dibandingkan dengan seluruh jarak datar di poligon tersebut yang berjumlah 63,4322 akan didapati bahwa panjang *survey leg* stasiun 5-6 ini merupakan 17,057% atau 0,17057 dari keseluruhan jarak datar poligon. Selanjutnya tentukan koreksi nilai x bagi setiap *survey leg*.

$$\begin{aligned} \text{koreksi nilai } \mu &= \text{Persentase jarak datar } x \text{ selisih kesalahan sumbu } \mu \\ &= 0,17057 \cdot 0,2455 \\ &= 0,041875. \end{aligned}$$

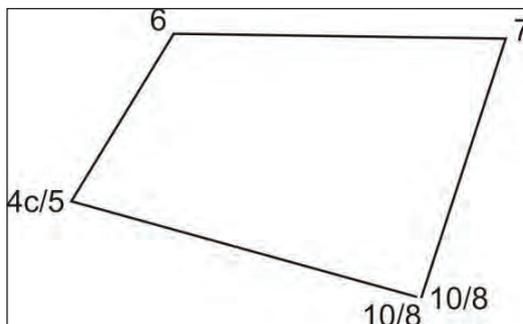
Pada rangkaian *survey leg* di lorong pertama (stasiun 4c,5,6,7,8),  $\Sigma x$  terakhir (stasiun 8) adalah sebesar 62,1672, atau lebih besar dari  $\Sigma x$  terakhir lorong kedua (stasiun 4c,10,8). Untuk merapatkan ujung kedua rangkaian *survey leg* tersebut, pada lorong yang memiliki nilai  $\Sigma x$  yang lebih besar, dipergunakan nilai koreksi untuk menguranginya. Pada lorong dengan nilai x yang lebih kecil, nilai koreksi ditambahkan pada  $\Sigma x$ .

Tentukan angka koreksi y dengan cara yang sama. Sebagai contoh persentase jarak datar *survey leg* stasiun 5-6 adalah 17,057%. Kalikan angkaini dengan selisih kesalahan sumbu y sebesar 0,0537 sehingga didapat koreksi sumbu y sebesar 0,0092. Perhatikan juga kesalahan yang terjadi pada sumbu y ini memiliki besaran negatif.

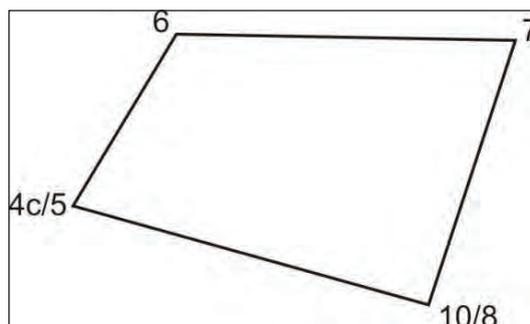
Perataan kesalahan pada angka-angka  $\Sigma h$  dilakukan dengan cara yang hampir sama. Bedanya adalah persentase dihitung dari perbandingan antara angka jarak miring (*tape*) tiap *survey leg* dengan jumlah seluruh jarak miring pada poligon tertutup. Bila perataan kesalahan pada angka-angka  $\Sigma x$  dan  $\Sigma y$  mengecualikan *survey leg* vertikal maka tidak demikian halnya dengan perataan kesalahan bagi angka-angka  $\Sigma h$ . Di sini kesalahan dibagikan kepada seluruh *survey leg* yang ada di poligon tersebut.

**Tabel 6.1** Penghitungan Perataan Kesalahan Posisi Stasiun

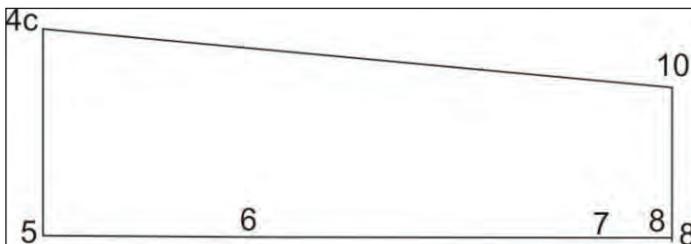
Stasiun Dari Ke	X	Koreksi X	X	$\Sigma X$	Y	Koreksi Y	Y	$\Sigma Y$	H	Koreksi H	H	$\Sigma H$			
			Terkoreksi				Terkoreksi				Terkoreksi				
4c 5	0.0000	0.0000	0.0000	43.0410	0.0000	0.0000	0.0000	6.2190	-16.7400	-	0.0630	-16.8030	-40.5090		
5 6	5.6532	-	0.0419	5.6113	48.6523	9.2262	+	0.0092	9.2344	15.4534	0.0944	-	0.0407	0.0537	-40.4553
6 7	18.0866	+	0.0700	18.0166	66.6689	-0.3157	+	0.0153	-0.3004	15.1530	-0.1579	-	0.0680	-0.2259	-40.6812
7 8	-4.6136	-	0.0576	-4.6714	61.9975	-14.1993	+	0.0126	-14.1867	0.9663	0.0000	-	0.0562	-0.0562	-40.7374
4c 10	18.8807	+	0.0758	18.9565	61.9975	-5.2361	-	0.0166	-5.2527	0.9663	-4.7039	+	0.0758	-4.6281	-28.3341
10 8	0.0000	0.0000	0.0000	61.9975	0.0000	0.0000	0.0000	0.9663	-12.4500	+	0.0468	-12.4032	-40.7373		



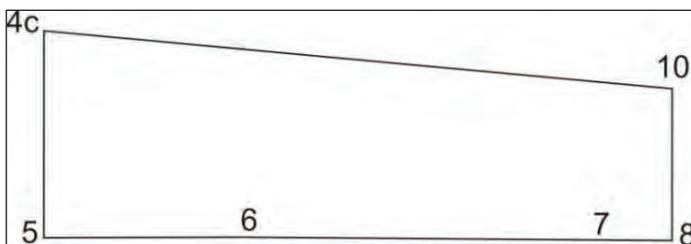
**Gambar 6.6** Kesalahan Angka Sigma x dan y Dalam Penentuan Posisi Stasiun Pada Poligon Tertutup



**Gambar 6.7** Posisi stasiun-stasiun setelah dilakukan perataan kesalahan terhadap angka-angka sigma x dan y. Perubahan paling jelas terlihat pada stasiun 10/8.



**Gambar 6.8** Kesalahan angka sigma h dalam penentuan posisi stasiun pada poligon tertutup



**Gambar 6.9** Posisi stasiun-stasiun setelah dilakukan perataan kesalahan terhadap angka-angka sigma h



## PENGAMBARAN PETA

Tahap terakhir dari pemetaan gua adalah penggambaran peta. Tahap ini hendaknya dilaksanakan sesegera mungkin, selagi ingatan tentang bentuk, detail lorong, serta urutan stasiun masih segar benak *descriptor*. Penggambaran peta adalah suatu usaha untuk menampilkan bentuk dan detail lorong gua ke dalam suatu medium, dalam hal ini medium tersebut adalah selembar kertas. Si penggambar peta berusaha untuk menampilkan gambar yang sedapat mungkin mendekati kondisi gua sebenarnya, sesuai dengan *grade* dan kelas yang dipilihnya. Suatu peta yang lengkap terdiri dari tiga gambar yang masing-masing mewakili arah pandang tertentu. Peta tampak atas atau *plan* menggambarkan arah dan bentuk lorong gua saat dilihat tepat dari atas. Peta tampak samping menunjukkan arah dan bentuk lorong ketika dilihat dari samping, serta penampang lorong atau *cross section*, mewakili bentuk sayatan lorong apabila dilihat dari depan.

### A. Peta Tampak Atas

Penggambaran peta tampak atas dapat diibaratkan sebagai usaha menggambar suatu tubuh yang dilakukan secara bertahap. Tahap pertama adalah menentukan titik-titik sendi, diikuti dengan tahap penempatan tulang belakang. Kemudian memasang tulang rusuk, dan akhirnya kulit luar yang membuat tubuh tersebut menjadi utuh.

Tahap pertama, penempatan titik-titik sendi, pada kenyataannya adalah penempatan titik stasiun pada kertas gambar sesuai dengan hasil penghitungan data. Tahap ini adalah tahap yang penting karena di sini ketepatan arah dan panjang lorong gua ditentukan. *Plotting* titik stasiun pada peta gua dapat dilakukan dengan dua cara. Cara pertama menggunakan sistem koordinat polar dan yang kedua menggunakan sistem koordinat kartesian.

### 1. Koordinat Polar

Sistem koordinat polar memungkinkan suatu peta untuk digambar tanpa melalui proses penghitungan data yang panjang. Hitungan hanya diperlukan untuk mendapatkan jarak datar, yaitu dengan mengalikan jarak miring dengan sinus angka yang terbaca oleh klinometer ( $L=D \cdot \cos \theta$ ). Untuk menentukan posisi titik stasiun pada selembar kertas dibutuhkan alat bantu berupa busur derajat dan penggaris. Kekurangan yang dimiliki oleh sistem ini adalah terjadinya akumulasi kesalahan posisi stasiun. Seperti telah dibahas pada bagian sebelumnya, setiap kali seorang penggambar peta berusaha untuk menentukan suatu titik pada kertas gambarnya, hampir dapat dipastikan ia telah melakukan kesalahan. Akumulasi kesalahan posisi stasiun adalah angka kesalahan yang semakin bertambah seiring dengan semakin banyak jumlah titik stasiun yang telah ditentukan. Setiap stasiun selain memiliki kesalahan posisinya sendiri, juga mewarisi kesalahan yang terjadi pada penentuan posisi stasiun-stasiun sebelumnya.

Kembali ke pokok bahasan, untuk menentukan posisi suatu titik stasiun terhadap titik stasiun sebelumnya, dipergunakan jarak dan angka hasil pembacaan alat ukur arah dan kemiringan. Peta tampak atas digambar dengan mempergunakan jarak datar dan azimuth. Sebagai contoh dari stasiun 0 ke stasiun 1 tercatat jarak datar sejauh 17 meter dan angka pada kompas  $42^\circ$  maka untuk menentukan titik stasiun 1, busur derajat ditempatkan pada titik stasiun 0. Untuk mendapatkan angka  $42^\circ$ , angka 0 pada busur diarahkan sejajar dengan arah utara, kemudian garis ditarik sejajar dengan garis yang menghubungkan pusat busur dengan angka 42 pada busur tersebut. Untuk mendapat-

kan jarak datar, tandai bagian dari garis tersebut yang jaraknya dari titik 0 sesuai dengan hasil perkalian jarak datar dengan skala yang dikehendaki. Bila skala yang dipakai adalah 1 : 1.000 maka tandai bagian dari garis yang berada pada jarak 1,7 cm dari titik 0. Bagian yang ditandai tersebut adalah titik stasiun 1. Cantumkan angka 1 di dekat titik tersebut.

## 2. Koordinat Kartesian

Dengan sistem koordinat kartesian, penempatan titik-titik stasiun pada peta tampak atas dilakukan berdasar angka-angka yang telah dikonversikan ke dalam angka-angka absis dan ordinat, demikian juga dengan peta tampak samping diperpanjang (*extended elevation*), yang dilakukan dengan menentukan titik temu antara angka sigma L dengan sigma h. Sistem ini memberikan keuntungan berupa tidak terjadinya akumulasi kesalahan posisi stasiun. Keuntungan yang lain adalah dengan adanya penjumlahan angka x, y, dan h, kebutuhan luas bidang gambar dapat dihitung dengan tepat sebelum penggambaran dimulai. Koordinat kartesian adalah sistem *plotting* titik stasiun yang direkomendasikan bagi *grade 5* ke atas.

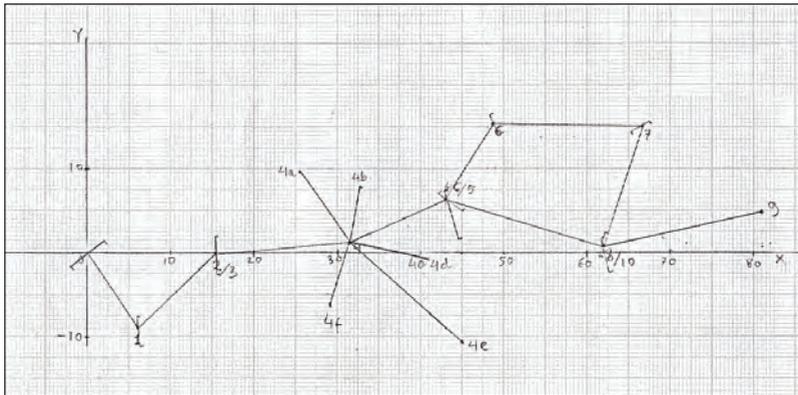
Langkah-langkah penentuan titik stasiun pada peta tampak atas dengan menggunakan sistem koordinat kartesian.

1. Tentukan ukuran bidang gambar yang tersedia, atau yang diinginkan. Pergunakan kertas *milimeter block* sebagai bidang gambar.
2. Tentukan panjang sumbu x yang dibutuhkan. Sumbu x adalah garis imajiner yang melintang dengan arah barat-timur ( $270^{\circ}$ – $90^{\circ}$ ). Panjang sumbu x yang dibutuhkan dapat diketahui dengan menjumlahkan secara mutlak angka terbesar yang terdapat pada kolom sigma x dengan angka terkecil pada kolom yang sama. Bila angka terendah lebih kecil dari 0 (negatif), ia harus dianggap sebagai angka positif. Misalnya angka terbesar adalah 150 dan angka terkecil adalah  $-65$  maka panjang sumbu x yang akan diperlukan adalah  $150 + 65 = 215$ .

3. Tentukan panjang sumbu  $y$  yang dibutuhkan. Sumbu  $y$  memiliki arah utara-selatan ( $0^\circ - 180^\circ$ ). Lakukan dengan cara yang sama seperti pada sumbu  $x$ .
4. Tentukan skala peta agar panjang sumbu  $x$  dan sumbu  $y$  dapat masuk ke bidang gambar yang tersedia. Sisakan ruang secukupnya pada empat sisi kertas gambar. Penggambar akan membutuhkan sisa ruang ini untuk berbagai keperluan.
5. Tentukan posisi sumbu  $x$  dengan menggunakan bantuan grid yang sudah tersedia dalam lembar gambar. Caranya adalah dengan mencari garis mendatar yang berada pada posisi yang dapat menjadi titik  $0$  bagi sumbu  $y$ . Artinya bila dari garis mendatar tersebut hingga batas atas kertas tersedia ruang yang cukup untuk menampung angka sejumlah  $\Sigma y$  terbesar (yang sudah diskalakan), dan dari garis datar tersebut hingga batas bawah kertas tersedia cukup tempat untuk menampung  $\Sigma y$  terkecil. Bila garis tersebut sudah dapat ditentukan, tarik garis dengan pensil maka jadilah sumbu  $x$ .
6. Tentukan posisi sumbu  $y$ . Caranya sama dengan menentukan sumbu  $x$  namun yang dicari adalah garis tegak yang dapat berfungsi sebagai titik  $0$  bagi sumbu  $x$ . Sekali lagi, dari garis ini hingga batas kanan bidang gambar harus tersedia tempat di mana deret angka hingga sejumlah  $\Sigma x$  terbesar dapat dican-tumkan, dan dari garis tegak ini hingga ke batas kiri bidang gambar terdapat ruang yang dapat memuat  $\Sigma x$  terkecil. Pertebal garis ini dengan pensil, dan inilah sumbu  $y$ .
7. Pertemuan antara sumbu  $x$  dan sumbu  $y$  merupakan posisi titik  $0$  bagi keduanya, juga berarti posisi pada lembar gambar di mana stasiun  $0$  berada. Untuk membantu penentuan titik-titik stasiun berikutnya, cantumkan graduasi beserta angkanya pada sumbu  $x$  dan  $y$ .
8. Tentukan posisi stasiun berikutnya (stasiun  $1$ ). Posisi stasiun dapat diplot pada titik temu antara angka  $\Sigma x$  dan  $\Sigma y$ . Lakukan hal yang sama bagi stasiun-stasiun berikutnya. Setelah posisi titik stasiun ditandai pada kertas gambar, tahap berikutnya

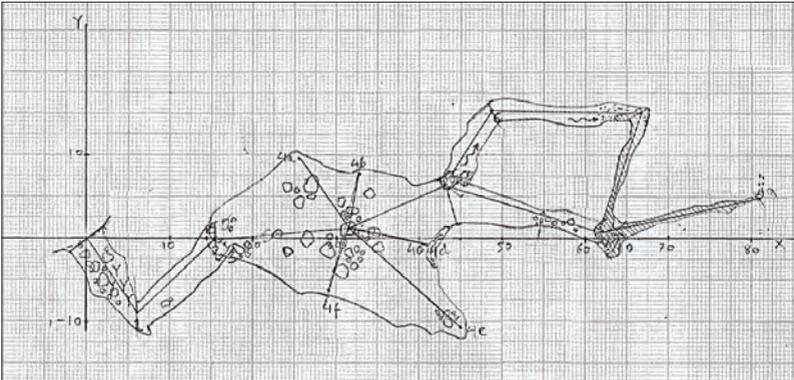
adalah meneruskan penggambaran hingga terbentuk kerangka peta tampak atas.

9. Tarik garis tengah (*centerline*) yang menghubungkan titik-titik stasiun. Saat semua stasiun sudah terhubung maka kerangka peta sudah terbentuk.
10. Tarik garis jarak dinding kiri dan kanan dari tiap stasiun. Sudut antara garis jarak dinding dengan *centerline* dibuat sedekat mungkin dengan sudut sebenarnya antara *centerline* survei dan garis kiri dan kanan yang tergambar dalam sketsa. Besar sudut ini biasanya kurang lebih separuh dari besar sudut yang terbentuk antara dua *centerline* yang mengapit stasiun tersebut. Dengan selesainya tahap ini berarti peta tersebut telah mendapatkan tulang belakangnya (*centerline*) dan tulang-tulang rusuknya (garis jarak dinding kiri dan kanan).



**Gambar 7.1** Kerangka Peta Tampak Atas Gua Simulasi dengan Koordinat yang Diperoleh dari Hasil Pengolahan Data

Tahap selanjutnya dapat diumpamakan memasang kulit pada kerangka yang sudah tersedia. *Outline* dinding kiri dan kanan digambarsesuai dengan bentuk yang terekam dalam sketsa. Setelah batas-batas luar terbentuk, lengkapi peta dengan simbol-simbol yang mewakili kondisi lorong dan bentukan-bentukan yang terdapat di dalam lorong.



**Gambar 7.2** Master Peta Tampak Atas Gua Simulasi

Peta pada gambar 7.2 masih perlu dilengkapi dengan berbagai kelengkapan. Setelah itu, peta dapat disalin pada kertas kalkir. Bagian yang di salin pada kertas kalkir hanya bagian-bagian yang akan disajikan kepada pembaca peta, seperti garis-garis luar (*outline*), simbol, serta kelengkapan peta. Garis-garis bantu dan angka-angka yang dipergunakan dalam proses penggambaran peta disalin hanya apabila diperlukan. Peta kalkir ini untuk selanjutnya akan dipergunakan sebagai *master copy*.

## B. Peta Tampak Samping

Peta tampak samping dapat ditampilkan dalam dua cara. Cara pertama adalah dengan menarik seluruh panjang lorong ke satu arah, pada umumnya ke kanan. Dengan cara ini, peta yang dihasilkan disebut dengan *extended elevation*. Cara kedua adalah dengan memproyeksikan elevasi terhadap salah satu sumbu horizontal, yaitu sumbu x atau sumbu y. Cara ini menghasilkan peta yang disebut *projected elevation*. Pada satu lembar peta, cukup satu peta tampak samping yang ditampilkan. Pilihan yang akan diambil tergantung pada informasi mana yang ingin ditekankan. Kelebihan peta *extended elevation* adalah dapat memberi gambaran panjang dan kemiringan lorong yang sebenarnya. Sedangkan kekurangannya adalah dalam

menerangkan posisi antarlorong di dalam gua. Kekurangan ini akan nampak jelas ketika gua yang harus digambar memiliki banyak percabangan. Peta akan menjadi semakin rumit apabila cabang-cabang yang terpisah tersebut akhirnya saling bertemu lagi. Sebaliknya peta *projected elevation* dapat menjelaskan posisi antarlorong dengan baik, namun akan menimbulkan bias apabila dipergunakan sebagai sumber informasi panjang dan kemiringan lorong. Peta tampak samping juga dapat digambar dengan dua cara seperti pada penggambaran peta tampak atas, yaitu dengan koordinat polar dan kartesian.

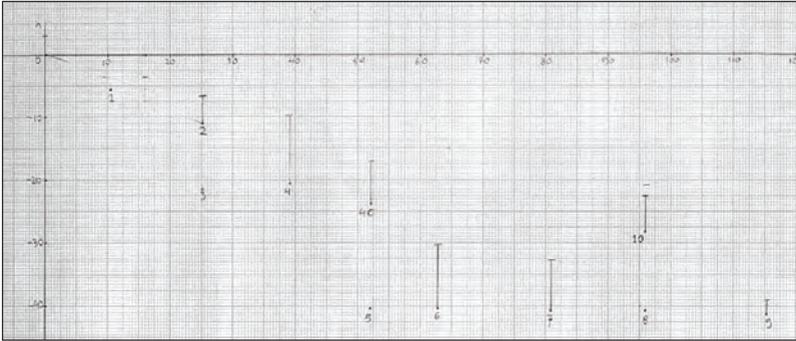
### **1. Peta Tampak Samping Diperpanjang (*Extended Elevation*)**

#### **Koordinat Polar**

Tentukan titik 0 pada sisi kiri lembar gambar, bila peta akan digambar memanjang ke kanan. Bila gua yang hendak digambar memiliki lorong yang cenderung turun, tempatkan titik 0 pada bagian atas kertas, demikian pula sebaliknya. Tarik garis dari titik 0 dengan besar sudut sama dengan sudut yang terbaca pada klino dari stasiun 0 ke stasiun 1. Sudut dimulai dari  $0^\circ$  pada garis mendatar. Tentukan titik stasiun 1 pada peta dengan menandai garis sepanjang jarak miring yang sudah dikalikan dengan skala yang berlaku. Ulangi proses di atas dari titik 1 ke titik berikutnya, demikian seterusnya.

#### **2. Koordinat Kartesian**

Penentuan posisi stasiun pada peta *extended elevation* dilakukan dengan mempertemukan angka-angka koordinat dari dua sumbu yang saling berpotongan. Sumbu pertama adalah sumbu mendatar. Angka yang termuat pada sumbu ini adalah angka penjumlahan jarak datar ( $\Sigma L$ ). Sumbu berikutnya adalah sumbu tegak yang berisi angka-angka penjumlahan beda tinggi ( $\Sigma h$ ). Setelah itu, penggambaran dilanjutkan dengan menandai tinggi atap di atas tiap titik stasiun sesuai dengan angka tinggi atap yang telah dikalikan dengan skala yang dipergunakan. Tahap selanjutnya adalah melengkapi peta dengan menggambar garis atap dan lantai sesuai dengan sketsa.



**Gambar 7.3** Kerangka Peta *Extended Elevation* Gua Simulasi



**Gambar 7.4** Master Peta *Extended Elevation* Gua Simulasi

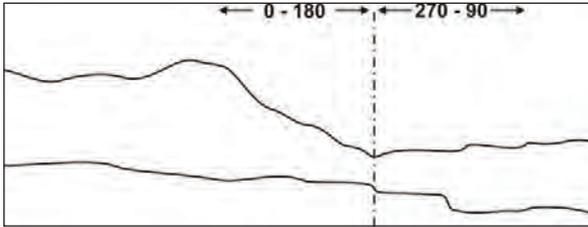
### 3. Peta Tampak Samping Diproyeksikan (*Projected Elevation*)

Peta tampak samping diproyeksikan (*projected elevation*) dibuat dengan tujuan untuk menunjukkan hubungan antara perubahan arah vertikal (naik-turun) dengan perubahan arah horizontal (belokan kiri-kanan) lorong. *Plotting* titik stasiun untuk membuat peta dilakukan dengan menggunakan koordinat dari dua sumbu, yaitu sumbu datar dan sumbu tegak. Sebagai sumbu datar dipilih salah satu di antara dua sumbu datar yang tersedia, yaitu sumbu x dan sumbu y. Sumbu datar dipilih berdasar sudut pandang yang paling optimal,

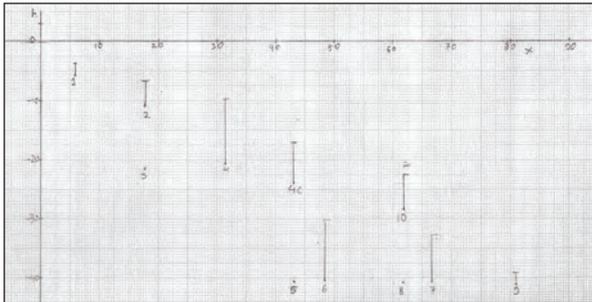
yaitu sudut pandang dari mana gua yang akan digambar dapat terlihat secara lebih utuh, biasanya ini berarti memilih sumbu dengan angka sigma yang paling besar. Angka-angka pada sumbu tegak diambil dari angka-angka yang mewakili perbedaan ketinggian, yaitu deretan angka sigma  $h$ .

Usai memplot titik-titik stasiun pada lembar gambar, tahap-tahap berikutnya kurang lebih sama dengan pada saat menggambar peta *extended elevation*, yaitu menandai titik-titik tinggi atap dan menggambar lantai dan atap gua. Pada tahap penggambaran lantai dan atap ada beberapa hal yang perlu diperhatikan. Pertama, penggambar harus menyadari bahwa sebagian besar lorong yang digambarnya mengalami pemampatan (pemendekan) sebagai akibat dari proyeksi peta. Oleh karenanya, dalam menggambar lantai dan atap, selain memperhatikan sketsa, juga harus dilakukan penyesuaian perspektif sesuai dengan distorsi perspektif lorong gua. Kedua, sifat peta *projected elevation* yang secara konsisten mengikuti perubahan arah lorong memungkinkan suatu lorong tergambar berbalik dari arahnya semula. Pada kasus seperti ini, lantai dan atap juga digambar sesuai dengan arah lorong. Tepat pada bagian lorong yang berbalik arah, lantai dan atap gua dihubungkan oleh sebuah garis tegak. Untuk memperjelas posisi antara bagian lorong berbalik yang berada di depan, dan bagian yang berada di belakang, gambarlah garis terputus-putus pada bagian lorong belakang yang tertutup oleh lorong di depannya.

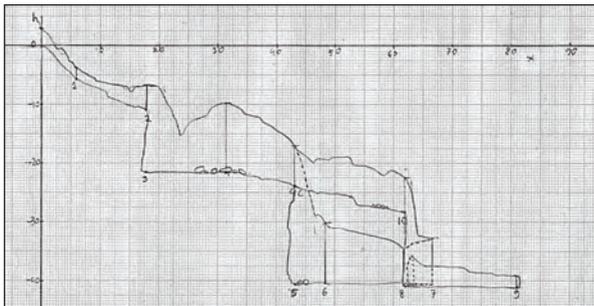
Suatu gua dapat memiliki rangkaian lorong yang dapat terekspos secara maksimal saat dilihat dari arah tertentu, sementara rangkaian lorong berikutnya dapat terlihat secara lebih utuh saat dilihat dari sudut pandang yang berbeda. Untuk mengoptimalkan tampilan, peta *projected elevation* dapat digambar dari dua arah pandang yang berbeda, tanpa perlu membaginya menjadi dua gambar. Hal yang perlu dilakukan adalah memberi tanda batas proyeksi pada bagian lorong di mana sudut pandang mulai berubah.



**Gambar 7.5** Tanda Perubahan Arah Proyeksi



**Gambar 7.6** Kerangka Peta *Projected Elevation* Gua Simulasi



**Gambar 7.7** Master Peta *Projected Elevation* Gua Simulasi

Gambar 7.6 dan gambar 7.7 adalah kerangka dan peta gua simulasi yang diproyeksikan terhadap sumbu x (barat –timur,  $270^{\circ} - 90^{\circ}$ ).

Apabila *draughtsman* ingin menggunakan proyeksi yang bukan merupakan satu dari empat arah mata angin utama, ia harus memakai sumbu mendatar yang bukan sumbu x dan bukan pula sumbu y.

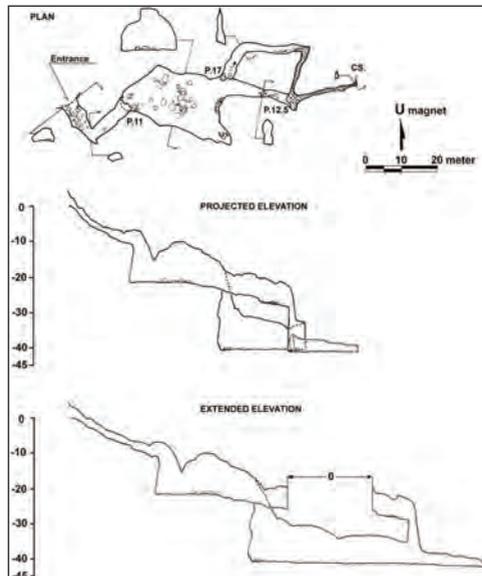
Semisal ia ingin menggambar peta dengan sudut pandang 45° maka sumbu yang dipergunakannya akan memiliki arah tegak lurus terhadap sudut pandang, yaitu 135°–315° atau memanjang dari tenggara ke barat laut. Untuk mendapatkan angka-angka koordinat dari sumbu yang tidak lazim ini dipergunakan rumus di bawah ini:

$$x^1 = \frac{x}{\cos \alpha}$$

$x^1$  : Angka pada sumbu yang dikehendaki

$\alpha$  : Besar sudut antara  $x^1$  dan  $x$

Rumus di atas hanya dapat dapat dipergunakan apabila  $\alpha$  tidak lebih dari 45°. Bila sumbu yang diinginkan menyimpang dari sumbu  $x$  dengan sudut lebih besar dari 45°, pergunakan sumbu  $y^1$  yang dihitung dengan patokan sumbu  $y$ .



**Gambar 7.8** Perbandingan proporsi antara *projected elevation* dan *extended elevation* terhadap peta tampak atas

Pada gambar 7.8 terlihat perbedaan antara peta tampak samping yang ditampilkan dengan cara diproyeksikan (*projected elevation*) dan yang ditampilkan secara memanjang (*extended elevation*). Peta *projected elevation* mampu menampilkan bentuk peta tampak samping yang memiliki kesesuaian posisi, proporsi, dan arah lorong dengan peta tampak atas sehingga pada lorong dengan arah melingkar pun, seperti pada lorong antara stasiun 7 dan stasiun 8, arah lorong yang berbalik dapat tergambar dengan ditunjukkan oleh garis putus-putus pada atap dan lantai.

Sebaliknya, peta *extended elevation* tidak memiliki kesesuaian tersebut. Peta yang digambar dengan cara ini akan terus memanjang ke satu arah sehingga proporsinya tidak akan sesuai dengan peta tampak atas. Pengguna peta juga perlu sedikit berusaha untuk menemukan satu tempat yang sama yang tergambar dalam peta tampak atas dan peta *extended elevation*. Perhatikan juga bagaimana salah satu lorong terpaksa harus dipotong apabila pada peta tersebut terdapat dua lorong yang berpisah dan bertemu kembali. Meski demikian, peta *extended elevation* memiliki keunggulan dalam merepresentasikan jarak dan kemiringan. Jarak serta kemiringan lorong yang tergambar dalam peta ini benar-benar sesuai dengan jarak serta kemiringan lorong gua yang sebenarnya. Hal inilah yang tidak dapat ditampilkan oleh peta *projected elevation*. Perhatikan gambar lorong antara stasiun 0 hingga stasiun 2 (antara *entrance* hingga *pitch* pertama). Pada peta *extended elevation* gambar lorong pada peta mewakili jarak dan kemiringan yang sebenarnya, sementara pada peta *projected elevation* panjang lorong menjadi tampak lebih pendek, sementara kemiringannya justru bertambah. Sebenarnya seluruh bagian lorong yang tergambar pada peta *projected elevation* telah mengalami perubahan panjang dan kemiringan, dengan pengecualian pada lorong yang benar-benar vertikal serta pada lorong di mana arah *centerline* pengukurannya benar-benar tegak lurus terhadap arah pandang.

### C. *Cross Section*

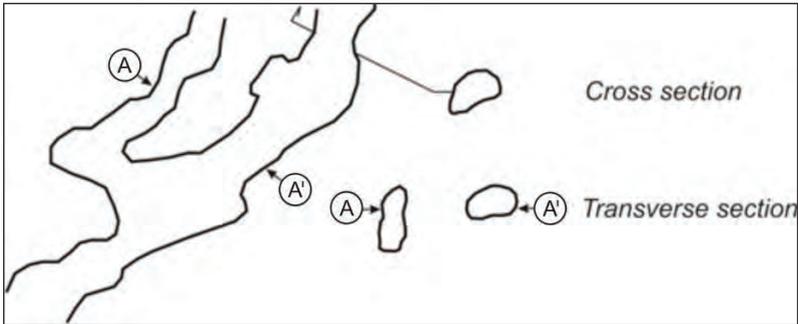
*Cross section* atau penampang melintang lorong adalah pelengkap bagi peta tampak atas. Meski pada saat pengambilan data ia digambar di semua stasiun, namun dalam bentuk akhir peta gua, *cross section* hanya ditampilkan di bagian-bagian tertentu yang dapat mewakili bentuk penampang umum lorong. Ukuran *cross section* disesuaikan dengan data tinggi stasiun, tinggi atap, serta jarak dinding kiri dan kanan. Apabila survei dilakukan dengan gaya *center of passage*, tanpa menggunakan tripod maka jarak dinding kiri dan kanan diambil dari titik stasiun yang berada setinggi mata *shooter*. Kecuali ada keterangan tambahan, skala yang dipakai oleh *cross section* sama dengan skala yang dipergunakan oleh peta tampak atas dan tampak samping.

### D. *Transverse Section*

*Transverse section* atau disebut juga sebagai *composite cross section* adalah beberapa *cross section* yang ditampilkan sebagai satu kesatuan. Penampang jenis ini dibuat untuk menunjukkan perbandingan dimensi dan posisi suatu penampang lorong terhadap penampang lorong lain. Jarak mendatar satu penampang terhadap penampang lainnya ditentukan dengan menarik garis pada peta tampak atas yang memotong semua lorong yang ingin ditampilkan, kemudian hitung jarak antara *centerline* lorong-lorong tersebut. Garis pemotong hendaknya memotong tepat pada titik-titik stasiun, atau setidaknya pada tempat yang berada di dekat titik stasiun. Beda tinggi antarpenampang diperoleh dari selisih  $\Sigma h$  antara titik-titik stasiun.

*Transverse section* sangat berguna untuk memahami posisi antar lorong pada gua yang memiliki banyak cabang dan lorong bertingkat. Pada jenis gua seperti ini, seringkali peta tampak samping sengaja tidak dibuat, karena posisi lorong yang tumpang tindih hanya akan membuat peta tampak samping sangat sulit untuk dipahami. Untuk dapat menggambar peta tampak atas yang dilengkapi oleh *transverse section* yang memadai, dibutuhkan data berupa sketsa *cross section* yang dapat mewakili bagian-bagian lorong yang ingin ditampilkan.

Di sinilah pentingnya penggambaran sketsa *cross section* pada setiap stasiun survei pada tahap akuisisi data.



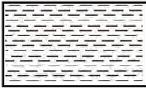
**Gambar 7.9** *Cross Section dan Transverse Section*

## E. Simbologi Peta Gua

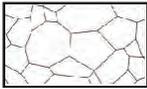
Peta gua dilengkapi oleh simbol-simbol yang masing-masing menjelaskan suatu hal atau kondisi tertentu di dalam lingkungan gua. Salah satu lembaga yang telah mengembangkan simbol-simbol peta gua adalah BCRA. Perbendaharaan simbol mereka pada umumnya sudah mencukupi untuk dipergunakan, namun apabila tim survei menemui suatu hal atau kondisi khusus yang belum terwakili oleh koleksi simbol yang telah ada, mereka menganjurkan *surveyor* untuk menciptakan simbol sendiri dan mencantumkan keterangan yang menjelaskan tentang maksud simbol tersebut pada peta gua. Simbol peta yang lebih lengkap telah dikeluarkan oleh UIS pada tahun 1999. Di Indonesia, simbol-simbol yang dicantumkan pada peta gua merupakan hasil adopsi dari berbagai sumber. Simbol-simbol yang lazim dipergunakan pada peta gua terdiri dari simbol-simbol sedimen, ornamen, kondisi lorong, serta simbol-simbol hidrologi.

## 1. Simbol Sedimen

Pasir, kerikil, lumpur, dan *boulder* adalah sedimen atau endapan yang termasuk dalam kelompok klastik, sedangkan guano termasuk dalam kelompok sedimen organik.



Lumpur



*Mudcrack*

Simbol ini mewakili *mudcrack* atau lumpur kering yang membentuk rekahan-rekahan pada lantai gua



Pasir

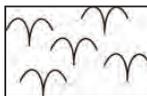


Kerikil



*Boulder*

Bongkahan batu dalam ukuran besar yang merupakan reruntuhan dari dinding atau atap gua. Dalam peta gua, simbol *boulder* digambar secara proporsional, hingga dapat mewakili posisi, sebaran, dan ukuran sebenarnya.



Guano

Guano adalah istilah bagi kotoran kelelawar dan burung.

## 2. Simbol Ornamen

Ornamen atau *speleothem* adalah bentukan di dalam gua yang disebabkan oleh adanya aktivitas sedimentasi dan kristalisasi. Secara umum mereka termasuk ke dalam golongan sedimen kimiawi.



*Stalagtit*

Ornamen ini merupakan bentukan yang paling sering dijumpai di dalam gua kapur. Ia berbentuk seperti kerucut yang menggantung pada atap gua. Diameter dan panjang bentukan ini bermacam-macam, mulai dari yang dapat diukur dalam satuan sentimeter hingga yang berukuran panjang beberapa meter.



*Stalagmit*

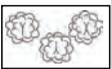
Bentukan ini menempati peringkat kedua setelah stalagtit sebagai ornamen yang paling banyak dikenal. Stalagmit terbentuk di lantai gua oleh materi karbonat yang menetes terbawa air dari stalagtit yang berada di atasnya.



Pilar dan *column*

Pilar adalah batuan yang berdiri dari lantai hingga atap gua, dan merupakan sisa dari suatu proses pelarutan.

*Column* memiliki bentuk seperti pilar yang menyangga atap gua. Ornamen ini terbentuk oleh bersatunya stalagtit dan stalagmit.

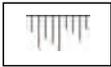


Stalagtit, stalagmit, pilar, dan *column* berukuran besar



### Heliktit

Heliktit adalah ornamen yang tumbuh pada atap atau dinding gua dengan bentuk tidak beraturan. Arah tumbuhnya yang unik disebabkan oleh adanya dua faktor yang saling mendominasi. Faktor pertama adalah gaya tarik Bumi yang mengarahkan tetesan air dan mineral untuk tumbuh lurus ke bawah, dan faktor kedua adalah proses kristalisasi yang menyebabkan mineral tumbuh ke berbagai arah.



### Soda straw

Nama lain dari ornamen ini adalah *calcite straw* atau *drinking straw*. Dinamakan demikian karena bentuk dan ukurannya menyerupai sedotan minuman.



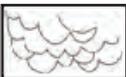
### Kristal

Kristal mewujud dalam banyak jenis ornamen gua, namun simbol kristal di sini hanya mewakili mineral yang mengkristal pada suatu permukaan luas. Istilah yang lebih akrab bagi bentukan ini adalah *calcite floor*.



### Flowstone pada dinding

Mineral karbonat yang terbawa oleh aliran air dan mengendap pada suatu bagian di lantai atau dinding gua akan membentuk ornamen *flowstone*. Ornamen ini dapat tumbuh menggantung hingga menyerupai kerudung dan dinamakan sebagai kanopi (*canopy*).



### Flowstone pada lantai



### Goursdam

*Goursdam* adalah dam alami berbentuk seperti teras-teras sawah dengan posisi melintang pada suatu aliran air. Istilah ini dipopulerkan oleh orang-orang Perancis. Dalam bahasa Inggris, bentukan ini dinamakan sebagai *sinter pools*.



### Gordyn

Nama lainnya adalah *sinter curtains*. Ornamen ini tumbuh sebagai hasil pengendapan mineral karbonat pada dinding dan atap gua. Sesuai namanya, *gordyn* memang tumbuh menyerupai lembaran-lembaran kain korden, menggantung, tipis, dan berlipat-lipat.



### Moonmilk

Ornamen ini tumbuh di atap dan dinding gua. Memiliki bentuk seperti lelehan susu.



### Bunga kol (*cauliflower*)

*Cauliflower* adalah bentukan gua berwujud menyerupai bunga kol.



### Piringan kalsit (*calcite disk*)

Suatu jenis ornamen langka dengan bentuk seperti piringan.



### *Speleothem* rusak apapun jenisnya

### 3. Simbol Erosi



*Erosional pothole*

Lubang berupa *pothole* berukuran kecil yang terbentuk oleherosi pada lantai gua.



*Solution pockets, ceiling pockets*

Lubang pada atap lorong yang disebabkan oleh aktivitas air.



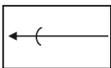
*Scallop*

*Scallop* adalah cekungan-cekungan yang terbentuk oleh aliranair pada lantai dan dinding gua.



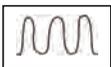
*Flute* secara umum

Erosi dan korosi oleh air meninggalkan jejak pada lantai, dinding, dan atap gua yang disebut sebagai *flute*.



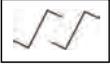
Arah aliran purba (*paleoflow*)

Simbol ini menandakan arah aliran pada masa silam yang meninggalkan jejak pada dinding atau lantai gua. Selain untuk menunjukkan arah aliran air, tanda ini juga dapat digunakan untuk menunjukkan arah aliran lava pada gua vulkanik.



*Anostomosen*

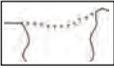
Bentukan menyerupai rangkaian tabung bercabang-cabang pada suatu bidang dua dimensi.



### Karren

Istilah dari bahasa Jerman ini ditujukan pada alur-alur yang ditinggalkan oleh air pada batuan. Ia terdapat baik di dalam gua maupun di luar gua. Dalam bahasa Perancis bentuk-bentuk ini disebut *lapiés* dan berukuran mulai dari beberapa milimeter hingga lebih dari satu meter.

## 4. Simbol Kondisi Lorong



### *Entrance*

*Entrance* atau mulut gua. Simbol yang sama juga dipergunakan pada atap lorong yang berundak.



### *Vertical entrance*

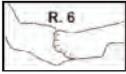
Mulut gua yang berupa lorong vertikal.



### *Pitch dan Climb*

*Pitch* adalah istilah bagi lorong, jurang, atau air terjun vertikal atau hampir vertikal yang cukup dalam sehingga dibutuhkan teknik khusus untuk melaluinya. Istilah yang terdengar serupa adalah *pit*, yang berarti suatu lubang dalam, biasanya berbentuk bundar, dengan dinding vertikal atau hampir vertikal (Field, 1999). Bagi kedua fitur di atas, dapat dipergunakan satu simbol yang sama. Angka di belakang inisial P menunjukkan kedalaman *pitch* tersebut.

Bagi bidang vertikal yang masih dapat dipanjat tanpa bantuan alat pengaman dipergunakan simbol yang sama, bedanya hanya pada inisial yang dicantumkan di depan angka kedalaman. Inisial tersebut adalah C. yang merupakan kependekan dari *Climb* (panjatan).



*Rope*

Istilah ini menerangkan suatu bidang vertikal yang dapat dilalui dengan tingkat kesulitan antara *pitch* dan *climb*, yaitu hanya dengan bantuan seutas tali untuk berpegangan.



CS. (*Continues small*)

Menerangkan suatu bagian lorong yang menyempit sehingga tidak dapat lagi ditelusuri.



CE. (*Continues explored*)

Simbol ini ditempatkan pada suatu tempat di dalam peta di mana pemetaan berakhir, namun penelusuran masih terus dilanjutkan.



CUE. (*Continues unexplored*)

Simbol ini berarti masih terdapat lorong yang belum sempat ditelusuri dan dipetakan.



Lorong tertutup ornamen

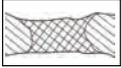
Simbol ornamen disesuaikan dengan jenis ornamen yang menutupi lorong.



Lorong tertutup lumpur

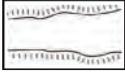


Lorong tertutup runtuhan



### *Sump*

Simbol ini dipergunakan untuk mewakili *sump* dan *siphon* pada sungai bawah tanah.



### Dinding tertutup lumpur

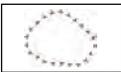


### Dinding mudah runtuh (gua tektonik)



### *Slope*

Simbol *slope* atau lereng pada peta gua dipergunakan pada lereng dengan kemiringan  $45^\circ$  atau lebih. Simbol lereng berupa garis luar (*outline*) dipergunakan untuk lereng yang berada di luar gua, sedangkan bagi lereng yang berada di dalam gua dipergunakan simbol berupa segitiga dengan blok warna (hitam).



### *Aven*

Disebut juga *dome-pit* oleh para caver Amerika, yaitu suatu lobang besar berbentuk kerucut panjang pada atap gua. Bila bagian atas kerucut tersebut runtuh, *aven* dapat berkembang menjadi mulut gua baru.



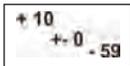
### Lorong bertingkat



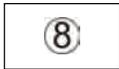
Lorong bertingkat banyak  
Abjad menunjukkan urutan lorong.



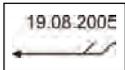
Bentuk atap (hanya bagi peta tampak atas tanpa elevasi)



Kedalaman atau ketinggian lantai gua pada bagian tertentu. Ketinggian atau kedalaman dihitung dari titik 0 pada lantai mulut gua.



Tinggi atap suatu ruangan



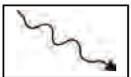
Arah aliran udara, disertai dengan keterangan tanggal, bulan dan tahun dengan format tt-bb-tttt

## 5. Simbol Hidrologi



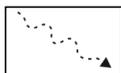
Badan air

Misalnya telaga, genangan air (*static pool*) atau sungai yang memiliki batas tepi jelas.

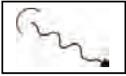


Aliran air

Anak panah menunjukkan arah aliran.



Aliran air musiman



Munculan air atau *spring*



Air menghilang atau *sink*



Munculan air yang menyebar



Rembesan melalui pasir atau kerikil



Salju, *firn*, es

Salju yang tidak segera mencair akan menjadi padat dan dinamakan sebagai *firn*. Saat semakin padat, *firn* akan berubah menjadi es. Simbol ini mewakili ketiga-tiganya.

## 6. Simbol-simbol Khusus

Seperangkat simbol khusus disediakan untuk melengkapi peta gua agar dapat memberi lebih banyak informasi saat ia diperuntukkan bagi suatu tujuan yang lebih spesifik.

## 7. Simbol Survei

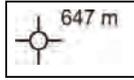


Titik stasiun utama (*Main survey point*)

Perlu atau tidaknya mencantumkan simbol ini pada peta gua adalah tergantung pada jenis peta yang dibuat.



Titik stasiun bawahan (*Subordinate survey point*)



Elevasi (meter dari permukaan laut)

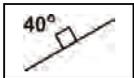


Perubahan *grade* survei

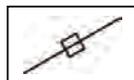
## 8. Simbol-Simbol Geologi

Peta gua dapat dibuat secara khusus untuk menampilkan informasi geologi. Data tambahan yang dikumpulkan untuk membuat peta seperti ini meliputi fitur-fitur geologi seperti sifat; ketebalan dan kemenerusan lapisan-lapisan batu gamping; penunjaman atau kemiringan lapisan; arah dan kerapatan kekar; keberadaan perpindahan *fault* (sesar) beserta arah dan besarnya; keberadaan fitur-fitur khusus seperti bidang pelapisan batulempung atau *shale*; lapisan-lapisan nodul rijang, ketidakselarasan urat-urat mineral dan batuan asli. Keberadaan fitur-fitur erosional seperti pasir, kerikil, serta speleothem biasanya sudah termuat pada peta gua standar, namun untuk peta gua geologis, pencatatan bentukan-bentukan itu harus dilakukan secara lebih terperinci. (Ford, 1976).

Untuk menerangkan berbagai fitur geologis di dalam gua, dapat dipergunakan perbendaharaan simbol yang biasa dipergunakan oleh para geolog dalam menerangkan fitur-fitur geologis di permukaan bumi.



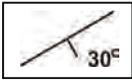
Jurus dan kemiringan kekar.



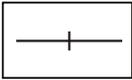
Kekar tegak



Kekar mendatar



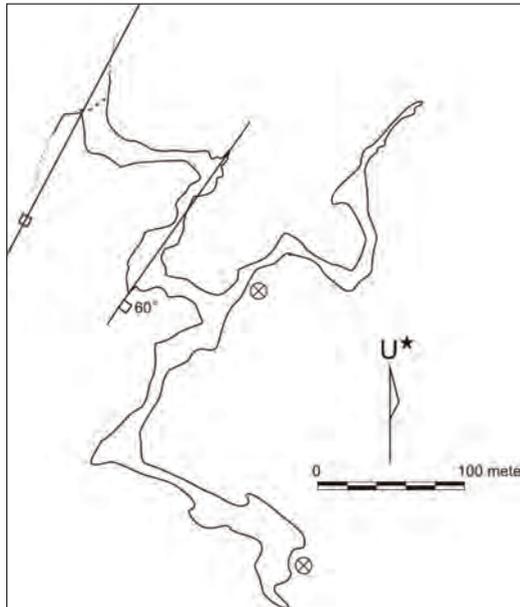
Jurus dan kemiringan lapisan



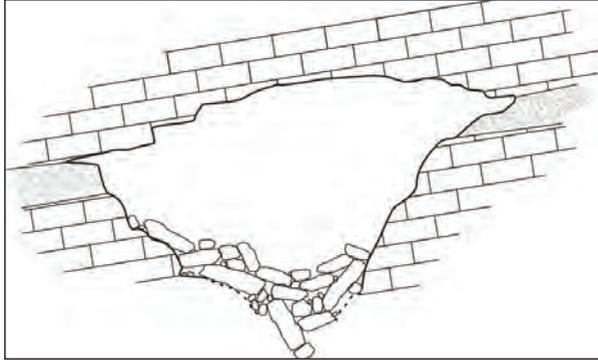
Lapisan tegak



Lapisan horizontal



**Gambar 7.10** Peta Gua dengan Simbol-Simbol Geologi



**Gambar 7.11** *Cross Section* dengan Simbol Litologi

Gambar 7.11 menunjukkan informasi geologi yang ditampilkan sebagai pelengkap *cross section*. Informasi berupa simbol-simbol litologi ditempatkan sesuai dengan posisinya pada dinding, lantai, atau atap lorong (Bartlett, 2009).

## 9. Simbol-Simbol Arkeologi dan Paleontologi



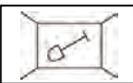
Tulang vertebrata

Segala macam tulang binatang bertulang belakang yang ditemukan di dalam gua disimbolkan dengan bentuk ini.

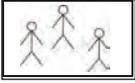


Invertebrata

Simbol ini dipergunakan untuk mewakili sisa atau fosil binatang tidak bertulang belakang.

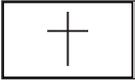


Kotak ekskavasi



Pictograph/petroglyph

Peninggalan arkeologi berupa lukisan pada dinding atau atap gua.



Tempat penguburan



Sisa-sisa tempat tinggal



Kegiatan manusia

Simbol ini mewakili segala hal di dalam gua yang berkaitan dengan kegiatan manusia, termasuk di dalamnya karya seni, peralatan, tambang tua, serta tulang belulang manusia.

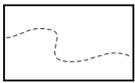
## 10. Simbol-Simbol Fitur Buatan



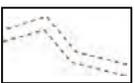
Pintu gerbang



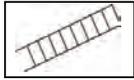
Paving (*pavement*)



Jalan setapak



Jalan beton



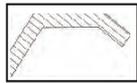
Tangga

Bagian terbuka menandakan bagian bawah tangga.



Jalan berundak

Bagian terbuka menandakan bagian dasar jalan berundak.



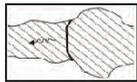
Dinding tembok



Pagar pengaman



Jembatan



Dam



Perkemahan (*camp*)

Tempat tinggal sementara di dalam gua.

## 11. Simbol-Simbol Lintasan

Simbol-simbol di bawah ini dikembangkan untuk mendokumentasikan jalur lintasan penelusuran pada gua dengan lorong vertikal (Elliot, 1986). Peta gua dengan informasi lintasan merupakan referensi berharga bagi suatu tim untuk mempersiapkan penelusuran atau usahapertolongan di dalam gua.



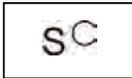
Natural *anchor*

Tambatan alami tempat tali dipasang.



*Bolt anchor*

Tambatan yang dipasang pada lubang bor.



Tambatan alami dengan *slings*

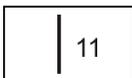


*Spike* (batuan runcing) atau *Flake* (serpihan)



Deviasi

Suatu bentuk variasi lintasan untuk menjauhkan tali dari friksi (gesekan) dengan dinding gua.



Panjang *pitch*



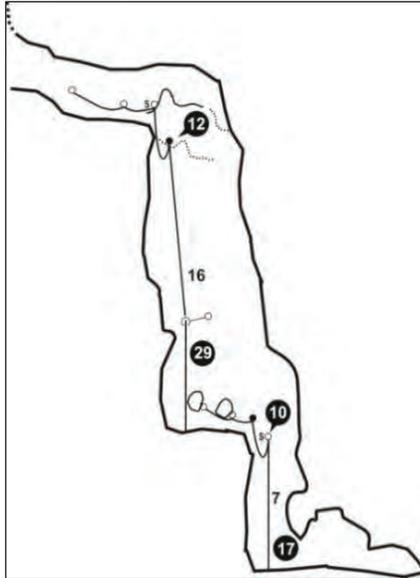
Panjang tali keseluruhan



Panjang tali hingga bagian ini

Simbol-simbol lintasan ditampilkan hanya pada peta tampak samping. Selain simbol lintasan, peta untuk tujuan ini juga dapat

dilengkapi dengan sketsa yang menggambarkan keadaan lorong, batuan, dan bentukan-bentukan di dalam gua yang berkaitan dengan pemasangan lintasan.



**Gambar 7.12** Contoh Peta Gua dengan Informasi Lintasan Tali

Peta permukaan biasanya disertai legenda peta yang menjelaskan arti dari simbol-simbol peta, namun dalam peta gua legenda semacam ini jarang dijumpai. Peta gua standar ditujukan untuk dipergunakan oleh para penelusur gua dan penggiat speleologi yang dianggap telah memiliki pengetahuan membaca peta gua. Legenda peta biasanya hanya dicantumkan pada peta gua tematik yang diperuntukkan bagi kalangan yang lebih luas.

## F. Kelengkapan Peta Gua

Berbagai kelengkapan peta perlu ditambahkan untuk melengkapi informasi pada lembar peta. Kelengkapan standar peta gua meliputi:

### **1. Nama Gua**

Apabila gua yang dipetakan belum memiliki nama maka kelompok *surveyor* boleh memberinya nama (lihat halaman 89). Pada lembar peta, nama gua ditulis pada bagian atas, dengan ukuran huruf yang lebih besar.

### **2. Lokasi Gua**

Sebutkan lokasi administratif gua yang meliputi dusun (bila ada), desa, kecamatan, kabupaten (daerah tingkat II), provinsi. Sertakan pula informasi lokasi berupa koordinat.

### **3. Tanggal Survei**

Pencantuman tanggal survei diperlukan untuk menentukan besar pergeseran antara utara magnet pada saat survei dan utara magnet pada tahun-tahun berikutnya. Informasi ini juga diperlukan untuk mengetahui perubahan kondisi gua dari waktu ke waktu.

### **4. Surveyor**

Sebutkan nama-nama anggota tim survei atau organisasi yang membawahnya.

### **5. Drafter**

Nama *drafter* atau penggambar peta boleh dicantumkan pada lembar peta.

### **6. Grade dan Kelas Survei**

Cantumkan *grade* dan kelas survei, juga lembaga yang mengeluarkan standar tersebut.

### **7. Keterangan Jenis Peta**

Cantumkan secara jelas apakah peta tersebut peta tampak atas (*plan*), Peta tampak samping diperpanjang (*extended elevation*), atau peta tampak samping diproyeksikan (*projected elevation*).

## 8. Entrance

Kelengkapan berupa tulisan *entrance* beserta garis dan anak panah perlu dicantumkan untuk membantu pembaca menemukan posisi mulut gua pada peta. Bila suatu gua memiliki lebih dari satu pintu masuk, cantumkan nama mulut gua, misalnya Gremeng *entrance*, Banyusumurup *entrance*, Seropan *entrance*. Cara lain adalah dengan menambahkan bilangan berurutan pada tiap tanda penunjuk *entrance*, misalnya *entrance 1*, *entrance 2*, *entrance 3*.

## 9. Skala Peta

Skala peta adalah perbandingan antara ukuran gua sebenarnya dengan ukuran gua tersebut setelah tergambar di dalam peta. Ada tiga cara untuk menyatakan skala peta, yaitu cara verbal, cara fraksis, dan cara grafis.

### a. Skala Verbal

Cara menyatakan skala peta dengan kalimat disebut cara verbal. Contoh menyatakan skala peta dengan cara verbal adalah 1 cm = 10 meter.

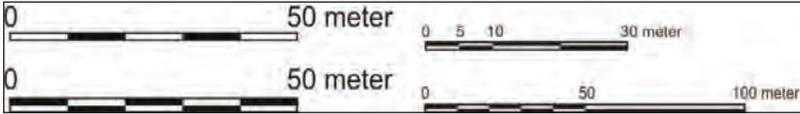
### b. Skala Fraksis

Cara fraksis dinyatakan dengan membuat tanda pembagian antara angka penyebut dan angka pembilang.

Contoh : Skala  $\frac{1}{1.000}$  atau 1 : 1.000

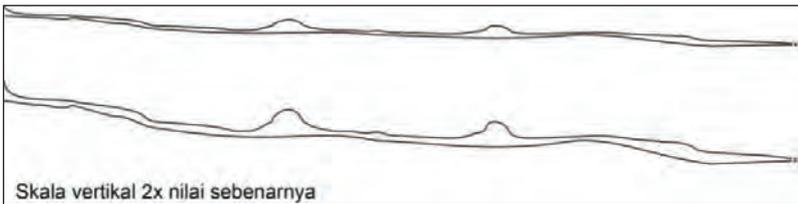
### c. Skala Grafis

Kedua cara menyatakan skala di atas memiliki kelemahan. Yaitu, apabila peta mengalami perubahan ukuran, misalnya diperbesar atau diperkecil maka skala yang tercantum tidak lagi sesuai bagi peta tersebut. Skala akan selalu mengikuti perubahan ukuran peta apabila ia dinyatakan dengan cara grafis.



**Gambar 7.13** Beberapa Contoh Skala Grafis

Meski sangat jarang dijumpai, ada juga peta gua yang digambar dengan dua skala berbeda. Peta dengan *vertical exaggeration*, yaitu di mana skala vertikal lebih besar dari skala horizontal, dibuat untuk memperjelas arah naik turun dan detail lorong pada lorong yang memiliki lantai dan atap yang sedemikian datar dan terlihat seragam. Peta yang bisa diperlakukan seperti ini hanya peta tampak samping dan *cross section*. Peta yang telah mengalami proses *vertical exaggeration* harus disertai dengan keterangan yang menjelaskan hal tersebut.



**Gambar 7.14** Peta tampak samping dengan satu besaran skala (atas) dan peta dengan skala vertikal yang diperbesar dua kali dari skala horizontal (bawah).

## 10. Arah Utara

Arah utara ditunjukkan dengan simbol anak panah. Tambahkan tulisan Utara, atau dapat disingkat dengan huruf “U” di dekat anak panah. Bila arah utara yang dimaksud adalah arah utara magnet maka tambahkan tulisan “magnet” atau dapat disingkat “M” di sebelah huruf “U”. Bila utara yang dimaksud adalah utara sebenarnya maka tuliskan “utara sebenarnya” atau simbol bintang, di dekat anak panah. Dalam bahasa Inggris, arah utara magnet ditulis sebagai *magnetic north*, dan utara sebenarnya disebut dengan *true north*.

Arah utara sebenarnya memudahkan peta gua untuk penggunaan hingga jauh di masa depan, sedangkan arah utara magnet memudah-

kan penggunaan dalam jangka pendek. Peta permukaan memiliki arah utara yang selalu mengarah ke atas bidang gambar, sedangkan pada peta gua, arah utara akan dibuat ke arah atas bidang gambar hanya apabila memungkinkan. Demi efisiensi tata letak, dan terutama agar penempatan peta tampak atas selaras dengan peta tampak samping, utara peta gua dapat mengarah ke mana saja.

### **11. Nama Tempat di Dalam Gua**

Penamaan terhadap tempat-tempat tertentu di dalam gua dapat memudahkan identifikasi dan navigasi. Alangkah sulitnya bila harus menerangkan suatu tempat di dalam gua yang berlorong panjang dan memiliki banyak cabang dengan kalimat, misalnya “lorong setelah belokan ke empat setelah cabang pertama (cabang yang mengarah ke kanan)”. Akan jauh lebih mudah untuk menyebutnya dengan, misalnya “lorong gorilla”. Penamaan bisa ditujukan pada lorong, *chamber*, percabangan, air terjun, dan tempat-tempat lainnya. Pemberian nama dapat dilakukan berdasar objek-objek yang terdapat di tempat tersebut, kondisi tempat tersebut secara umum, atau suatu peristiwa yang pernah berlangsung di tempat itu. Pemberian nama tempat di dalam gua juga dapat dilakukan sebagai bentuk penghormatan kepada seseorang. Berbagai contoh telah menunjukkan bahwa lorong gua yang sempit tidak mampu membatasi imajinasi manusia yang menelusurinya. Di gua Carlsbad, New Mexico ada suatu bagian lorong yang dibaptis dengan nama indah, *Lake of the Clouds* atau danau awan. Ribuan kilometer dari New Mexico, tepatnya di kecamatan Ponjong, kabupaten Gunungkidul, terdapat suatu gua yang memiliki lorong dengan nama *susu sewu* atau seribu payudara.

### **12. Panjang Total**

Suatu kegiatan pemetaan gua menghasilkan tiga macam panjang total, yaitu *survey length*, *cave length*, dan *map length*. Di antara ketiganya, informasi panjang yang biasanya dicantumkan pada peta adalah *cave length* atau *map length*.

### a. *Survey Length*

Dalam *survey length* atau panjang survei, yang dimaksud sebagai panjang keseluruhan adalah jumlah jarak miring atau jarak sebenarnya (D) yang terukur pada seluruh *survey leg*. Termasuk di dalamnya seluruh jarak miring pada poligon tertutup dan poligon terbuka, serta jarak miring pada pengukuran di permukaan.

### b. *Cave Length*

*Cave length* atau panjang gua dipergunakan untuk memberi informasi tentang panjang lorong yang sebenarnya. Panjang keseluruhan lorong diperoleh dari penjumlahan seluruh jarak miring (D), dengan beberapa pengecualian. Untuk mendapatkan angka panjang lorong yang seobjektif mungkin, jarak antara stasiun dan substasiun dalam pengukuran *chamber* dengan metode *offset* tidak diperhitungkan. Pada *chamber* yang disurvei dengan metode poligon terbuka, jarak yang diperhitungkan sebagai panjang lorong hanyalah jarak miring antara lorong sebelum *chamber* melalui stasiun utama di tengah *chamber* hingga stasiun pada awal lorong berikutnya. Pada *chamber* yang berada di ujung lorong, panjang keseluruhan dihitung dengan menjumlahkan panjang dua *centerline* yang menghubungkan stasiun pada lorong terakhir, pusat *chamber*, dan substasiun terjauh.

Pada *chamber* yang disurvei dengan metode poligon tertutup, penentuan panjang jalur tengah *chamber* dilakukan dengan menggunakan asumsi yang paling masuk akal sesuai dengan dimensi *chamber*. Asumsi paling sederhana adalah apabila *chamber* berada di antara dua lorong maka jalur tengah *chamber* diasumsikan berupa garis lurus yang menghubungkan dua lorong tersebut, melalui (kurang lebih) pusat *chamber*. Untuk dapat mengetahui panjang jalur tengah *chamber*, terlebih dahulu harus diketahui jarak datar antara dua lorong, caranya adalah dengan menggunakan rumus sisi miring segitiga, yaitu:

$$c = \sqrt{(a^2 + b^2)}$$

a : selisih  $\Sigma x$  kedua stasiun

b : selisih  $\Sigma y$  kedua stasiun

Berikutnya adalah mencari jarak miring antara kedua lorong dengan menerapkan rumus yang sama, yaitu:

$$c = \sqrt{(a^2 + b^2)}$$

$c$  : jarak miring

$a$  : jarak datar ( yang telah dihitung sebelumnya)

$b$  : selisih  $\Sigma z$  antara dua stasiun di muara lorong

### c. *Map Length*

Angka panjang peta atau *map length* merupakan penjumlahan dari seluruh jarak datar ( $L$ ) dengan perkecualian dan penghitungan yang sama dengan pada saat menghitung *cave length*. Istilah lain bagi *map length* adalah *plan length*, *total horizontal length*, dan *true horizontal length* (THL) (Dasher, 1994).

### 14. *Cave Depth* atau Kedalaman Gua

*Cave depth* adalah jarak vertikal antara stasiun survei terendah dan tertinggi di dalam gua (Dasher, 1994). Angka *cave depth* diperoleh dari selisih mutlak antara  $\Sigma h$  terbesar dan  $\Sigma h$  terkecil. Misalnya,  $\Sigma h$  terbesar adalah 12 dan  $\Sigma h$  terkecil adalah -20 maka gua tersebut memiliki *cave depth* sebesar  $12+20=32$  meter. Kalkulasi yang dilakukan untuk mendapatkan angka kedalaman gua pada umumnya memberikan hasil yang lebih objektif daripada hasil penghitungan panjang lorong gua.

## G. Penyajian Peta

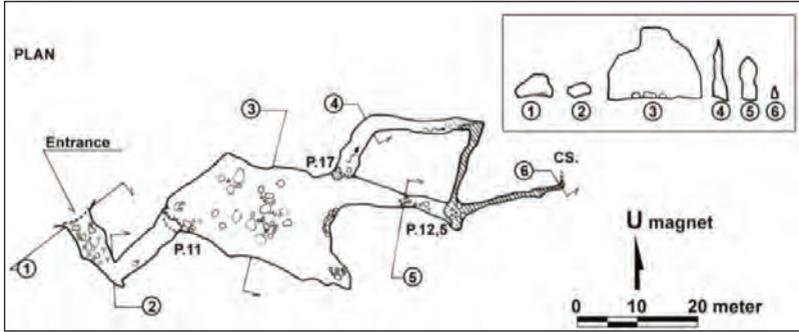
Tujuan peta dibuat adalah untuk merekam informasi tentang arah dan kondisi lorong gua. Rekaman informasi seperti ini dibutuhkan oleh kalangan terbatas yang kegiatannya bersinggungan dengan lingkungan gua. Kalangan terbatas ini pada umumnya terdiri dari orang-orang yang menelusuri gua dalam kapasitas sebagai petualang, maupun sebagai ilmuwan, atau dapat juga sebagai keduanya sekaligus.

Selain kepada kelompok yang memiliki minat khusus dan jumlahnya sangat sedikit ini, ada kalanya informasi mengenai gua perlu disampaikan kepada kalangan yang lebih luas. Contohnya adalah informasi berupa peta gua yang diperuntukkan bagi pengelola dan pengunjung gua wisata, atau peta gua yang ditujukan sebagai penunjang suatu program pendidikan.

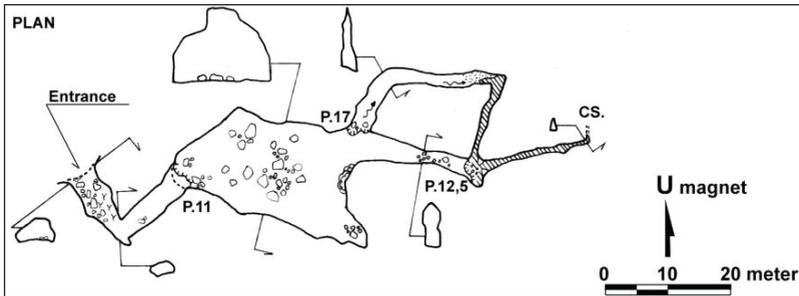
Kepada dua kalangan yang berbeda ini tentu dituntut cara penyajian berbeda. Bagi kelompok pertama, yaitu mereka yang aktif berkegiatan di dalam gua, informasi dapat dirangkum ke dalam suatu peta dalam bentuk standar. Sedangkan bagi kelompok kedua, yaitu orang-orang yang tidak memiliki kepentingan khusus terhadap gua, peta gua dirancang dengan format berbeda. Bentuk peta yang kedua ini sebenarnya hanya berisi informasi terbatas yang disampaikan secara informatif. Peta untuk kepentingan umum juga sebaiknya ditampilkan secara menarik. Salah satu cara mudah untuk memberi nilai lebih pada penampilan peta adalah dengan menampilkannya dalam banyak warna. Kelengkapan peta gua yang perlu dicantumkan pada peta semacam ini hanyalah nama gua, arah utara, dan skala. Kelengkapan lain dapat ditambahkan jika diperlukan.

Setelah tujuan pembuatan peta ditentukan, keberhasilannya akan tergantung pada dua kemampuan kartografis yang saling melengkapi, yaitu desain dan keterampilan. Desain adalah proses kriya visual untuk mencapai ekspresi terbaik yang mungkin dicapai dari subyek peta (Wong, 1972). Sedangkan keterampilan menunjuk pada kualitas penggarapan peta, yang meliputi konsistensi garis, keteraturan penulisan teks, menghindari cacat penggambaran, dan lain sebagainya. Keterampilan memerlukan ketangkasan dan latihan manual, karena sebaik apapun desain suatu peta, ia tetap memerlukan mata dan tangan untuk mewujudkannya pada suatu medium gambar (Ganter, 1986).

Dalam format standar, peta gua biasanya disajikan dalam tiga sudut pandang, yaitu tampak atas, tampak samping, dan penampang lorong. Penampang lorong atau *cross section* dapat ditempatkan pada tempat tersendiri, langsung di tepi peta tampak atas, atau di antara garis-garis yang menghubungkan peta tampak atas dan peta *projected elevation*.

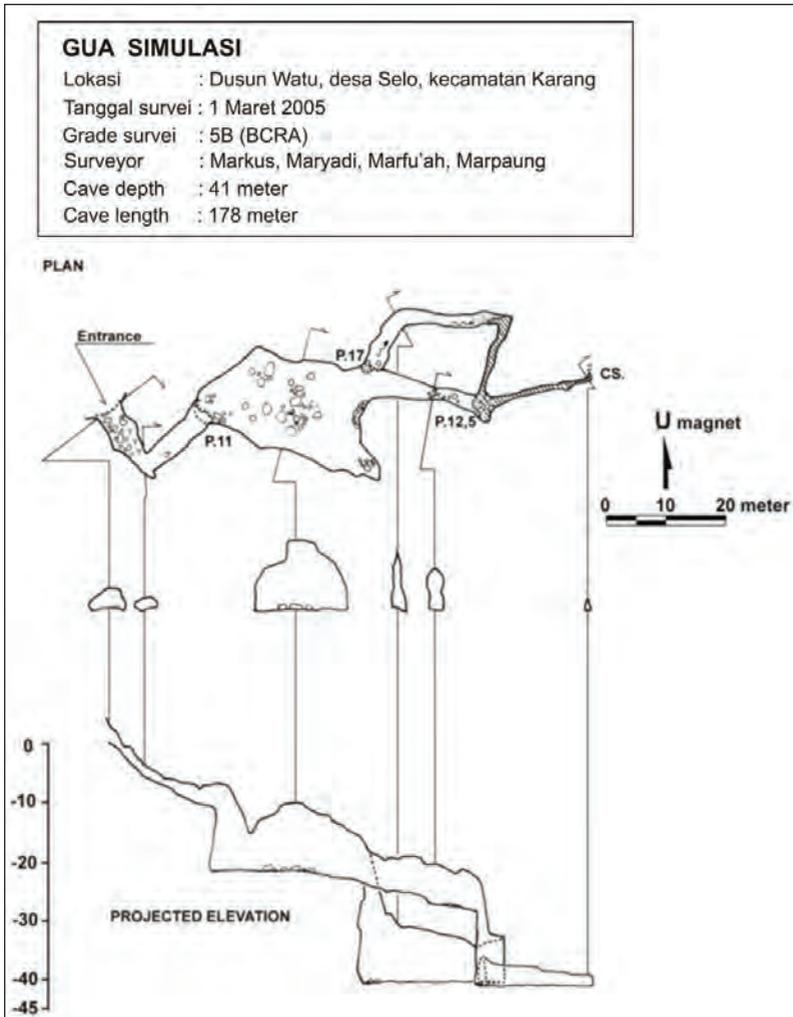


Gambar 7.15 Penempatan Cross Section Pada Suatu Kotak Tersendiri

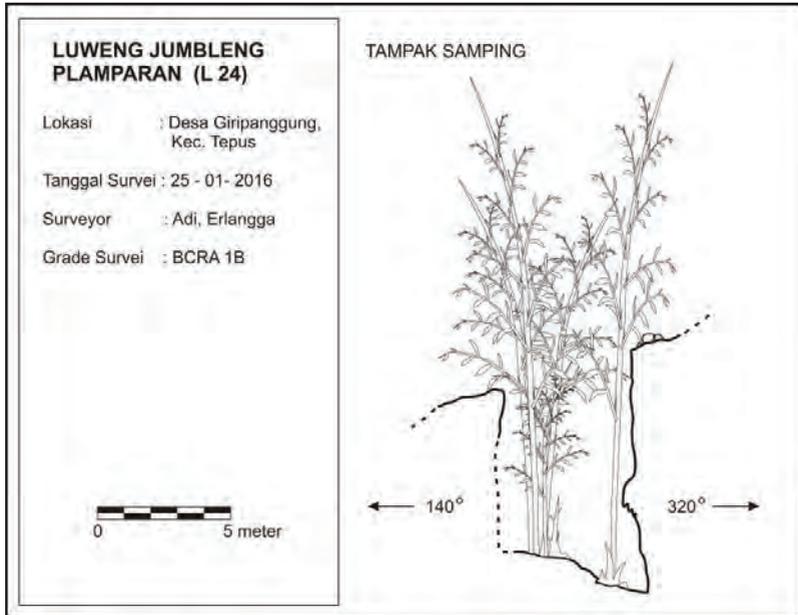


Gambar 7.16 Penempatan Cross Section Pada Sisi Peta Tampak Atas

Informasi dapat disampaikan secara optimal dengan menampilkan tiga sudut pandang (tampak atas, tampak samping, penampang lorong) pada satu lembar peta. Namun ada lorong gua dengan dimensi sangat sederhana sehingga informasi yang dapat diberikan dengan hanya menampilkan satu sudut pandang hampir sama banyaknya (atau sedikitnya) dengan yang dapat diberikan oleh beberapa sudut pandang sekaligus. Gua horizontal dengan lorong pendek dan sederhana dapat disajikan hanya sebagai peta tampak atas, sementara gua vertikal yang lorongnya berakhir di dasar *pitch* pertama cukup disajikan sebagai peta tampak samping.



**Gambar 7.17** Penempatan *Cross Section* di antara Peta Tampak Atas dan *Projected Elevation*



**Gambar 7.18** Peta gua berlorong vertikal pendek yang dipetakan dengan *grade* rendah dan hanya digambar dengan menampilkan satu sisi.

Peta tampak atas dan peta tampak samping sebaiknya memiliki arah yang sama. Artinya, apabila lorong peta tampak atas cenderung memanjang ke kanan, maka peta tampak samping (*extended*) juga sebaiknya berawal dengan *entrance* di ujung kiri dan memanjang ke arah kanan. Kedua peta, tampak atas dan tampak samping, bila memungkinkan disusun satu di atas yang lain. Posisi *entrance* peta tampak atas dan peta *projected elevation* sebaiknya berada pada satu garis yang sama.

Peta tampak samping *extended elevation* yang sangat panjang membutuhkan bidang gambar yang juga sangat panjang. Peta seperti ini dapat digambar dalam beberapa bagian terpisah yang disusun berurutan dari atas ke bawah.

Untuk mempermudah pembaca dalam membedakan garis-garis lorong dengan garis-garis simbol dan detail lantai dan atap, penggambaran peta sebaiknya dilakukan dengan menggunakan pena-pena gambar yang berbeda ukuran.

**Tabel 7.1** Diameter Mata Pena untuk Menggambar Peta

Skala	Ketebalan Pena	
	Garis Lorong	Detil
1 : 50 1 : 100	1,2 mm.	0,4 mm.
1 : 250 1 : 500	0,8 mm.	0,3 mm.
1 : 2.500 1 : 5.000	0,6 mm. 0,3 mm.	0,2 mm.

Sumber: Ellis (1976a)

## 1. Komposisi Peta

Peta gua dalam bentuk standar adalah sebuah hasil karya teknis, meski demikian ia boleh saja tampil menarik. Bahkan bila mungkin tampilkan peta secara semenarik mungkin tanpa melanggar kaidah-kaidah kartografi. Dalam peta gua standar, salah satu kesempatan penggambar untuk memperbaiki penampilan peta yang dibuatnya adalah dengan menata komposisinya. Setidaknya komposisi yang baik akan membuat sebuah peta gua nyaman untuk dilihat.

Komposisi peta yang baik ditentukan oleh pemerataan penempatan materi peta dalam lembar gambar. Merata bukan berarti persamaan kerapatan materi per satuan luas, namun berarti hasil dari pengaturan kerapatan materi peta secara berimbang pada keseluruhan bidang gambar.

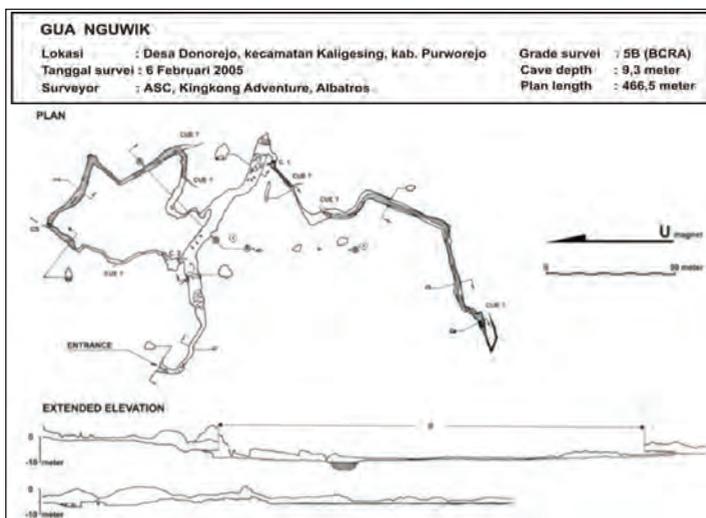
## 2. Tipografi

Penulisan teks dalam lembar peta gua bertujuan untuk memberikan berbagai informasi yang tidak dapat diberikan secara grafis. Sebaliknya, keberadaan teks juga dapat menjadikan peta gua terlihat lebih menarik, namun sebaliknya, juga dapat mengacau dan memperburuk tampilan peta. Oleh sebab itu, sangat penting untuk mencantumkan

teks yang “tidak nampak”, yaitu teks yang tidak menyisip di antara pembaca peta dengan ide atau informasi yang diekspresikan oleh peta (Craig, 1980). Pencantuman teks memiliki efek yang kuat terhadap penampilan peta, teks juga memberikan efek kuat pada perasaan pembaca terhadap peta tersebut (Patchenik, 1974). *Peta gua seharusnya bersifat autoritatif karena menggambarkan suatu bentukan geologi yang rumit. Model huruf yang fantastis, dekoratif atau kaligrafis adalah tidak pada tempatnya* (Cuff & Mattson, 1982).

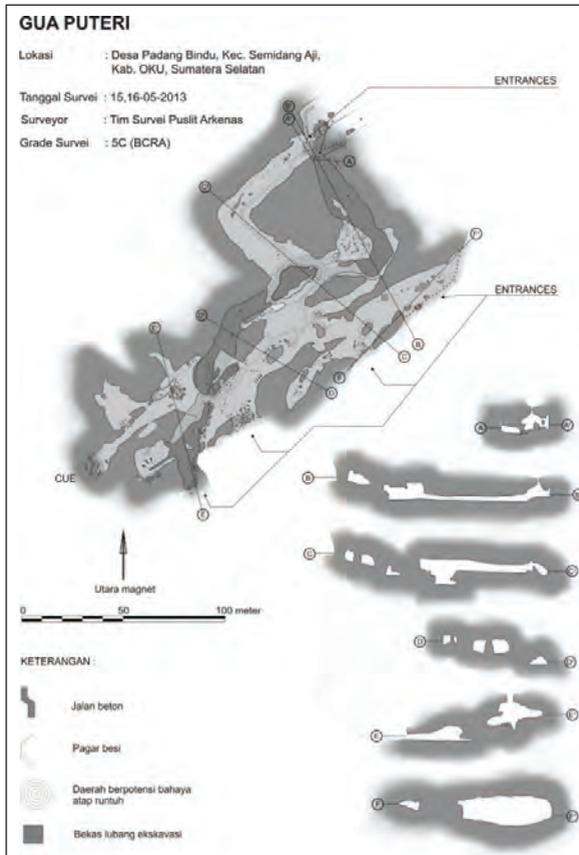
Penulisan teks yang efektif harus memenuhi syarat-syarat berikut ini (Imhof, 1975):

- 1) Harus mudah dibaca dan dibedakan.
- 2) Tidak mengganggu isi peta yang lain.
- 3) Model dan ukuran huruf yang dipergunakan harus dapat membantu menjelaskan hirarki sistem peta.



Keterangan: *Transverse section A–A'* tersusun oleh empat *cross section*. *Extended elevation* dipotong menjadi dua bagian untuk menyesuaikan dengan ukuran bidang gambar yang tersedia

**Gambar 7.19** Peta Gua Nguwik



**Gambar 7.20** Peta Gua Puteri

Kerumitan jalinan lorong gua Puteri menyebabkan penggambaran peta tampak samping hanya akan menghasilkan peta yang sulit untuk dipahami. Oleh sebab itu, peta gua wisata ini hanya ditampilkan sebagai peta tampak atas serta enam rangkaian *transverse section* yang tiga di antaranya merupakan gabungan dari beberapa *cross section* dan *projected elevation* suatu lorong. Berbeda dengan lima *transverse section* yang lain, *transverse section A-A'* merupakan penampang yang dibuat untuk mewakili dua mulut gua yang arah potongannya tidak berada pada suatu garis lurus.

Sebagai peta yang ditujukan bagi kalangan pengguna yang lebih luas, beberapa simbol yang biasa dipergunakan diganti oleh bentuk lain yang lebih komunikatif, misal simbol air ditiadakan, diganti dengan blok berwarna gelap yang dalam peta sebenarnya berwarna biru. Beberapa simbol khusus beserta keterangannya juga dicantumkan pada peta.

Peta gua yang baik mampu memberikan informasi yang mudah dimengerti oleh penggunanya. Dalam kondisi tertentu menjejalkan seluruh informasi dalam suatu peta malah dapat membuat peta menjadi sulit untuk dibaca, atau dapat mengaburkan informasi penting yang seharusnya merupakan prioritas untuk ditampilkan. Penggambar peta harus dapat memilah-milah informasi mana saja yang sebaiknya diprioritaskan untuk ditampilkan di dalam peta. Mengutip pendapat Bartsch (1985) pembuat peta gua, sebagaimana halnya semua kartografer (pembuat peta), perlu mengevaluasi secara kritis peta-peta buatan mereka pada setiap tahap proses desain. Evaluasi seperti itu hanya perlu berpusat pada jawaban dari dua pertanyaan yang sangat mendasar:

- 1) Informasi apakah yang akan ditampilkan pada peta?
- 2) Cara terbaik manakah yang dapat menampilkan informasi ini?

Dua pertanyaan mendasar di atas selayaknya juga dipertimbangkan dalam pencantuman simbol peta gua. Ada banyak gua yang memiliki lorong pendek dan dimensi sedemikian rupa sehingga ketika peta dibuat, akan tersedia banyak ruang untuk mencantumkan simbol, baik yang mewakili ornamen, sedimen, erosi, hidrologi, maupun kondisi lorong. Sebaliknya, ketika gua yang dipetakan memiliki lorong panjang atau sempit maka dalam bentuk peta tampak atas, hanya akan tersedia sedikit tempat untuk mencantumkan simbol. Dalam kasus seperti ini, yang sebaiknya diutamakan adalah simbol-simbol yang mewakili sedimen, hidrologi, serta kondisi lorong. Dalam contoh lain lagi, di mana lorong yang dipetakan begitu panjang sehingga lorong gua terlihat begitu sempit dan hampir tidak tersisa ruang untuk menempatkan simbol, usahakan untuk tetap memberi informasi tentang kondisi lorong, utamanya tentang keberadaan lorong

vertikal, entah dengan menjejalkan simbol, atau dengan cara lain. Usahakan juga untuk menyampaikan informasi tentang keberadaan fitur hidrologi penting, seperti sungai dan *sump* atau *siphon*.

Apabila suatu peta terpaksa harus digambar tanpa mencantumkan simbol, sedangkan terdapat satu atau beberapa bagian dari peta yang dirasa sangat penting untuk diterangkan dengan bantuan simbol, bagian tersebut dapat digambar secara terpisah dengan skala yang lebih besar dan disertakan sebagai sisipan pada peta utama.



**Gambar 7.21** Seorang pemandu wisata gua Cerme berpose di depan reproduksi peta gua Cerme yang digambar secara sederhana pada dinding loket objek wisata.



## PETA GUA TIGA DIMENSI

Pada bab sebelumnya telah dibahas tentang tiga macam peta gua, yaitu peta tampak atas (*plan*), *extended elevation*, serta *projected elevation*. Masing-masing dari ketiganya digambar berdasar *plotting* titik stasiun pada dua sumbu, oleh karena itu ketiganya digolongkan sebagai peta dua dimensi. Cara lain untuk menggambar peta gua adalah dengan menggunakan ketiga sumbu koordinat sekaligus, yaitu apabila si penggambar peta ingin membuat peta yang dapat menggambarkan bentuk dan ukuran lorong sebenarnya saat dilihat dari sudut pandang tertentu. Peta semacam ini disebut dengan peta perspektif atau peta tiga dimensi.

### A. Penggambaran Peta Gua Tiga Dimensi

Berikut ini adalah langkah-langkah penggambaran peta tiga dimensi.

#### 1. Menentukan Sudut Pandang

Penggambaran peta tiga dimensi dimulai dengan menentukan arah serta ketinggian pandang. Tidak ada pilihan sudut pandang yang salah, namun kesalahan dalam menentukan sudut pandang akan menyebabkan sebagian atau seluruh lorong tidak dapat ditampilkan dengan jelas. Sebaliknya, pilihan yang tepat dalam menentukan sudut pandang akan dapat mengoptimalkan tampilan bentuk, ukuran, dan

arah lorong gua yang tergambar dalam peta. Selain itu tidak ada sudut pandang sempurna yang dapat menampilkan seluruh bagian gua secara utuh. Selalu ada sebagian dari lorong gua yang terpaksa tidak terlihat, atau tampak sangat berbeda dari bentuk sebenarnya.

Hal-hal di bawah ini perlu diperhatikan dalam menentukan sudut pandang:

- 1) Pilihlah sudut pandang yang dapat menampilkan secara maksimal seluruh, atau sebagian lorong yang dianggap penting.
- 2) Semakin tinggi sudut pandang, semakin besar penyimpangan perspektif yang terjadi pada perubahan arah vertikal. Dengan kata lain, semakin tinggi kita memandang maka perubahan naik turun lorong terlihat semakin berkurang.
- 3) Semakin rendah (datar) sudut pandang maka semakin besar penyimpangan perspektif yang terjadi pada perubahan arah horizontal. Dengan kata lain, semakin datar kita memandang, dan semakin tegak lurus arah suatu lorong terhadap arah pandang, maka perubahan arah ke kiri dan ke kanan akan menjadi semakin kurang jelas.
- 4) Mempergunakan sudut pandang tepat dari atas (memandang tegak lurus ke bawah ( $-90^\circ$ )) akan sama halnya dengan menggambar peta tampak atas dua dimensi, karena sumbu z tidak akan muncul. Perbedaan hanya tampak pada kesan tiga dimensi yang dimunculkan dengan teknik- teknik gambar yang di-aplikasikan.
- 5) Mempergunakan sudut pandang tepat dari samping (memandang datar ( $0^\circ$ )) akan menghasilkan *outline* peta yang hampir tidak berbeda dengan peta tampak samping diproyeksikan. Perbedaannya hanya terlihat bila ada lorong yang berbalik arah dan pada kesan tiga dimensi yang muncul dari aplikasi teknik penggambaran.

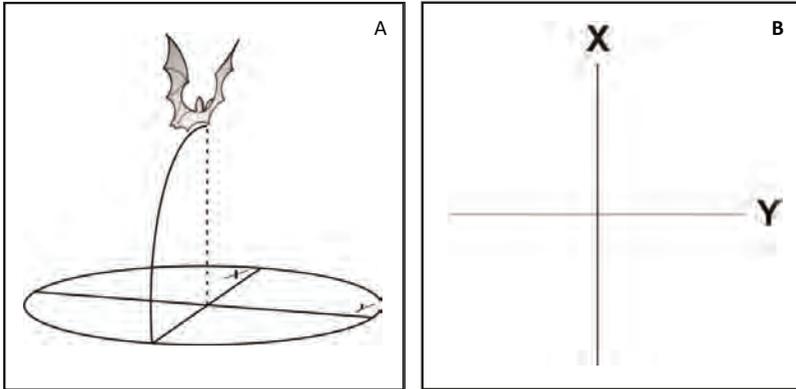
Sudut pandang dapat ditentukan dengan melihat kecenderungan arah lorong. Sebagai contoh, suatu gua yang lorongnya cenderung

memanjang dengan arah utara-selatan akan terlihat lebih maksimal bila dilihat dari arah timur atau barat. Namun pada kenyataannya, kebanyakan gua tidak memiliki arah lorong sesederhana itu. Untuk menggambar peta tiga dimensi suatu gua dengan lorong yang berkelok-kelok dan bercabang, diperlukan lebih dari sekadar imajinasi guna menentukan sudut pandang yang tepat. Pada gua seperti itu, penggambar peta memerlukan visualisasi awal berupa peta tampak atas, atau setidaknya rangkaian *centerline* dari peta tampak atas. Dengan visualisasi sebelum penggambaran, kita akan dapat melihat bagian lorong mana yang hilang dari pandangan saat dilihat dari arah tertentu.

## 2. Skala

Pada peta dua dimensi, dua sumbu yang dipergunakan memiliki skala dengan besaran yang sama, kecuali memang dibuat berbeda untuk tujuan tertentu. Pada peta tiga dimensi, ketiga sumbunya memiliki skala dengan besaran sama, namun terlihat berbeda karena efek perspektif ruang. Semakin tegak lurus (*frontal*) posisi sumbu terhadap sudut pandang, maka panjang yang terlihat semakin mendekati panjang sebenarnya, demikian juga sebaliknya. Selain memengaruhi kenampakan panjang, perspektif ruang juga menyebabkan sudut yang terbentuk antara sumbu terlihat berbeda dari sudut sebenarnya. Skala masing-masing sumbu pada peta tiga dimensi dibuat berdasar kaidah-kaidah perspektif. Artinya, pada skala tersebut harus diberlakukan penyesuaian satuan panjang dan besar sudut sumbu.

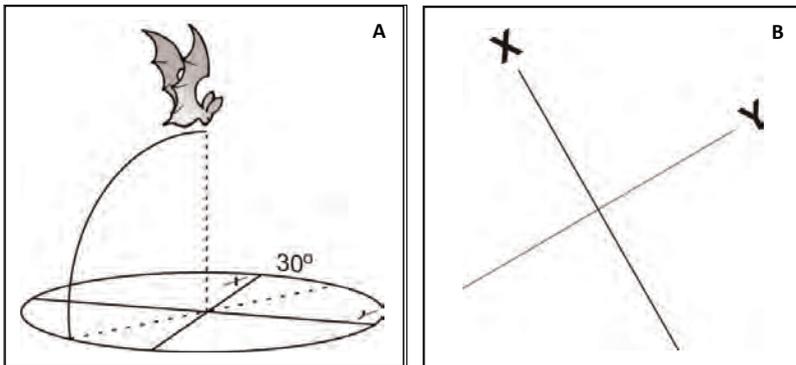
Perubahan kenampakan besar sudut dan satuan panjang dapat dipahami dengan cara berikut ini. Dicontohkan dalam gambar 8.1. sumbu *x*, *y*, dan *z* dilihat dari sudut pandang yang paling sederhana, yaitu tepat dari atas (*klino*  $-90^\circ$ ). Dari sudut pandang ini sumbu *x* dan *y* terlihat berpotongan dengan sudut potong sebesar  $90^\circ$ , sementara sumbu *z* tidak terlihat karena posisinya tepat berhimpit dengan sudut pandang.



Keterangan: (A) Posisi Pengamat Terhadap Ruang, (B) Posisi Ruang yang Terlihat

**Gambar 8.1** Pengamatan Ruang dengan Azimut  $0^\circ$  dan Sudut Vertikal  $-90^\circ$

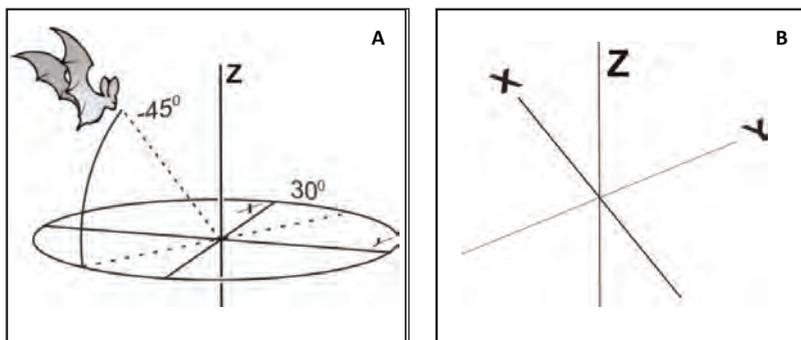
Pada gambar 8.2, ketinggian pandang tidak berubah ( $-90^\circ$ ), namun arahnya bergeser sebesar  $30^\circ$ . Dalam lembar gambar, sudut pandang demikian akan menyebabkan sumbu y terlihat menyimpang ke kiri dengan sudut sebesar  $30^\circ$  atau dapat dinyatakan sebagai sudut relatif  $-30^\circ$  (karena berada di sisi kiri sudut pandang kita), dan sumbu x terlihat berada  $60^\circ$  di sebelah kanan dan dinyatakan dengan sudut relatif  $60^\circ$ .



Keterangan: (A) Posisi pengamat terhadap ruang, (B) Posisi ruang yang terlihat

**Gambar 8.2** Pengamatan Ruang dengan Azimut  $30^\circ$  dan Sudut Vertikal  $-90^\circ$

Berikutnya, sudut pandang masih tetap sebesar  $30^\circ$ , namun ketinggian diturunkan menjadi  $-45^\circ$ . Dari sudut pandang ini, sudut-sudut yang terbentuk antara sumbu akan terlihat mengalami perubahan, dan satuan panjang juga akan terlihat menyusut. Seperti terlihat dalam gambar 8.3, sumbu x yang semula sebesar  $-30^\circ$  relatif, kini terlihat sebesar  $-35^\circ$  relatif. Sumbu y yang semula sebesar  $60^\circ$  relatif, kini nampak sebesar  $62^\circ$ . Sedangkan sumbu z yang awalnya tidak terlihat, kini sudah muncul. Satuan panjang pada sumbu x dan y juga terlihat menyusut dari panjang sebelumnya.



Keterangan: (A) Posisi pengamat terhadap ruang, (B) Posisi ruang yang terlihat

**Gambar 8.3** Pengamatan Ruang dengan Azimut dan Sudut Vertikal  $-45^\circ$

Besarnya perubahan sudut dan satuan panjang dapat diketahui setelah melalui serangkaian perhitungan di bawah ini. Langkah pertama adalah menghitung perubahan sudut nampak yang dilakukan dengan urutan sebagai berikut.

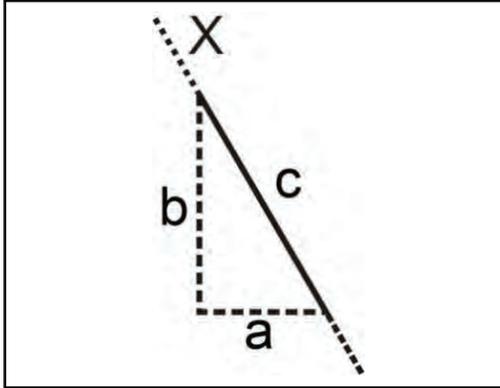
- 1) Buat suatu segitiga imajiner dengan satu satuan panjang pada sumbu x sebagai sisi terpanjang (c) segitiga tersebut.

Tentukan panjang sisi a dan sisi b. Panjang sisi a adalah  $c \cdot \sin \alpha$ , sedangkan panjang sisi b adalah  $c \cdot \cos \alpha$ . Bila satu satuan panjang yang dipergunakan (c) adalah 1 cm, panjang sisi a adalah  $1 \cdot \sin 30$

$$= 1 \cdot 0,5$$

$$= 0,5 \text{ (cm)}$$

$$\begin{aligned} \text{dan panjang sisi } b \text{ adalah } & 1 \cos 30 \\ & = 1 \cdot 0,866 \\ & = 0,866 \text{ (cm)} \end{aligned}$$



**Gambar 8.4** Segitiga Imajiner dengan Satu Satuan Panjang Sumbu x sebagai Sisi c

- 2) Cari nilai  $b'$ , yaitu dengan mengalikan  $b$  dengan cosinus  $(90+\text{tinggi pandang})$ . Dengan contoh tinggi pandang  $-45^\circ$ , berarti  $b'$  dapat diketahui dengan cara berikut:

$$\begin{aligned} b' &= b \cos (90+(-45)) \\ &= 0,866 \cos 45 \\ &= 0,866 \cdot 0,7 \\ &= 0,612 \text{ (cm)} \end{aligned}$$

3. Arah sumbu  $x$  yang terlihat dari sudut ini dihitung dengan rumus

$$\begin{aligned} & \frac{b'}{a} \cdot \tan^{-1} \\ & \frac{0,612}{0,5} \times \tan^{-1} \\ & = 55,08 \end{aligned}$$

Jadi kemiringan sumbu x saat dipandang dengan arah  $30^\circ$  dari ketinggian pandang  $-45^\circ$  terlihat sebesar  $55,08^\circ$  dari garis datar imajiner.

Panjang yang terlihat dari satu satuan panjang pada sumbu x (c) diketahui dengan rumus berikut:

(Huruf b pada rumus ini berupa angka b')

$$\begin{aligned}c &= \sqrt{(a^2 + b^2)} \\&= \sqrt{(0,5^2 + 0,612^2)} \\&= \sqrt{(0,25 + 0,3745)} \\&= \sqrt{0,6245} \\&= 0,7902\end{aligned}$$

Dibulatkan 0,79

Jadi satuan panjang pada sumbu x yang sebenarnya sebesar 1 cm akan terlihat memiliki panjang hanya 0,79 cm ketika dilihat dengan arah  $30^\circ$  dari ketinggian pandang  $-45^\circ$ .

Perhitungan di atas baru menghasilkan sumbu x sepanjang satu satuan skala. Sederetan skala masih perlu ditempatkan pada sumbu tersebut. Dengan sudut pandang ini, angka positif akan terurutkan ke arah kanan, sedangkan angka negatif tersusun berurutan ke kiri.

Salah satu ilusi optik yang disebabkan oleh berlakunya perspektif ruang adalah distorsi ukuran nampak. Benda dengan panjang dan posisi yang sama akan terlihat berbeda bila dilihat dari jarak yang berbeda. Semakin jauh jarak, semakin pendek ia terlihat. Contoh yang mudah kita temui dari fenomena ini adalah deretan tiang listrik yang berjajar pada suatu garis lurus. Besarnya distorsi tergantung pada lebar atau sempitnya sudut pandang kita. Sudut pandang lebar akan menyebabkan distorsi besar dan sudut pandang sempit akan mengurangi angka distorsi. Mata kita, dengan jarak fokus  $\pm 5$  cm

memberikan sudut pandang normal. Bila jarak fokus dikurangi, misalnya dengan bantuan lensa bersudut lebar, kita akan melihat melebihi luas bidang yang biasanya kita lihat, namun dengan distorsi yang lebih besar. Sebaliknya, melalui lensa bersudut sempit, distorsi akan menjadi semakin kecil. Meski besar distorsi dapat ditekan, ia tidak dapat sama sekali dihilangkan.

Satuan-satuan skala yang terlihat pada sumbu  $x$  (0,79 cm) dapat dirangkaikan pada sumbu tersebut dengan mempertimbangkan distorsi ukuran nampak. Caranya adalah dengan memperpendek ukuran setiap satuan skala berikutnya. Yang perlu diperhatikan adalah pemendekan dilakukan dalam persentase yang tetap terhadap satuan sebelumnya. Selain dengan cara di atas, satuan-satuan skala juga dapat dirangkaikan dengan mengabaikan distorsi ukuran nampak. Dengan cara ini interval jarak antarsatuan skala adalah tetap sebesar 0,79 cm, berapa pun jaraknya satuan tersebut dari titik 0. Cara ini meski melanggar logika, namun justru dapat memberi informasi yang lebih tepat mengenai perbandingan ukuran antara objek-objek yang tergambar dalam peta.

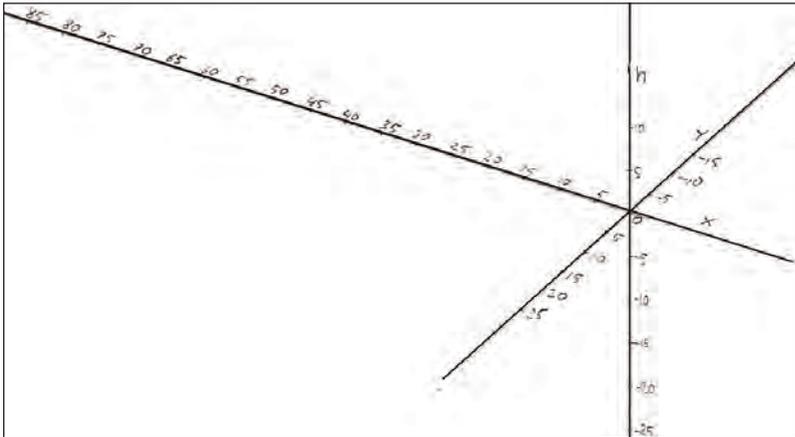
Sejauh ini kita baru membahas bagaimana cara menempatkan sumbu  $x$  yang dilihat dari sudut pandang tertentu pada kertas gambar, serta seberapa besar penyusutan yang nampak pada suatu satuan berukuran 1 cm ketika ditempatkan berhimpit dengan sumbu tersebut. Berikutnya, lakukan apa yang telah dilakukan pada sumbu  $y$  sama seperti halnya yang dilakukan pada sumbu  $x$ .

Setelah selesai menata dua sumbu horizontal, langkah berikutnya adalah menata sumbu vertikal. Seperti kedua sumbu sebelumnya, sumbu  $z$  juga tidak terbebas dari distorsi yang disebabkan oleh berlakunya perspektif ruang. Oleh karena itu, arah dan ukuran satuan skala yang ada padanya juga dapat berubah. Namun dalam semua contoh peta tiga dimensi di dalam buku ini, sumbu  $z$  akan tetap dibiarkan tegak dan ukuran skala yang ada padanya akan dibiarkan tetap terlihat sesuai dengan ukuran sebenarnya.

Skala pada peta tiga dimensi ditampilkan pada tiga sumbu yang bertemu pada satu titik. Masing-masing sumbu memiliki tanda

berupa garis-garis graduasi atau kotak-kotak seperti pada skala grafis yang masing-masing mewakili satuan panjang tertentu. Garis-garis graduasi atau kotak-kotak skala harus diposisikan sedemikian rupa sehingga tidak bertentangan dengan kaidah-kaidah perspektif.

Berikut ini adalah tahap-tahap pembuatan peta gua tiga dimensi. Objek yang akan digambar adalah gua Simulasi dengan azimuth yang telah disesuaikan dengan sudut deklinasi. Arah pandang pada  $150^\circ$ , ketinggian pandang  $-45^\circ$ .



**Gambar 8.5** Garis-garis Sumbu dan Skala Peta Tiga Dimensi yang Dilihat dari Arah  $150^\circ$  dan dengan Kemiringan Pandangan  $-45^\circ$

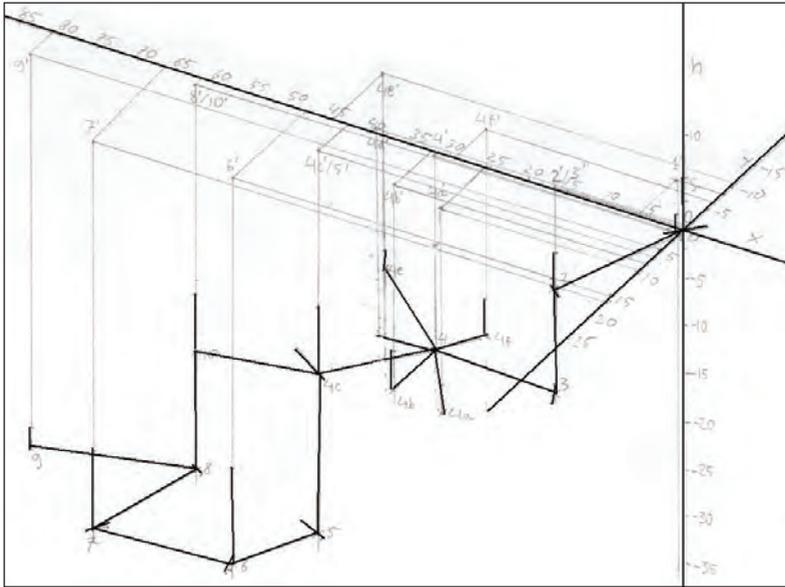
### 3. Plotting Titik Stasiun

Seperti halnya dengan peta dua dimensi, penggambaran peta tiga dimensi juga diawali dengan penentuan titik stasiun pada lembar gambar. Titik stasiun peta tiga dimensi ditentukan oleh tiga sumbu. Untuk mempermudah menemukan posisinya, terlebih dahulu tentukan posisinya pada dua sumbu bidang datar, yaitu sumbu x dan sumbu y. Caranya seperti yang dilakukan saat menentukan koordinat stasiun pada peta dua dimensi tampak atas, yaitu dengan mempertemukan garis-garis yang ditarik tegak lurus dari masing-masing sumbu. Perbedaannya adalah, pada bidang gambar dengan tiga sumbu ini,

bidang datar di mana sumbu x dan y berada tidak terlihat sebagai bidang bersegi empat siku-siku, melainkan terlihat sebagai jajaran genjang dengan besar sudut-sudut tergantung dari arah pandang yang dipilih. Ketika menentukan posisi stasiun, garis-garis bantu ditarik dengan sudut sebesar sudut sumbu yang ada di hadapannya. Titik-titik pertemuan tersebut adalah koordinat stasiun-stasiun survei. Dari titik-titik ini kemudian ditarik garis sejajar sumbu z, sesuai dengan nilainya maka selesailah penempatan titik-titik stasiun secara tiga dimensi. Cantumkan nomor stasiun pada tiap titik stasiun yang telah ditentukan posisinya.

Berikutnya adalah menarik *centerline* untuk menghubungkan titik-titik stasiun. Tinggi atap ditentukan dengan menarik garis sejajar sumbu z dari tiap titik stasiun. Panjangnya sesuai dengan hasil pengukuran yang telah dilakukan. Berikutnya lengkapi kerangka peta dengan menarik garis jarak dinding kiri dan kanan dari tiap stasiun. Karena dalam contoh pengambilan data pada gua Simulasi dilakukan dengan gaya *center of passage survey* maka jarak dinding kiri dan kanan ditarik dari titik *floating station*.

Ada dua cara untuk menarik garis dinding kiri dan kanan pada peta gua tiga dimensi. Cara pertama adalah dengan menghitung serta menempatkan koordinat titik-titik dinding kiri dan kanan sebagai substasiun. Dengan cara ini penempatan titik-titik dan penarikan garis-garis dinding kiri dan kanan dapat dilakukan dengan akurat. Pada contoh berikut, penarikan garis dari *floating station* ke dinding kiri dan kanan dilakukan dengan cara kedua, yaitu hanya berdasar estimasi dan imajinasi. Hal yang harus benar-benar dipertimbangkan pada saat melakukan penarikan garis dinding kiri dan kanan dengan cara ini adalah distorsi pada panjang serta sudut garis.



Keterangan: Titik-titik stasiun, *centerline*, garis jarak stasiun dengan dinding kiri dan kanan, serta garis jarak lantai dari atap

**Gambar 8.6** Detail dari Kerangka Dasar Peta Tiga Dimensi Gua Simulasi

#### 4. Menggambar *Cross Section*

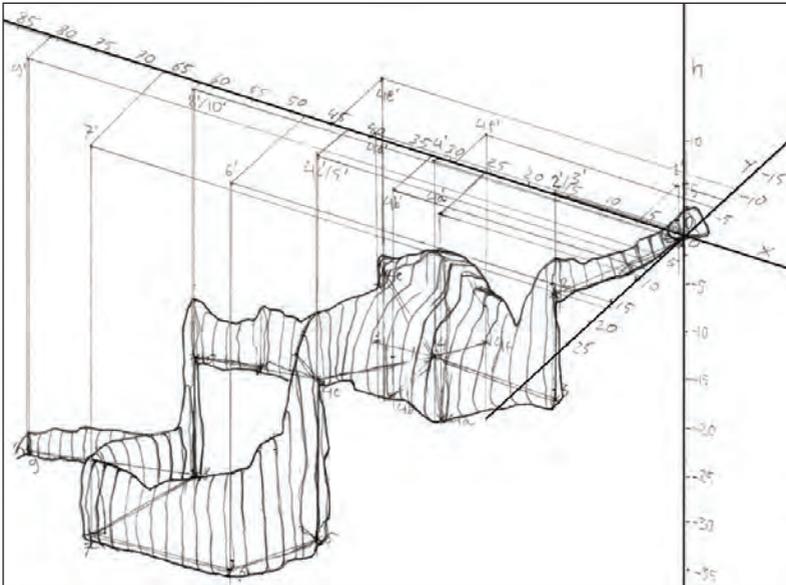
Penampang lorong digambar di tiap stasiun sesuai dengan sketsa yang dibuat di dalam gua. *Cross section* memerlukan kerangka agar ia dapat tergambar dalam proporsi yang benar. Bila penampang lorong dianalogikan sebagai sebuah layang-layang, ia membutuhkan garis jarak dinding kiri dan kanan sebagai kerangka mendatar, dan garis tinggi atap sebagai kerangka tegak. Agar tidak melanggar kaidah perspektif, masing-masing penampang lorong atau *cross section* harus disesuaikan dengan besarnya sudut yang terbentuk antara bidang penampang dengan arah pandang. Semakin frontal bidang penampang terhadap arah pandang maka *cross section* akan terlihat mendekati ukuran dan bentuk sebenarnya. Sebaliknya, semakin sejajar bidang penampang terhadap arah pandang maka *cross section* yang tergambar akan semakin termampatkan secara mendatar. Bila bidang penampang

Buku ini tidak diperjualbelikan.



## 7. Menggambar *Cross Section* Tambahan

Garis lantai, garis atap, garis dinding kiri dan kanan, serta *cross section* adalah unsur-unsur yang menjadikan peta gua tiga dimensi memperoleh bentuknya. Namun, itu semua belum dapat memberikan bentuk utuh lorong gua. Untuk menyempurnakan bentuk lorong agar terlihat utuh dan penuh, serangkaian *cross section* tambahan perlu digambar di antara titik-titik stasiun. *Cross section* tambahan dibuat di beberapa tempat di antara dua *cross section* stasiun. *Cross section* semacam ini tidak tercatat dalam sketsa pada lembar pengambilan data. Untuk menggambarinya dipergunakan imajinasi agar terwujud bentuk peralihan antara dua bentuk *cross section* di dua stasiun yang mengapitnya. Agar tidak terlalu jauh berbeda dari bentuk sebenarnya, pergunakan garis atap, lantai dan dinding untuk membatasi bentuk *cross section* tambahan. Usahakan agar kerapatan *cross section* tambahan seragam di semua tempat. Semakin rapat jarak antar *cross section* maka lorong gua akan terlihat semakin penuh.

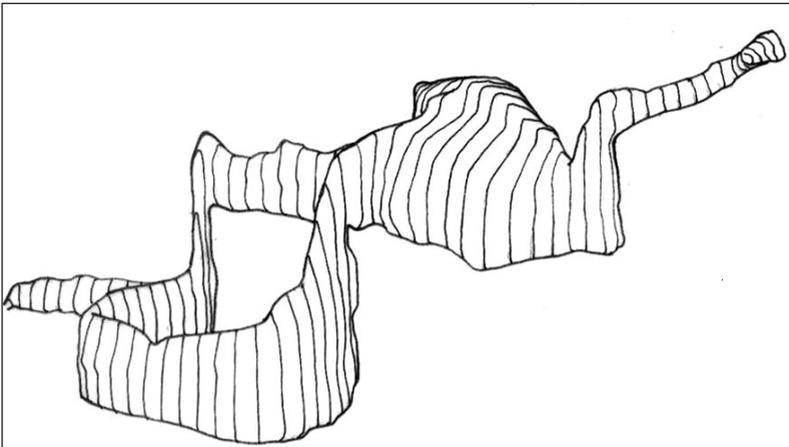


**Gambar 8.8** Detail Peta Tiga Dimensi

## 8. Menampilkan Kesan Tiga Dimensi

Sampai tahap di atas boleh dikatakan peta gua tiga dimensi sudah terbentuk, namun ia belum mencapai bentuk jadi yang siap disajikan. Hingga tahap ini, penggambaran dilakukan dengan alat tulis yang dapat dihapus. Setelah tahap ini, semua coretan dilakukan dengan alat tulis dan alat gambar permanen.

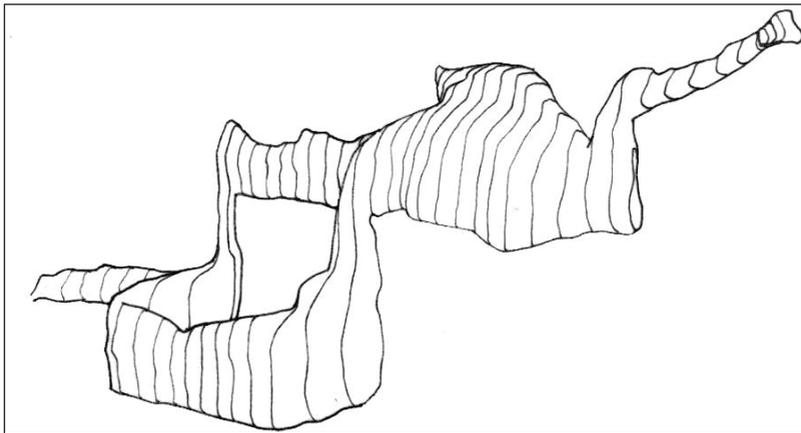
Ada berbagai cara penggambaran untuk menampilkan kesan tiga dimensi. Salah satunya adalah dengan mempertebal garis-garis *cross section* yang telah tergambar dengan pensil, namun hanya pada bagian yang berada di sisi depan. Kemudian menarik garis luar (*outline*), yang dalam hal ini bukan lagi garis atap dan lantai, batas terluar sisi depan lorong yang terlihat.



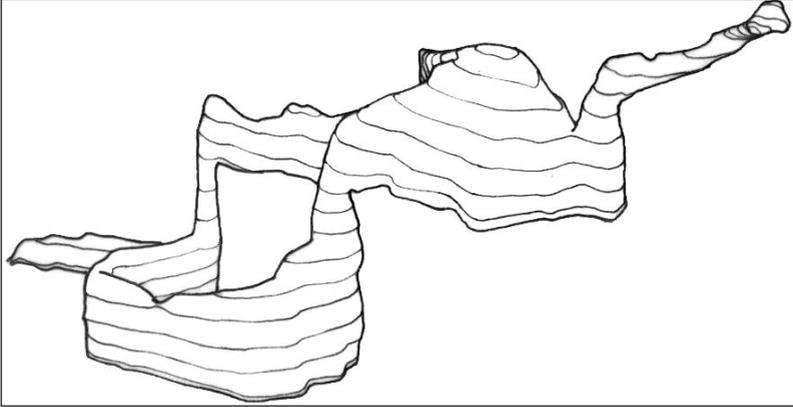
**Gambar 8.9** Menampilkan Kesan Tiga Dimensi dengan Menambahkan *Cross Section* di Sepanjang Lorong

Peta gua tiga dimensi juga dapat diselesaikan dengan teknik *contouring*. *Contour* atau kontur adalah suatu kurva tertutup yang menghubungkan titik-titik dengan nilai yang sama pada sumbu tertentu. Dalam pengertian yang lebih khusus, kontur dipergunakan dalam peta rupa Bumi untuk menunjukkan titik-titik yang memi-

liki ketinggian yang sama dari muka air laut. Dalam peta gua tiga dimensi, ketinggian juga dapat dipergunakan sebagai acuan untuk menarik garis kontur. Selain beda ketinggian yang akan menghasilkan kurva-kurva horizontal, garis kontur peta gua tiga dimensi juga dapat digambar secara vertikal. Arah kontur tidak terbatas pada arah utara-selatan dan timur-barat, namun dapat dipergunakan arah mana saja yang dapat memperjelas tampilan dan mempermudah penggambaran. Penggambaran kontur lebih bertujuan memberi kesan tiga dimensi pada lorong gua sehingga lebih banyak dipergunakan imajinasi daripada perhitungan, kecuali bila kontur tersebut memang ditujukan lebih untuk memberi informasi beda tinggi sebenarnya. Sebagai batas luar, pergunakan *outline* seperti pada penggambaran dengan teknik *cross section*.

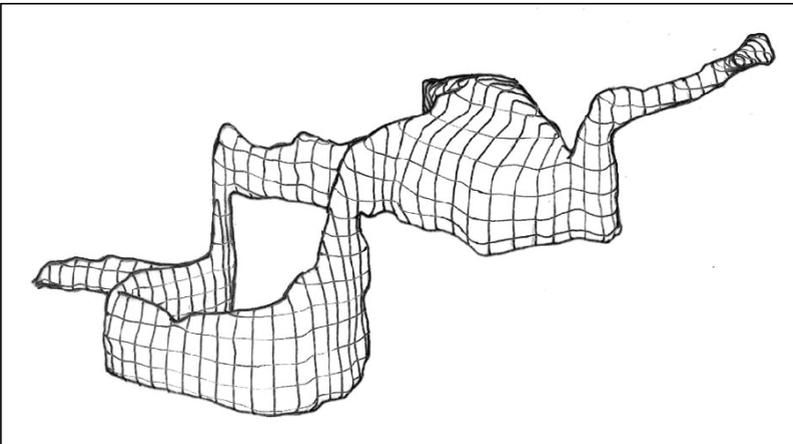


**Gambar 8.10** Menampilkan kesan tiga dimensi dengan teknik *contouring* tegak, masing-masing garis kontur memiliki kesamaan nilai terhadap sumbu x dengan interval kontur sebesar 2 meter.



**Gambar 8.11** Menampilkan kesan tiga dimensi dengan teknik *contouring* mendatar, dengan interval (jarak antar garis kontur/beda tinggi) sebesar 2 meter.

Teknik *wiremesh* adalah cara memberi kesan tiga dimensi dengan menggunakan kontur dari dua sumbu yang saling menyilang.



**Gambar 8.12** Menampilkan kesan tiga dimensi dengan menyilangkan garis-garis kontur berbeda sumbu.

Kesan tiga dimensi pada peta gua dapat diperkuat dengan cara menampilkan bayangan (*shading*) pada objek gambar. Berurusan dengan bayangan berarti berurusan dengan sesuatu yang gelap, meski

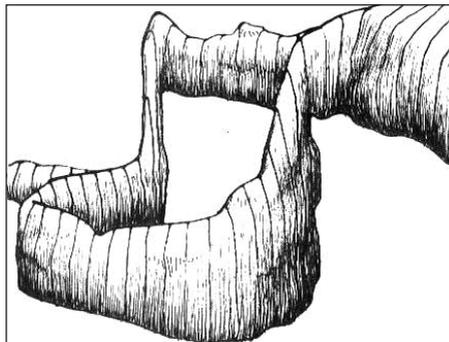
demikian, *shading* baru bisa dilakukan dengan benar apabila orang yang menggambar nya memiliki pemahaman yang mencukupi tentang terang. Tanpa terang tidak akan ada bayangan, itulah inti dari teknik *shading*. Bayangan baru dapat ditempatkan pada peta gua setelah arah datang cahaya ditentukan.

Setelah arah datang cahaya ditentukan, langkah berikutnya adalah menentukan intensitas terang pada bagian-bagian lorong gua. Imajinasi dan penalaran berperan penting di sini. Panduan logika untuk menampilkan bayangan adalah semakin frontal suatu bagian lorong terhadap sudut datang cahaya, ia akan terlihat semakin terang. Sebaliknya, semakin ia terlindung dari sumber cahaya maka ia akan terlihat semakin gelap.

*Shading* dilakukan bukan dengan menerangkan bagian yang terpapar oleh cahaya, sebaliknya cara ini diterapkan dengan mengisikan kegelapan di tempat-tempat yang seharusnya terlihat gelap. Kecuali pada lorong atau penampang yang memiliki sudut tegas, peralihan dari gelap ke terang dan sebaliknya tidak terjadi secara mendadak, melainkan secara berangsur-angsur. Untuk mewujudkannya ke dalam kertas gambar, penggambar harus menguasai teknik gradasi, yaitu merubah kepekatan secara gradual. Penempatan bagian gelap pada objek gambar dapat dilakukan dengan berbagai teknik penggambaran.

Tiga di antaranya adalah:

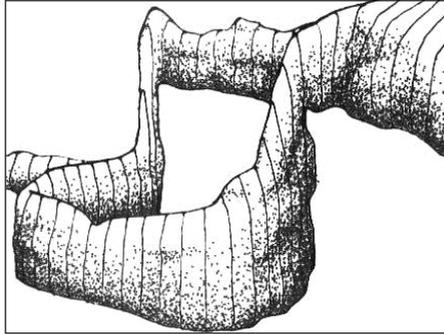
1) **Arsir**



**Gambar 8.13** Menampilkan Bayangan pada Peta Tiga Dimensi dengan Teknik Arsiran

Arsir berarti mengisi bidang gambar dengan garis-garis yang digoreskan secara teratur. Teknik arsir cukup dilakukan dengan alat gambar sederhana seperti *ballpoint*, *ballpoint gell*, atau *boxy*.

## 2) Pointilize

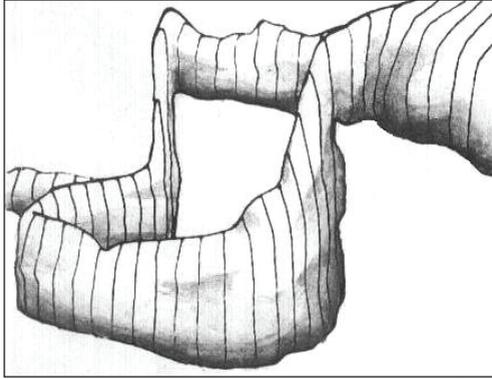


**Gambar 8.14** Menampilkan Bayangan pada Peta Tiga Dimensi dengan Teknik Pointilize

Teknik gambar *pointilize* dilakukan dengan membubuhkan titik-titik pada bagian dari objek gambar yang digelapkan. Untuk memberi kesan gelap, titik-titik dibuat sangat rapat. Semakin renggang titik-titik tersebut maka bagian lorong tersebut akan tampak semakin terang. Baik alat tulis biasa maupun alat gambar teknik dapat dipergunakan untuk melakukan teknik ini.

## 3) Aquarel

Bila *draughter* menginginkan hasil akhir yang realistis maka teknik *finishing* yang paling tepat adalah dengan teknik aquarel (sapuan basah) dengan bantuan kuas gambar dan cat berbasis air. Di antara ketiga teknik *finishing* gambar, teknik ini membutuhkan paling sedikit waktu pengerjaan, namun membutuhkan keterampilan dan kehati-hatian yang lebih tinggi.



**Gambar 8.15** Menampilkan Bayangan pada Peta Tiga Dimensi dengan Teknik Aquarel

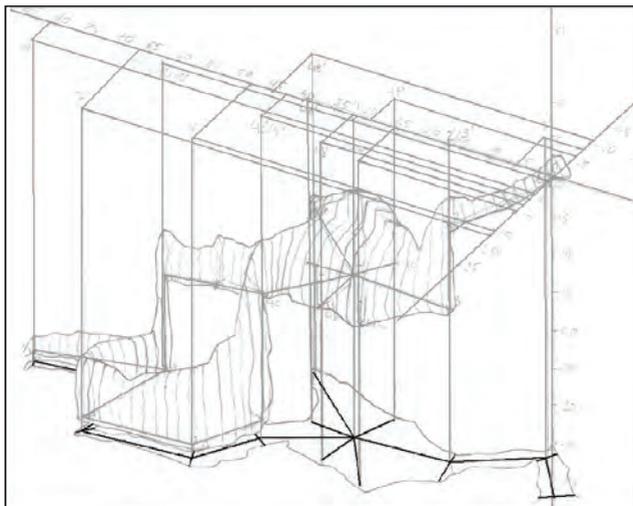
### 9) *Drop Shadow*

*Drop shadow* atau bayangan jatuh yang ditampilkan pada sebuah peta tiga dimensi bukan saja akan menambah kesan nyata pada peta tersebut, namun ia juga berguna untuk memperjelas posisi antar lorong gua pada gua yang memiliki banyak cabang atau pada suatu peta yang terdiri dari beberapa gua yang saling berdekatan. Untuk tujuan ini, *drop shadow* seharusnya digambar dengan arah datang cahaya tepat dari atas.

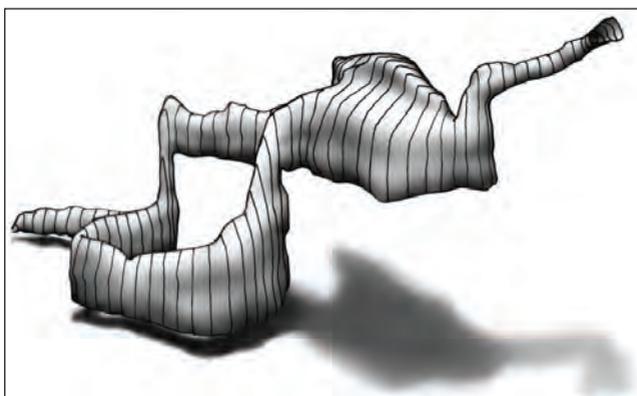
Bayangan jatuh digambar pada suatu bidang datar yang dianggap sebagai dasar ruang tiga dimensi. Bayangan ini seharusnya jatuh sesuai dengan arah dan dimensi objek yang membayangkannya. Untuk itu, harus disediakan suatu kerangka berupa *centerline* dan garis dinding kiri dan kanan yang telah ditarik hingga ke dasar ruang tiga dimensi, yaitu dengan nilai  $\Sigma h$  sama atau kurang dari  $\Sigma h$  terkecil. Bayangan jatuh juga harus dibatasi bentuknya oleh garis batas luar yang berupa sketsa peta tampak atas, yang digambar pada dasar ruang.

*Drop shadow* memiliki kepekatan tinggi serta batas tegas saat ia berada dekat dari objek yang membayangkannya. Kepekatan akan berkurang, dan batas menjadi kabur secara gradual namun menyebar lebih luas seiring dengan semakin jauh jaraknya dari objek.

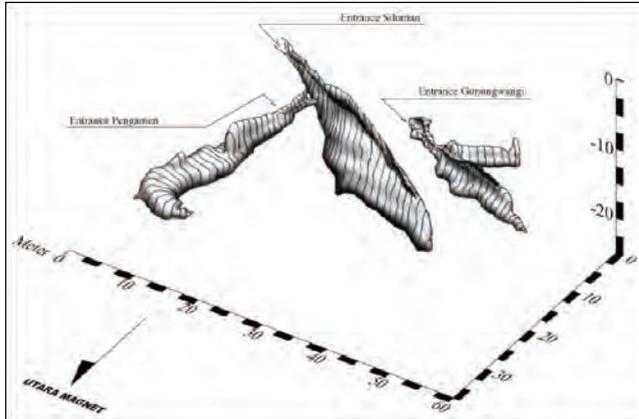
Ketiga teknik yang dipergunakan untuk menghasilkan kesan bayangan, yaitu *arsir*, *pointilize*, dan *aquarel* dapat dipergunakan untuk menampilkan *drop shadow*.



**Gambar 8.16** Kerangka dan Batas Tepi untuk Menggambar *Drop Shadow*

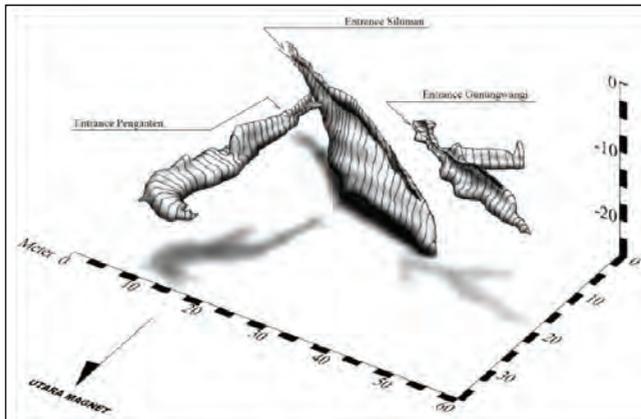


**Gambar 8.17** Peta Tiga Dimensi Gua Simulasi Lengkap dengan *Drop Shadow*



Sumber: Hidayati, R. (2006)

**Gambar 8.18** Peta Tiga Dimensi Gua Siluman, Penganten, Gunungwangi tanpa *Drop Shadow*



Sumber: Hidayati, R. (2006)

**Gambar 8.19** Peta Tiga Dimensi Gua Siluman, Penganten, Gunungwangi dengan *Drop Shadow*

Gambar 8.18 dan 8.19 adalah peta tiga dimensi satu kompleks perguaan yang terdiri dari tiga gua, yaitu gua Siluman, gua Penganten dan gua Gunungwangi, dengan arah pandang peta  $150^\circ$  terhadap arah utara magnet, dan ketinggian pandang  $-45^\circ$ . Pada gambar 8.18, tanpa bayangan jatuh atau *drop shadow*, gua Gunungwangi terlihat seakan-akan berada di sebelah barat daya gua Siluman. Pada gambar 8.19, setelah dilengkapi dengan *drop shadow*, terlihat bahwa sebenarnya gua Gunungwangi berada di barat laut gua Siluman. *Drop shadow* juga memperjelas perbedaan ketinggian antara satu gua dengan gua lainnya, dan antara lorong-lorong pada satu gua yang sama.

### 10. Kelengkapan Peta Tiga Dimensi

Peta gua tiga dimensi dilengkapi oleh seperangkat keterangan verbal yang menerangkan nama dan lokasi gua, nama *surveyor*, tanggal dan *grade* survei, serta lembaga yang mengeluarkan *grade* tersebut. Selain keterangan verbal, kelengkapan peta yang lain adalah skala, penunjuk arah utara, dan penunjuk *entrance*.

Seperti telah kita ketahui, peta tiga dimensi dibuat dengan mempergunakan ketiga sumbu sekaligus. Distorsi perspektif menyebabkan satuan panjang yang sama dapat tampak berbeda pada sumbu yang berbeda. Dalam tampilan peta gua tiga dimensi, hal ini harus dinyatakan dengan mencantumkan skala yang sesuai bagi masing-masing sumbu. Artinya, skala pada peta gua tiga dimensi baru dapat dikatakan lengkap apabila ia memiliki tiga skala. Garis-garis graduasi serta angka-angka yang ada pada skala harus diposisikan sedemikian rupa agar dapat memperkuat kesan ruang tiga dimensi.

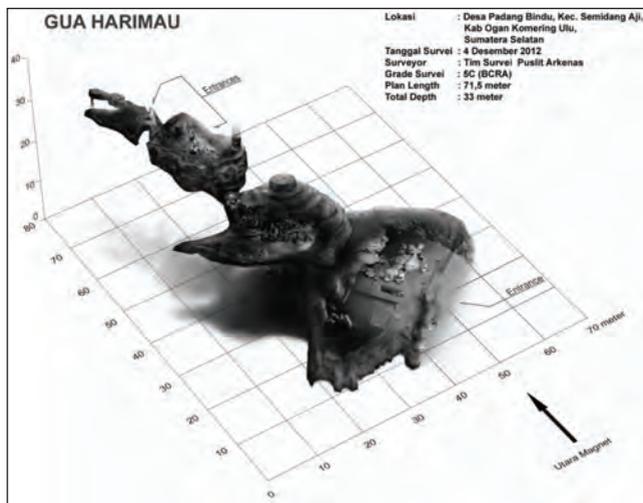
Penunjuk arah utara juga ditempatkan sedemikian rupa sehingga ia juga dapat membantu menegaskan kesan tiga dimensi.



**Gambar 8.20** Peta Tiga Dimensi Gua Simulasi dengan Kelengkapan Peta

Teknik penggambaran peta gua tiga dimensi dapat dikembangkan lebih jauh lagi, misalnya dengan mengombinasikan dengan teknik fotografi sehingga peta yang dihasilkan tampak semakin realistis.

Peta tiga dimensi gua Harimau pada Gambar 8.21 dibuat dengan tujuan menampilkan arah dan dimensi lorong gua, sekaligus memperlihatkan situasi di dalam lorong dan *chamber*. Pada dasar *chamber* 1 terlihat kotak-kotak ekskavasi yang telah digali hingga tanggal 4 Desember 2012. Dinding gua ditampilkan terkupas secara gradual sehingga sebagian dari interior gua dapat terlihat. Sebagian tekstur dan warna dinding, *boulder*, dan lantai diperoleh dengan bantuan teknik forografi. Penggambaran peta seluruhnya dilakukan dengan bantuan komputer, meskipun pada prinsipnya, teknik yang dipergunakan tidak berbeda dengan penggambaran peta tiga dimensi secara manual.



**Gambar 8.21** Peta Tiga Dimensi Gua Harimau

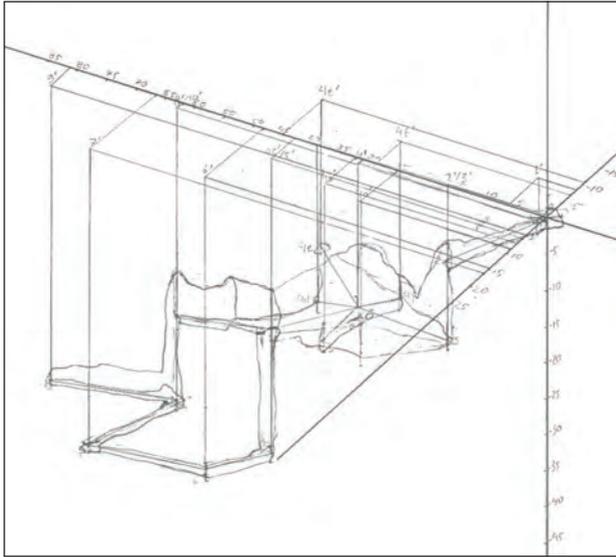
## B. *Cutaway Block Diagram*

*Cutaway Block diagram* adalah bentuk lain dari peta tiga dimensi yang alih-alih menampilkan bentuk luar lorong, ia mempertunjukkan bagian dalam lorong. Cara untuk memperlihatkan bagian dalam lorong gua adalah dengan memotong dan membuang bagian yang menutupi.

*Cutaway block diagram* dibuat dengan proses yang sama dengan penggambaran peta tiga dimensi hingga tahap menarik garis tinggi atap. Setelah itu, tahap selanjutnya adalah:

1. Menarik garis jarak dinding. Pada umumnya lorong yang digambar pada *cutaway block diagram* hanya memiliki salah satu sisi dinding. Oleh karena itu, kecuali untuk keperluan tertentu, garis jarak dinding hanya ditarik pada satu sisi.
2. Menggambar *cross section* pada tempatnya. Cukup gambarkan bagian *cross section* pada sisi yang nantinya akan terlihat.

3. Tarik garis atap dan lantai sesuai dengan sketsa tampak samping.
4. Tarik garis dinding sesuai dengan sketsa tampak atas. Biasanya hanya satu sisi dinding yang akan terpakai.

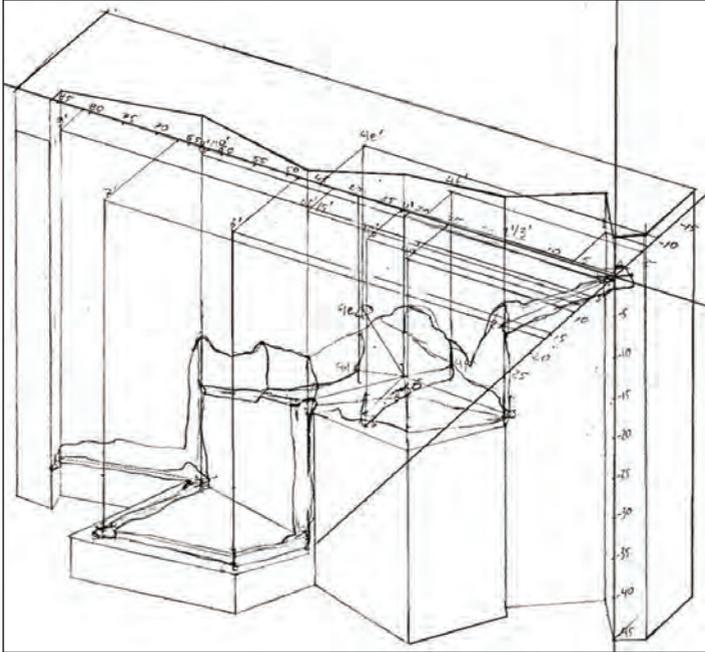


**Gambar 8.22** Kerangka Lorong dengan Satu Sisi Dinding Dibuang

Hingga tahap ini kerangka lorong sudah terbentuk. Tahap berikutnya adalah membuat batas sisi terpotong *block diagram*. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

1. Tarik garis-garis tegak lurus melalui semua titik stasiun. Tiap garis harus mencapai kedalaman yang sama, yaitu sedikit lebih dalam dari  $\Sigma h$  stasiun terdalam, dan mencapai ketinggian tertentu, yaitu lebih tinggi dari  $\Sigma h$  stasiun tertinggi ditambah tinggi atap stasiun tersebut. Untuk *block diagram* yang disatukan dengan peta tiga dimensi permukaan, panjang garis vertikal ini akan ditentukan dengan cara berbeda dan akan kita bahas pada bagian lain.

2. Hubungkan ujung-ujung garis tegak lurus yang baru saja dibuat dengan garis-garis lurus. Lakukan ini baik pada ujung-ujung bawah maupun pada ujung-ujung atas.

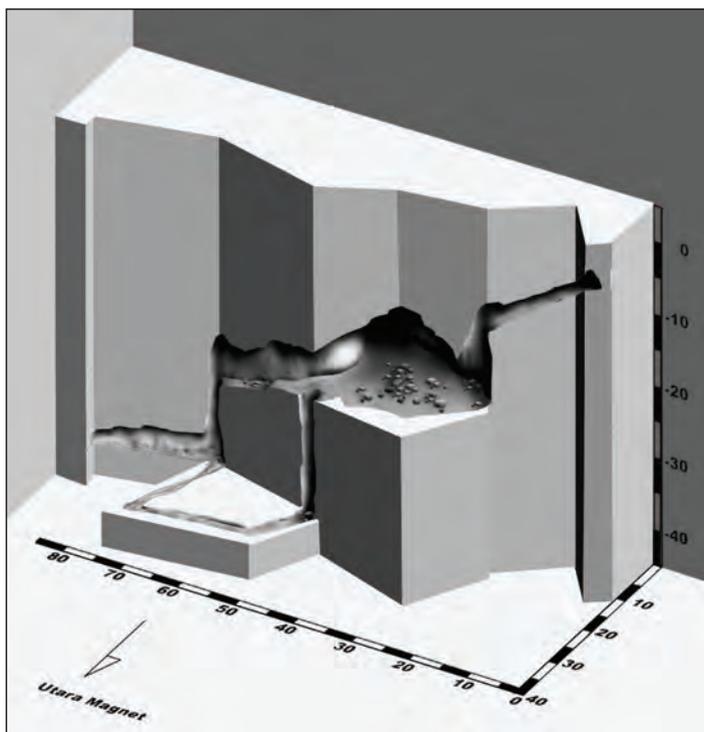


**Gambar 8.23** Batas Sisi Terpotong Suatu *Block Diagram*

*Block diagram* di atas memiliki batas area sedikit melebihi batas terluar lorong gua. Ini diperlukan agar ujung-ujung lorong (*entrance* dan CUE) terlihat dengan jelas. Untuk mendapatkan pandangan yang lebih leluasa, lorong antara stasiun 5 hingga stasiun 8 dipotong secara mendatar.

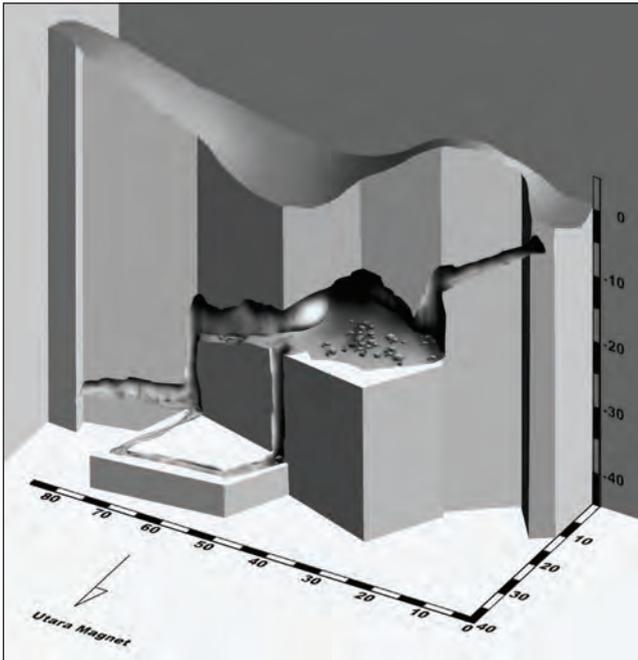
Satu sisi dari *block diagram* telah ditentukan batas-batas pemotongannya. Batas sisi-sisi yang lain digambar dengan memanfaatkan batas-batas yang sudah ada dan diselesaikan dengan menarik garis-garis yang sejajar dengan sumbu-sumbu x, y, dan z ( $\Sigma h$ ).

*Block diagram* biasanya dipotong secara vertikal, namun ia juga dapat dipotong mendatar. Pemotongan horizontal dilakukan bila yang ingin ditampilkan adalah lantai gua. Cara pembuatan *cutaway block diagram* dengan potongan mendatar hampir sama dengan cara pembuatan potongan tegak, bedanya adalah separuh bagian lorong yang tidak perlu digambar adalah bagian atas. *Cross section* digambar tidak utuh, melainkan hanya bagian bawahnya. Garis atap tidak perlu digambar.



**Gambar 8.24** *Block Diagram* Gua Simulasi Dipotong Tegak dengan Variasi Potongan Mendatar

*Cutaway block diagram* dapat dipergunakan untuk menunjukkan bagian dalam lorong, sekaligus permukaan tanah di atas lorong. Untuk tujuan ini, penggambar perlu mendapatkan data gua dan data permukaan. Data permukaan dapat berupa peta rupa bumi (peta topografi). Semakin kecil interval kontur peta rupa bumi maka akan semakin detail gambar permukaan. Bila tidak ada data berupa peta rupa bumi dengan interval kontur kecil, data permukaan harus diperoleh dengan melakukan pemetaan permukaan.



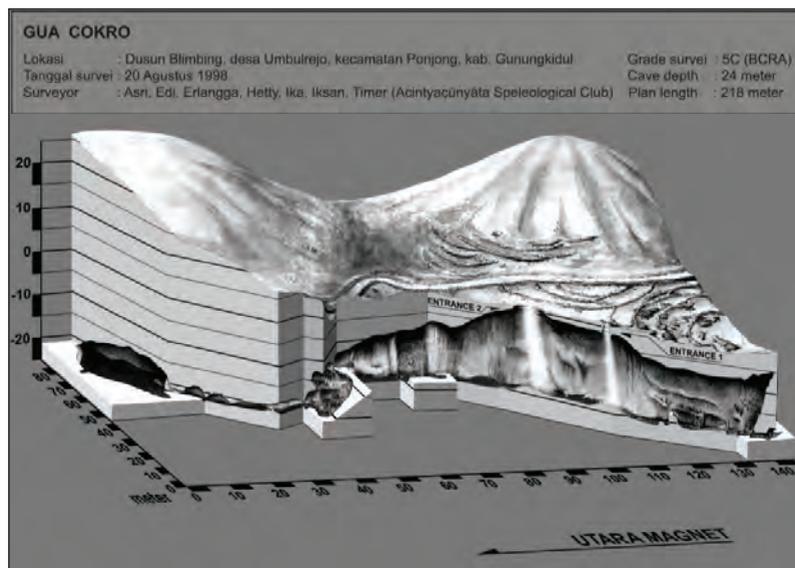
**Gambar 8.25** *Cutaway Block Diagram* Gua Simulasi yang Menggabungkan Bentuk Tiga Dimensi Lorong dan Permukaan

Menggambar *cutaway block diagram* berarti berusaha menampilkan bagian dalam lorong gua secara mendetail dan realistis. Usaha ini harus didukung oleh dokumentasi yang memadai. Dokumentasi berupa sketsa haruslah lebih lengkap daripada yang dibutuhkan untuk

menggambar peta gua biasa. Selain menggambar *outline* tampak atas, tampak samping dan penampang lorong, serta simbol-simbol ornamen dan situasi gua, *descriptor* juga perlu menggambar bentuk-bentukan yang ditemui di dalam gua secara mendetail. Pekerjaan *descriptor* akan sangat terbantu bila tim survei mengikutsertakan seseorang yang bertugas mengabadikan lorong gua beserta detailnya dalam bentuk foto. Agar apa yang dilakukannya dapat benar-benar membantu dan bukannya hanya menambah sakit kepala orang yang nantinya bertugas menggambar peta, fotografer harus mencatat posisi dan arah setiap bidikan yang ia ambil. Pencatatan foto dilakukan semisal dengan cara di bawah ini.

Frame 18: posisi stasiun 9, arah bidik stasiun 10.

Frame 19: posisi stasiun 9-10, arah bidik dinding kanan.

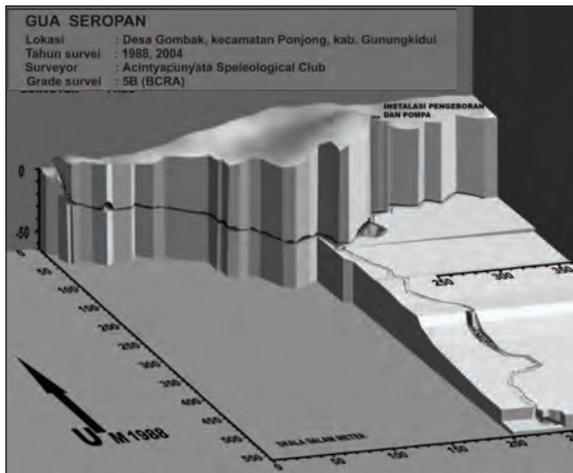


Gambar 8.26 Cutaway Block Diagram Gua Cokro

*Cutaway block diagram* gua Cokro dibuat dengan menggabungkan survei bawah permukaan dan survei permukaan. Survei bawah permukaan dilakukan dengan *grade 5C* (BCRA). Membuat sebuah *cutaway block diagram* gua Cokro sudah direncanakan sejak sebelum kegiatan survei dilaksanakan sehingga pada saat pemetaan, penggambaran sketsa dilakukan dengan ketelitian yang lebih tinggi dari biasanya. Survei permukaan dilakukan beberapa hari setelah pemetaan bawah tanah. Jalur yang ditempuh survei permukaan mengikuti *centerline* survei gua yang ada di bawahnya, dan menggunakan titik ikat yang sama. Penggambaran sketsa detail juga dilakukan selama survei di luar gua. Dalam proses penggambaran, detail lorong dan permukaan dapat tergambar berkat sketsa yang teliti dan dokumentasi berupa foto.

Besar sudut sumbu  $x$ ,  $y$ , dan  $h$  ( $z$ ) serta perbandingan skala pada ketiga sumbu pada gambar 8.26 ditentukan tanpa perhitungan, melainkan hanya berdasar perkiraan.

Garis-garis mendatar pada sisi terpotong *block diagram* gua Cokro memberi informasi ketinggian permukaan dan kedalaman lorong terhadap mulut gua.



**Gambar 8.27** *Cutaway Block Diagram* Gua Seropan

Gambar lorong gua Seropan dibuat berdasar survei gua oleh Acintyaçûnyatâ Speleological Club (ASC). Morfologi permukaan digambar berdasar peta topografi setempat yang disurvei dan digambar oleh Hening S. dengan interval kontur sebesar 1 meter. Gambar 8.26 dan 8.27 digambar secara manual dan diselesaikan dengan program Adobe Photoshop.



Buku ini tidak diperjualbelikan.

# 9

## PENGGABUNGAN DATA PEMETAAN GUA

Semenjak awal sejarah pemetaan gua, telah banyak peta gua yang dihasilkan dari proses penggabungan data dari beberapa hasil survei. Semenjak itu pula telah banyak tercatat usaha keras yang dilakukan oleh berbagai tim survei untuk meneruskan pengukuran yang telah dilakukan sebelumnya. Juga kerap dijumpai usaha untuk menggabungkan suatu lorong gua dengan lorong lainnya. Motivasi utama yang mendorong mereka untuk melakukan hal seperti ini adalah demi mencetak prestasi yang dinilai dari besaran angka total panjang atau kedalaman lorong gua. Apabila beruntung, lorong yang mereka petakan akan meliputi atau tergabung dengan suatu sistem yang lebih besar.

Boleh jadi motivasi para *surveyor* gua dalam melakukan hal-hal seperti di atas adalah untuk mencetak prestasi yang akan menjadi kebanggaan bagi diri mereka sendiri, bagi kelompoknya, atau terkadang negaranya, namun seiring dengan setiap hal baru yang mereka capai, akan bertambah juga “nilai” gua atau sistem gua yang mereka petakan. Semakin lengkap peta suatu gua atau sistem gua maka akan semakin berharga peta tersebut, bukan hanya di mata para penelusur gua, namun juga bagi kepentingan ilmu dan pengetahuan.

Selain dalam konteks bawah permukaan, data pemetaan gua juga dapat digabungkan dengan data survei permukaan. Kadang survei

permukaan diperlukan untuk menentukan posisi mulut-mulut gua yang letaknya saling berdekatan. Posisi mulut-mulut gua yang tersebar pada suatu lokasi, yang disebut sebagai kompleks perguaan, bisa memiliki lorong-lorong yang tidak saling berhubungan. Namun dengan pemetaan intensif, tidak tertutup kemungkinan untuk ditemukannya bagian-bagian lorong yang terhubung sehingga menjadikannya sebagai suatu sistem perguaan yang lebih kompleks.

Sistem perguaan didefinisikan sebagai gua dengan bentuk yang lebih rumit. Suatu gua dapat disebut sebagai sistem perguaan apabila ia memiliki lorong bercabang dan lorong yang saling memotong, apabila ia berupa *maze cave* atau gua dengan sangat banyak lorong yang saling menyilang, atau gua yang memiliki kombinasi lorong vertikal dan horizontal. (Bögli, 1980).

## A. Titik Ikat

Ada banyak hal, baik yang sudah dapat diduga maupun yang sama sekali di luar perkiraan, dapat menyebabkan kegiatan pemetaan gua harus dihentikan sebelum seluruh lorong gua berhasil dipetakan. Belajar dari berbagai pengalaman sebelumnya, setiap tim survei gua yang harus mengakhiri kegiatan pemetaan sebelum seluruh lorong dapat dipetakan, sebaiknya membiasakan untuk menandai stasiun pengukuran terakhir. Harapannya adalah bahwa pada kesempatan lain pemetaan dapat dilanjutkan, entah oleh tim itu sendiri, maupun oleh tim lain. Tidak tertutup kemungkinan, tanda tersebut ditemukan oleh tim lain yang melakukan pemetaan dari mulut gua yang berbeda. Stasiun terakhir dan stasiun pada percabangan lorong yang belum terpetakan, adalah titik-titik yang berfungsi sebagai pengikat antara pengukuran saat ini dengan pengukuran berikutnya, karenanya, mereka diistilahkan sebagai titik ikat.

Pemberian tanda pada titik ikat pemetaan gua dapat dilakukan secara fleksibel sesuai dengan kondisi dan situasi lorong dan jenis pengukuran. Usahakan untuk melakukan penandaan dengan semi-natural mungkin menggunakan bahan-bahan asing yang dibawa dari luar gua, misalnya dengan menumpuk bebatuan yang dapat diperoleh

di dalam lorong, atau dengan memanfaatkan ornamen atau bentuk khas yang berada di lantai atau dinding gua yang mudah dikenali.

Hal-hal yang perlu diperhatikan oleh tim survei dalam menentukan titik ikat adalah:

### **1. Spesifik**

Objek yang dipergunakan sebagai titik ikat harus dapat dibedakan dari objek-objek lain yang ada di sekitarnya. Titik ikat bermakna harafiah, yaitu berupa titik. Umpamanya objek yang dijadikan sebagai titik ikat adalah sebuah bongkahan batu berukuran besar maka yang dimaksud sebagai titik ikat bukanlah seluruh bongkahan tersebut, melainkan hanya satu bagian dari bongkahan itu. Sebagian *surveyor* gua dari Amerika dan Eropa menggunakan titik ikat yang lebih spesifik dengan tanda berupa lubang bor tangan atau jelaga lampu karbit. Pada survei dengan *grade X*, titik ikat harus benar-benar berupa titik. *Marker* yang dipergunakan pada survei dengan *grade X* biasanya berupa pasak atau paku logam yang diberi tanda titik atau tanda silang di bagian atasnya.

### **2. Mudah ditemukan**

Posisi titik ikat sebaiknya berada pada tempat yang mudah ditemukan. Apabila dianggap perlu, tim survei dapat memasang tanda tertentu pada titik ikat. Dokumentasi visual berupa foto akan sangat membantu tim survei berikutnya menemukan titik ikat.

### **3. Bertahan Lama**

Titik ikat yang ditinggalkan oleh tim survei, akan menjadi titik awal bagi pemetaan berikutnya, yang dapat berarti hari berikutnya, minggu berikutnya, bulan berikutnya, atau bertahun-tahun berikutnya. Oleh karena itu, suatu titik ikat sebaiknya dapat bertahan dalam jangka waktu lama. Bagi tim survei yang hendak menggunakan penanda alam, misalnya tumpukan batu atau gundukan tanah liat, harus memastikan agar posisi titik ikat aman dari gangguan alami. Banjir atau runtuh batu dari tempat yang lebih tinggi dapat membuat tanda seperti ini tidak dapat lagi dikenali, atau bahkan hilang sama sekali.

Khusus untuk survei nonmagnetis, penggunaan dua titik ikat adalah suatu keharusan, karena tanpa menggunakan kompas,

penentuan arah awal bagi rangkaian survei berikutnya hanya dapat dilakukan dengan bantuan dua titik ikat dari rangkaian poligon survei sebelumnya.

Skenario yang lebih buruk dalam pekerjaan menyatukan dua atau lebih hasil survei gua adalah tidak adanya titik ikat, baik secara fisik di dalam lorong gua, maupun berupa simbol dalam peta lama. Menghadapi kasus seperti ini, yang dapat dilakukan hanyalah menduga lokasi pengikatan yang dalam hal ini bukan lagi berupa sebuah titik, melainkan suatu lokasi tertentu. Untuk mendapatkan lokasi yang akan dijadikan sebagai pengikat survei, tim survei perlu menggunakan peta yang sudah ada. Dalam kejadian seperti ini maka lokasi ikat tidak harus berada di tempat terakhir yang tergambar dalam peta, pemilihan posisi ikat lebih didasarkan pada kemudahan identifikasi lokasi tersebut meski untuk itu tim survei harus mundur beberapa puluh atau beberapa ratus meter dari lorong terakhir yang telah dipetakan.

Tempat yang mudah diidentifikasi sebagai lokasi ikat adalah bibir dan dasar lorong vertikal serta percabangan lorong. Namun bila tempat seperti itu tidak ditemui, atau berada terlalu jauh di belakang maka bentuk lorong yang lain seperti perubahan arah dan ukuran lorong yang cukup mencolok dapat juga dipergunakan. Selain itu keberadaan sungai dan bentuk-bentuk serta ornamen yang keberadaannya tertera dengan jelas dalam peta juga dapat dipakai sebagai acuan bagi pengikatan survei.

## **B. Sistem Koordinat**

Hasil pengukuran dari suatu survei dapat ditambahkan ke dalam peta gua atau sistem gua yang telah ada apabila sistem koordinatnya telah disamakan dan diikatkan pada titik ikat yang sama. Langkah pertama penyesuaian koordinat adalah dengan menentukan selisih koordinat titik ikat. Misal koordinat stasiun yang berfungsi sebagai titik ikat adalah  $x: 348,552$ ;  $y: 731,860$ ;  $z: -18,841$  maka survei selanjutnya juga dilanjutkan dari koordinat tersebut. Namun apabila tim survei berikutnya belum memiliki bekal nilai koordinat titik ikat maka mereka dapat memulainya dengan sistem koordinatnya sendiri,

misalnya dengan nilai  $x: 0,000$ ;  $y: 0,000$ ;  $z: 0,000$ . Dari kedua sistem koordinat tersebut terdapat selisih sebesar:

$$x: 0,000-348,552 = -348,552$$

$$y: 0,000-731,860 = -731,860$$

$$z: 0,000-(-18,841) = 18,841$$

Guna menyamakan kedua sistem koordinat, di kemudian hari, apabila tim kedua dapat memperoleh nilai koordinat titik ikat dari tim pertama, seluruh nilai koordinat pada jalur pengukuran kedua harus ditambah dengan selisih nilai di atas.

Pada kasus lain, misalnya tim kedua melakukan pengukuran melalui mulut gua yang berbeda hingga tiba di titik ikat yang dibuat oleh tim pertama dengan hasil koordinat  $x: -141,094$ ;  $y: -627,593$ ; dan  $z: 12,107$  maka cara yang sama harus dilakukan untuk menyamakan sistem koordinat dua jalur pengukuran. Selisih koordinat tersebut adalah:

$$x: 348,552-(-141,094) = 207,458$$

$$y: 731,860-(-627,593) = 1359,453$$

$$z: -18,841-12,107 = -30,948$$

Seluruh koordinat yang diperoleh dari hasil pengukuran tim kedua harus ditambahkan dengan selisih di atas agar sistem koordinatnya dapat menyatu dengan sistem yang dipergunakan oleh tim sebelumnya.

### C. Pengolahan Data

Pada tahap pengolahan data, hasil-hasil pengukuran pada lorong-lorong gua yang bergabung menjadi satu sistem, diperlakukan sebagai satu sistem. Ada dua cara yang dapat dipakai untuk menyamakan sistem koordinat dengan bantuan titik ikat. Cara pertama adalah dengan membuat sumbu  $x$ ,  $y$ , dan  $z$  untuk masing-masing gua. Titik 0 masing-masing gua harus ditempatkan sedemikian rupa agar titik-titik ikat bertemu pada satu titik. Koordinat titik 0 gua ke dua dan gua-gua berikutnya ditentukan berdasar  $\Sigma x$ ,  $\Sigma y$ , dan  $\Sigma h$  titik ikat gua pertama dikurangi dengan  $\Sigma x$ ,  $\Sigma y$ , dan  $\Sigma h$  titik ikat gua berikutnya.

Dalam penggambaran pada lembar *milimeter block*, cara ini dapat menimbulkan kesulitan, karena garis-garis sumbu masing-masing gua sangat mungkin tidak akan tersambung dengan tepat.

Cara kedua adalah dengan menyatukan semua angka dari seluruh gua yang dipetakan, artinya semua lorong gua dihitung sebagai satu kesatuan dengan satu perangkat sumbu  $x$ ,  $y$ , dan  $z$  yang sama. Agar terjadi kesesuaian nilai-nilai  $\Sigma x$ ,  $\Sigma y$ , dan  $\Sigma h$ , dipergunakan angka  $\Sigma x$ ,  $\Sigma y$ , dan  $\Sigma h$  dari salah satu gua sebagai acuannya, sedangkan angka-angka pada gua berikutnya menyesuaikan dengan angka-angka gua pertama. Penyesuaian dilakukan dengan menambahkan  $\Sigma x$ ,  $\Sigma y$ , dan  $\Sigma h$  seluruh stasiun gua berikutnya dengan selisih antara  $\Sigma x$ ,  $\Sigma y$ , dan  $\Sigma h$  titik ikat gua pertama dengan  $\Sigma x$ ,  $\Sigma y$ , dan  $\Sigma h$  titik ikat gua yang disambungkan dengannya.

Data yang telah dikumpulkan pada saat survei permukaan diolah dengan cara yang sama dengan yang dilakukan terhadap data bawah permukaan. Tujuannya adalah menentukan posisi satu mulut gua terhadap mulut gua lainnya. Hasil perhitungan yang dibutuhkan adalah arah, jarak, dan beda tinggi antarmulut gua, yang cukup diwakili dengan  $\Sigma x$ ,  $\Sigma y$ , dan  $\Sigma h$  stasiun-stasiun bersangkutan.

Antara survei pertama dengan survei-survei berikutnya mungkin terdapat selisih waktu dalam hitungan bulan, atau bahkan tahun. Perbedaan waktu seperti ini diikuti oleh perbedaan deklinasi. Ini berarti pada survei pertama, arah utara yang ditunjuk oleh kompas berbeda dengan arah utara magnetis pada survei-survei berikutnya. Oleh sebab itu, untuk menggambar bagian-bagian sistem gua yang disurvei pada tahun yang berbeda, arah utara masing-masing bagian perlu disamakan dengan menghitung selisih deklinasi antara tahun-tahun tersebut.

#### D. Penggambaran

Peta beberapa gua yang lorong-lorongnya saling berhubungan digambar dengan cara yang sama seperti ketika menggambar peta gua dengan satu lorong tunggal. Cara ini dapat dilakukan berkat angka titik ikat yang telah disamakan pada tahap penghitungan data.

Peta beberapa gua yang lorongnya tidak dapat disatukan, tetap dapat digambar sesuai dengan posisi sebenarnya dengan menggunakan angka yang diperoleh melalui survei permukaan. Cara penghitungan data dan penggambaran bagi sistem gua juga dapat diterapkan untuk membuat peta kompleks gua.

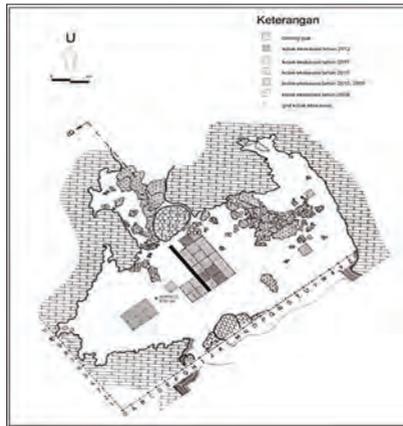
Berikut ini adalah contoh penggabungan dua data pemetaan yang dilakukan pada waktu yang berbeda di satu gua yang sama.

Gua Harimau berada di kecamatan Padang Bindu, kabupaten Ogan Komering Ulu, Sumatera Selatan. Gua yang memiliki kekayaan budaya berupa sisa-sisa peninggalan peradaban prasejarah tersebut telah dipetakan dengan sangat teliti oleh tim survei Pusat Penelitian dan Pengembangan Arkeologi Nasional (Puslit Arkenas) pada awal tahun 2012. Meski pemetaan hanya dilakukan pada *chamber* pertama, namun seluruh lekuk dinding dan posisi bebatuan terpetakan dengan sangat cermat, begitu juga dengan posisi kotak-kotak ekskavasi. Pemetaan ini dilakukan dengan menggunakan alat ukur teodolit sehingga dapat digolongkan sebagai survei gua dengan *grade X BCRA*. Pada akhir tahun 2012, dilakukan pemetaan lanjutan untuk melengkapi peta gua Harimau. Pemetaan kedua ini dilakukan dengan teknik serta peralatan yang hanya dapat memenuhi persyaratan untuk mencapai *grade 5 BCRA*.

Ada hal penting yang harus dilakukan agar penggabungan dua hasil survei dapat menghasilkan peta yang akurat, yaitu menentukan titik ikat. Menentukan titik ikat di gua ini, hampir bukan merupakan masalah. Pengukuran pertama menyediakan banyak sekali pilihan titik ikat karena seluruh tepian lantai gua dan bebatuan terpetakan dengan sangat teliti, namun selain itu terdapat fitur lain bahkan lebih jelas, yaitu sudut-sudut kotak ekskavasi. Bahkan kotak-kotak ekskavasi ini dibuat berdasar sistem koordinat tertentu yang berlaku bagi seluruh *chamber*. Sumbu x terdiri dari urutan alfabet A hingga Z, sedangkan sumbu y terdiri dari deretan angka dari 0 hingga 11. Titik ikat yang dipergunakan adalah salah satu sudut kotak ekskavasi yang berada pada koordinat N,5.

Dengan ditentukannya posisi titik ikat, sistem koordinat antara dua pengukuran sudah dapat disatukan. Meski demikian, tim survei kedua masih melakukan pengukuran dari titik ikat pertama ke titik ikat kedua, tujuannya adalah untuk memperoleh bacaan azimut dan jarak untuk melakukan verifikasi serta *cross check* dua hasil pengukuran. Pada *layout* peta lama, titik ikat kedua berada pada azimut  $322^\circ$  dari titik pertama, sedangkan pada pengukuran kedua, azimut antara kedua titik ikat adalah  $323^\circ$  dengan demikian maka antara pengukuran pertama dan pengukuran kedua terdapat selisih azimut sebesar  $1^\circ$ .

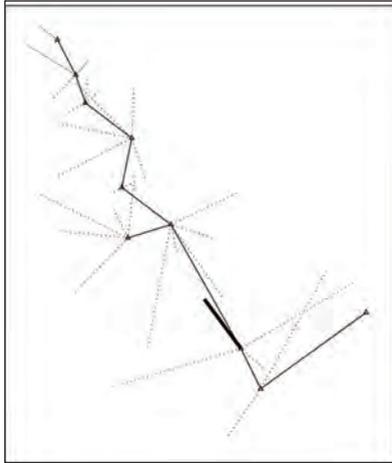
Selisih sebesar  $1^\circ$  ini dapat disebabkan oleh kesalahan pembacaan kompas pada survei pertama maupun survei kedua, namun kemungkinan terbesar adalah pada kedua-duanya. Meskipun pengukuran pertama dilakukan dengan *grade X*, atau secara nonmagnetis, namun tanpa adanya referensi geodetic, azimut awal bagi survei tersebut tetap diperoleh melalui pembacaan kompas. Apabila kedua survei melakukan kesalahan, atau melakukan pembulatan sebesar  $0,5^\circ$  ke arah yang saling berlawanan maka masuk akal apabila pada akhirnya terdapat selisih pengukuran sebesar  $1^\circ$ .



Keterangan: Garis tebal adalah posisi tepi kotak ekskavasi yang diukur sebagai pengikat posisi dan arah

Sumber: Puslit Arkenas (2012)

**Gambar 9.1** Peta Gua Harimau Produksi Puslit Arkenas

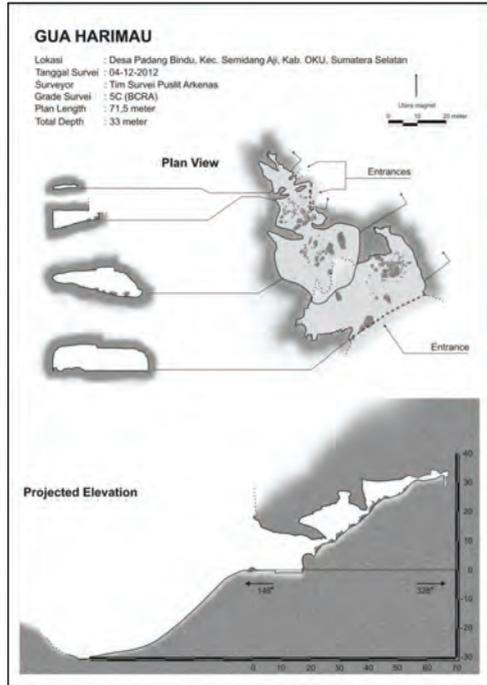


Keterangan: *Centerline* berupa garis-garis tegas menghubungkan titik-titik stasiun yang disimbolkan dengan segitiga. Garis putus-putus adalah pengukuran dari stasiun ke dinding dan atap gua. Garis tebal adalah garis pengikat dengan peta lama

**Gambar 9.2** Jalur Survei 2012 dengan Grade 5C



**Gambar 9.3** Peta Lama Gua Harimau Setelah Ditampilkan Pada Jalur Survei Baru



Keterangan: Peta dengan sayatan morfologi permukaan yang terbentang hingga ke lembah yang berjarak puluhan meter di tenggara mulut gua. Pada dasar lembah terdapat aliran sungai Ayakamanbasah. Peta di atas dibuat untuk kepentingan arkeologi sehingga konteks lingkungan di luar gua, khususnya posisi sungai, menjadi penting untuk ditampilkan

**Gambar 9.4** Peta gua Harimau yang dihasilkan dari penggabungan peta lama dan pengukuran baru

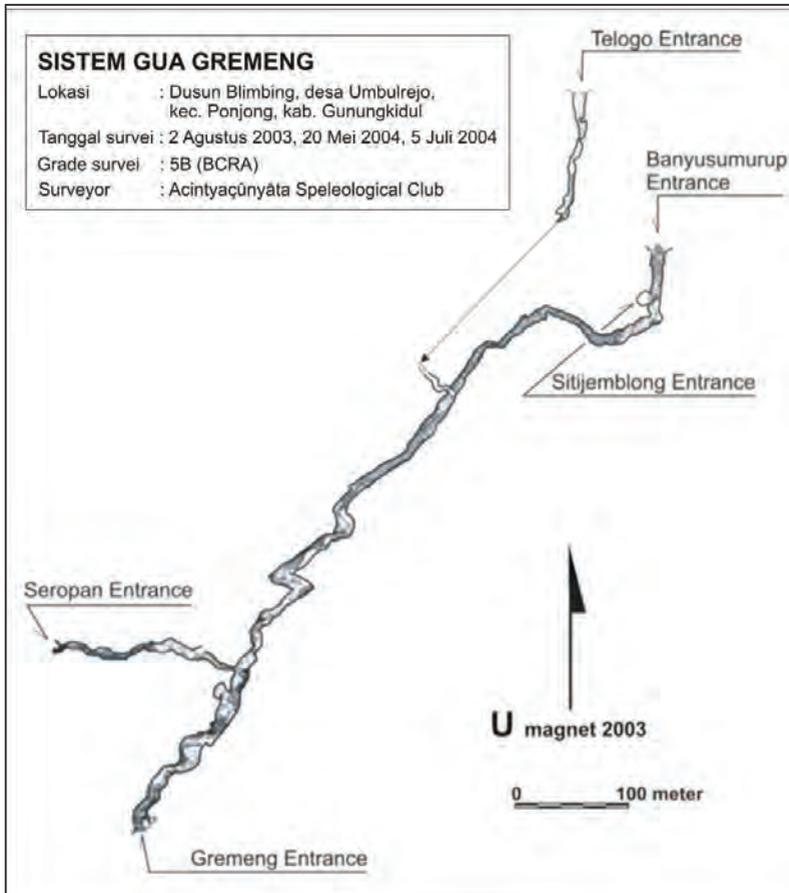
Cara penggabungan dua survei seperti yang diuraikan di atas tidaklah mencukupi apabila yang hendak digabung adalah dua pengukuran dengan ketelitian tinggi. Untuk pengukuran dengan *grade X*, akan diperlukan titik-titik ikat yang lebih spesifik daripada sekadar sudut lubang galian. Titik-titik ikat untuk keperluan ini harus dapat secara tepat ditentukan posisinya hingga ke satuan milimeter, sedangkan referensi sudut azimut ditentukan hingga satuan detik.

Untuk keperluan seperti inilah dipergunakan *marker* sebagai penanda posisi tepat *fixed station*. Selain harus dapat menandai posisi stasiun secara tepat dan mudah dilihat, *marker* juga harus terpasang secara teguh agar posisinya tidak mudah berubah.

## E. Penggabungan Data Survei Sistem Gua

Cara untuk menggabungkan data gua Harimau seperti contoh di atas dapat dilakukan untuk menggabungkan data dari beberapa pengukuran pada suatu lorong tunggal yang cukup panjang, atau pada suatu sistem gua yang tidak begitu rumit. Pada sistem gua yang lebih kompleks, akuisisi dan penggabungan data sebaiknya dilakukan dengan mempertimbangkan hirarki poligon. Untuk menggabungkan data dari beberapa poligon yang berbeda peringkat, yang harus dilakukan terlebih dahulu adalah membereskan penghitungan dan koreksi poligon utama sehingga stasiun-stasiun pada poligon utama telah memiliki angka-angka koordinat yang tetap. Baru setelah itu, penghitungan dan koreksi dapat dilakukan pada poligon sekunder. Poligon sekunder diawali dari satu titik stasiun pada poligon primer yang telah memiliki identitas serta nilai koordinat tetap. Rangkaian pengukuran poligon sekunder dapat berakhir pada suatu titik lain pada poligon primer. Di sinilah akan dijumpai selisih koordinat. Apabila selisih tersebut terlalu besar, itu berarti telah terjadi kesalahan dalam pengukuran poligon sekunder. Masalah ini harus ditemukan dan diperbaiki, atau bila perlu dilakukan pengukuran ulang, sebelum poligon sekunder ini siap dijadikan induk bagi pengukuran poligon tersier.

Apabila poligon sekunder berakhir pada poligon sekunder yang lain yang sudah terlebih dulu ada maka beberapa cara penggabungan bisa dilakukan. Salah satunya adalah dengan mengikuti nilai koordinat poligon sekunder yang lebih dahulu selesai, atau cara lain, misalnya meneruskan pengukuran hingga mencapai poligon utama. Alternatif mana yang dipilih adalah tergantung dari pertimbangan tim survei terkait situasi yang dihadapi di lapangan.



**Gambar 9.5** Peta Sistem Gua Gremeng

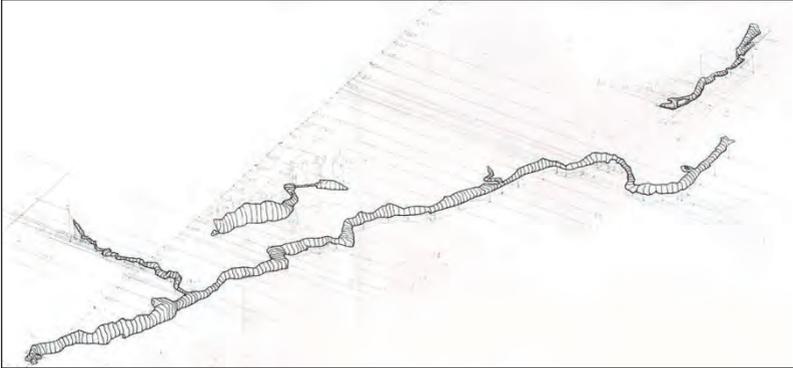
Pada peta sistem gua gremeng, terdapat garis dengan anak panah yang menghubungkan ujung lorong gua Telogo dengan cabang lorong terputus di gua Gremeng. Pada peta masing-masing gua sebelum digabungkan, ujung lorong gua Telogo dinyatakan sebagai *continues small*, dan lorong terputus di gua Gremeng dinyatakan sebagai *continues unexplored*, atau masih berlanjut tetapi belum dijelajahi. Pada saat itu, seandainya kedua gua ini digambar dalam satu lembar

gambar maka kedua ujung itu akan dihubungkan oleh anak panah dengan garis terputus-putus, yang menandakan adanya kemungkinan hubungan hidrologis. Pada awal tahun 2005, para penelusur gua dari Gegama (Mahasiswa pecinta alam Fakultas Geografi UGM), berhasil menelusuri lorong di ujung gua Telogo yang sebelumnya secara subjektif telah kami nyatakan sebagai “terlalu sempit” hingga menembus cabang lorong *continues unexplored* di gua Gremeng. Pada saat itu dugaan adanya hubungan antara lorong dua gua ini telah terbukti sehingga simbol berupa garis tegas dan anak panah dicantumkan untuk menghubungkan ujung-ujung lorong.

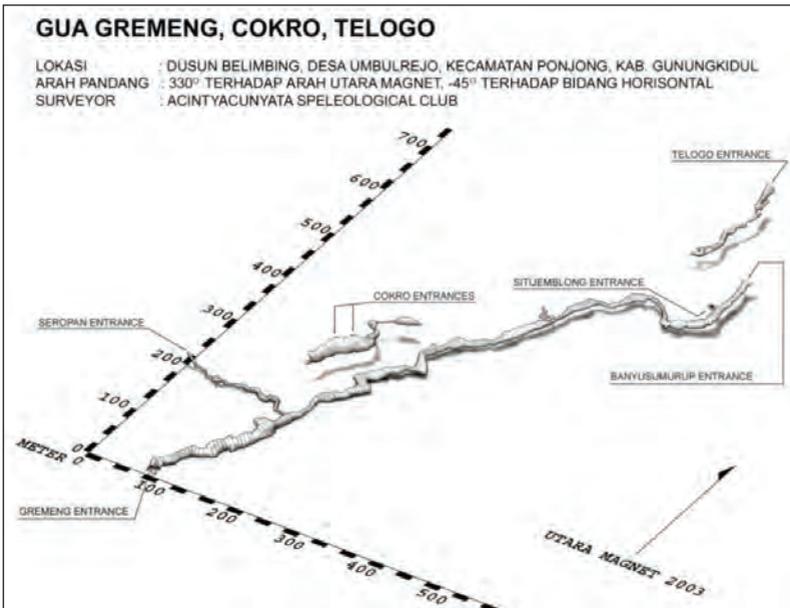
Anak panah ini sebenarnya dipinjam dari simbol hidrologi yang menerangkan adanya aliran air dengan arah sesuai arah panah dari suatu gua ke gua lainnya. Pada kenyataannya, aliran sungai kecil di dalam gua Telogo memang mengalir ke luar melalui ujung itu. Pada saatnya nanti, lorong itu akan dipetakan untuk menggantikan simbol anak panah tersebut.

Untuk menggambar suatu sistem gua di mana hubungan antar lorong hanya dapat dibuktikan, namun tidak dapat dipetakan, perlu dilakukan survei permukaan untuk menentukan posisi mulut-mulut gua. Survei permukaan dapat dilakukan dengan beberapa cara, mulai dari menggunakan GPS navigasi (*GPS handheld*), hingga menggunakan survei non magnetis di permukaan. Cara yang paling cepat dan sangat akurat adalah menggunakan GPS geodetik (*differential GPS*).

Pada peta sistem gua, lorong gua beserta mulutnya akan diposisikan sesuai hasil pengukuran permukaan, namun hubungan antar lorong yang terbukti berhubungan tanpa dapat dipetakan hanya akan diwakili oleh tanda tertentu. Data sistem gua dapat diolah dan digabungkan dengan berbagai program pemetaan yang tersedia saat ini, salah satunya adalah program Survex yang akan dibahas secara khusus pada bab 10.

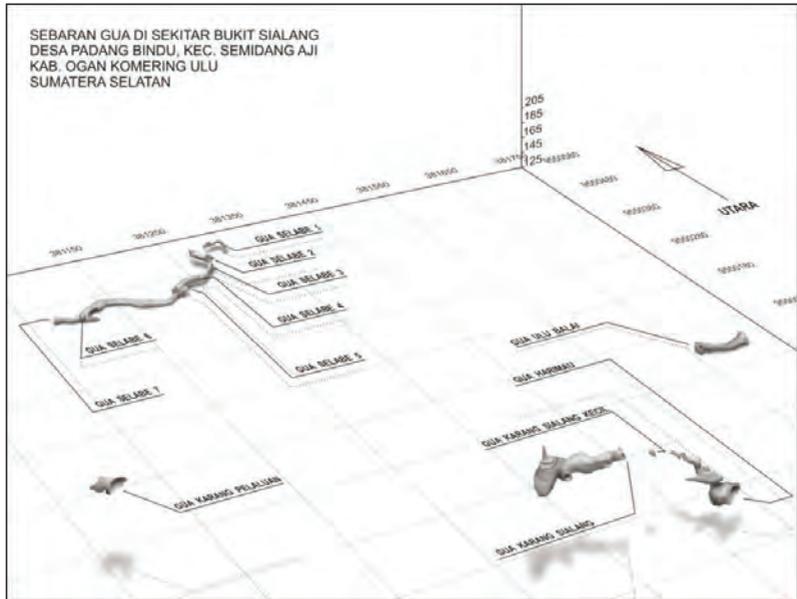


**Gambar 9.6** Gambar Manual Peta Tiga Dimensi Sistem Gua Gremeng



Keterangan: Gua Cokro turut tergambar pada peta di atas bukan sebagai bagian dari sistem, melainkan hanya karena posisinya yang berada bersebelahan dengan sistem tersebut  
 Sumber: Syahpanti, E.I. (2005)

**Gambar 9.7** Bentuk Jadi Peta Tiga Dimensi Sistem Gua Gremeng



**Gambar 9.8** Peta Tiga Dimensi yang Menggambarkan Posisi Gua-Gua di Sekitar Bukit Sialang

Posisi lorong-lorong gua pada gambar 9.8 ditentukan oleh hasil pengukuran koordinat menggunakan alat GPS *receiver* tipe navigasi pada stasiun-stasiun awal di luar mulut gua. Sebagai pengecualian adalah mulut gua Selabe 1 dan Selabe 2 yang posisinya ditentukan melalui rangkaian survei *grade 5* yang tersambung dengan survei gua Selabe 3. Seperti diketahui, pesawat GPS navigasi memiliki akurasi yang hanya mencukupi bagi kebutuhan navigasi sehingga pengukuran koordinat dapat memiliki kesalahan hingga beberapa meter. Hasil pengukuran elevasi yang dihasilkan oleh alat ini biasanya bahkan lebih buruk lagi. Pengukuran koordinat dengan menggunakan rangkaian survei *grade 5* dapat menghasilkan angka-angka yang lebih akurat, terlebih pada rangkaian survei pendek yang hanya melibatkan sedikit stasiun pengukuran seperti yang dilakukan pada kompleks gua Selabe.

Rendahnya akurasi pengukuran GPS navigasi berakibat pada kurang tepatnya penempatan posisi masing-masing lorong gua pada

peta. Bila pada masa mendatang, dilakukan pengukuran ulang yang lebih akurat guna menentukan koordinat mulut-mulut gua tersebut maka sangat mungkin posisi lorong-lorong gua yang tergambar di atas harus disesuaikan dengan hasil pengukuran terbaru.

Proses pengumpulan data bagi pembuatan peta sistem gua merupakan suatu proses yang dinamis dan berkelanjutan. Setiap penambahan data survei baru dapat memunculkan dugaan atau pembuktian baru. Peta kompleks perguaan dapat berkembang menjadi peta sistem gua apabila di kemudian hari ditemukan lorong-lorong yang menghubungkan gua-gua di dalam kompleks tersebut.

Sebagai suatu proses dinamis, selalu ada kemungkinan bagi suatu sistem gua yang dianggap telah dipetakan seluruhnya, ternyata masih berkembang lagi dengan ditemukannya lorong-lorong baru. Berkaitan dengan hal ini, data asli, atau salinan data asli hasil pemetaan adalah dokumen penting yang harus tetap disimpan untuk memudahkan apabila diperlukan untuk melakukan perhitungan dan penggambaran ulang.

# 10

## MENGGAMBAR PETA GUA DENGAN KOMPUTER

### A. Peran Komputer dalam Pemetaan Gua

Pada tahun 1964, upaya pertama penggunaan komputer untuk membuat peta gua telah dilakukan, yaitu dalam proses pembuatan peta *Fergus River cave* di Irlandia (Hanna, 1964). Tahun 1972, Martin Heler mulai mengembangkan sebuah program yang khusus diperuntukkan bagi keperluan pemetaan gua. Program bernama Toporobot itu merupakan program berusia paling tua yang masih populer dan terus dikembangkan hingga sekarang. Program yang muncul berikutnya adalah ellipse ciptaan David McKenzie. Program ini bukan hanya mampu menggambar *centerline*, namun juga dapat melakukan plot dinding gua dan melakukan penyesuaian pada dinding-dinding itu apabila garis-garis *centerline* harus diubah untuk menyesuaikan dengan hasil hitungan poligon tertutup. Program Compass karya Larry Fish pada pertengahan dasawarsa 1980-an barangkali adalah program pemetaan yang paling populer di kalangan para *surveyor* gua di seluruh dunia hingga saat ini (Wookey, 2004).

Pada akhir dasawarsa 1980-an, sekelompok *cave surveyor* Amerika merasa perlu untuk menggambar ulang peta *wind cave*. Dalam berbagai aspek, *wind cave* tergolong sebagai gua yang sangat luar biasa. Panjang lorongnya pada saat itu mencapai lebih dari 84 kilometer. Angka tersebut diperoleh dari hasil pengukuran pada

11.700 stasiun survei yang tersebar di sepanjang sistem yang sangat rumit baik dari dimensi vertikal maupun horizontal. Peta *wind cave* terdahulu, selain kurang akurat, juga tidak mampu untuk menjejalkan berbagai informasi penting pada lembar peta yang sudah begitu sesak oleh *outline* lorong. Untuk dapat membuat peta yang lebih baik, para *surveyor* gua tersebut memutuskan untuk menggunakan bantuan seperangkat alat canggih. Komputer!

Bukannya menggunakan program khusus pemetaan gua, Nepstad dan kawan-kawan justru menjatuhkan pilihan pada program desain yang pada saat itu sudah mulai banyak dipergunakan untuk berbagai kepentingan desain di luar gua. Program tersebut adalah AutoCad yang dipublikasikan oleh Autodesk, Inc. Menurut mereka, program ini memiliki berbagai keunggulan yang dapat dimanfaatkan untuk membuat peta gua *wind cave* bukan saja mampu menampilkan berbagai informasi penting, namun bahkan dapat berfungsi sebagai *database* bagi bermacam-macam informasi yang lebih detail. Semuanya itu menjadi mungkin berkat adanya fitur *layer* yang memungkinkan penggambar peta memasukkan seluruh informasi ke dalam satu bidang gambar, dan memilih informasi mana saja yang hendak ditampilkan. Keunggulan lain program AutoCad yang pada masa itu masih merupakan fasilitas langka adalah menampilkan gambar secara tiga dimensi (Nepstad, 1988).

Pada tahun 1998, Olly Betts dan Wookey mengeluarkan produk perangkat lunak pemetaan gua. *Open source software* yang diberi nama Survex tersebut diciptakan bagi para *surveyor* yang ingin mendapatkan kemudahan dan kecepatan proses pengolahan data, namun memiliki keterbatasan dana serta teknologi. Dengan menggunakan program ini, pengguna hanya perlu memasukkan hasil pengukuran berupa identitas stasiun pengukuran, identitas objek pengukuran (dapat berupa stasiun berikutnya, dinding kiri dan kanan, atap, lantai, maupun objek-objek lainnya), jarak miring, azimut, serta sudut vertikal. Selain itu, yang perlu dicantumkan pada lembar tersebut adalah tanda yang mengawali dan mengakhiri daftar isian.

Survex juga memberikan berbagai cara mudah dalam menangani permasalahan-permasalahan yang sering dihadapi oleh seorang kartografer seperti penghitungan dan perataan kesalahan pada poligon tertutup, kalibrasi alat ukur jarak, koreksi deklinasi kompas, serta penggabungan beberapa hasil pengukuran ke dalam satu rangkaian utuh. Program ini juga bersifat fleksibel, artinya ia dapat dipergunakan untuk mengolah berbagai macam data yang dikumpulkan dengan cara pengukuran yang berbeda beda.

## B. Pengolahan Data Menggunakan Program Survex

Pengolahan data pemetaan gua menggunakan program Survex memberikan keuntungan berupa kemudahan dan kecepatan. Dua hal di atas penting bagi suatu tim yang sedang melakukan suatu kegiatan berdurasi panjang, di mana setiap hari tim survei memperoleh tambahan data pengukuran. Data baru harus segera dievaluasi sehingga perencanaan untuk pekerjaan berikutnya dapat segera dilakukan. Program ini juga dapat dipergunakan sebagai bantuan dalam membuat kerangka peta gua dalam format standar, meskipun untuk melakukannya masih diperlukan berbagai improvisasi.

Berikut ini adalah contoh penggunaan program Survex-Win32-1.1.16. Data yang dipergunakan adalah survei gua Simulasi yang telah disesuaikan dengan angka deklinasi magnetis. Langkah pertama adalah memasukkan data mentah hasil pengukuran ke dalam lembar kerja *notepad*.

**Tabel 10.1** Lembar Isian dalam Program Survex

*begin				
0	1	12	146	-28
1	2	15.25	52	-19
2	3	10.91	0	-90
3	4	14.3	86	4
4	4a	10.53	324	-4

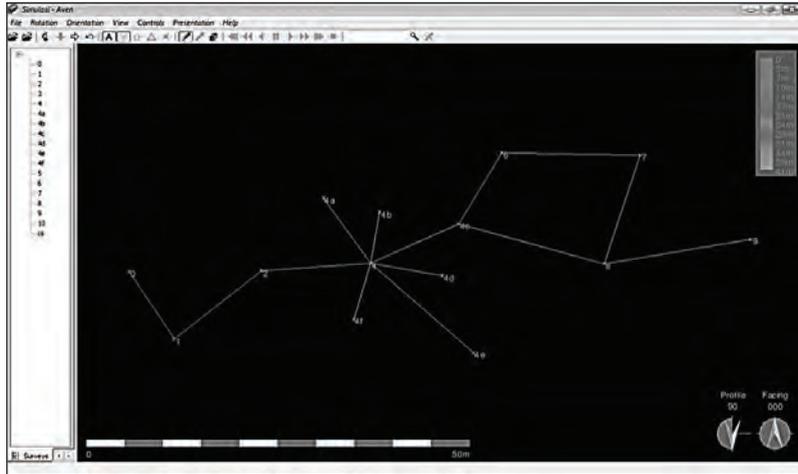
*begin				
4	4b	6.88	10	-10
4	4c	13	66	-14
4	4d	9.7	100	-11
4	4e	17.8	131	0
4	4f	7.71	196.5	-9
4c	5	16.74	0	-90
5	6	10.82	31.5	0.5
6	7	18.09	91	-0.5
7	8	14.93	198	0
8	9	19.42	80.5	-2
4c	10	20.15	105.5	-13.5
10	8	12.45	0	-90
9	cs	0	0	0
*end				

Setelah data isian disimpan, lakukan penggantian ekstensi menjadi *.svx*. Apabila *file* dalam format *.svx* tersebut diproses, akan dihasilkan tiga *file* baru dengan nama yang sama namun masing-masing memiliki ekstensi yang berbeda, yaitu: *.3d*, *.err*, dan *.log*.

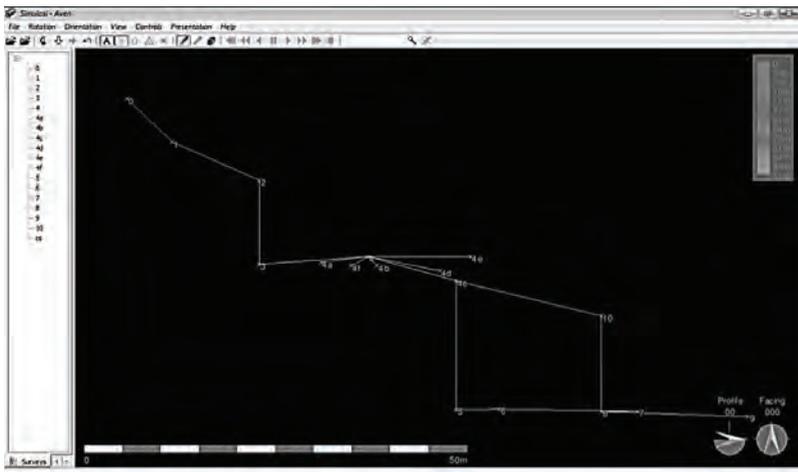
*File* pertama, simulasi 3d adalah tampilan visual *centerline* gua simulasi. Program yang dapat menampilkan tampilan ini adalah Aven. Tampilan ini dapat dilihat dari berbagai sudut pandang dan dalam berbagai skala. Tampilan ini sudah dilengkapi dengan skala grafis dan indikator elevasi. Selain itu terdapat juga dua fitur pengatur sudut pandang. Salah satu dari kedua fitur pengatur sudut pandang dapat dipergunakan untuk merubah sudut pandang secara horizontal, sedangkan fitur yang lain dipergunakan untuk merubah sudut pandang secara vertikal.

Pada gambar 10.1 terlihat tampilan *Default View* berupa tampak atas *centerline* pengukuran gua Simulasi dengan arah utara menghadap tepat ke atas. Pada tampilan ini, fitur *Crosses* diaktifkan sehingga

muncul tanda-tanda silang sebagai penanda posisi stasiun, demikian juga dengan fitur *Station Names*, untuk memperlihatkan identitas stasiun-stasiun pengukuran.



**Gambar 10.1** Tampilan Tampak Atas *Centerline* pada Program Aven



**Gambar 10.2** Tampilan Proyeksi Tampak Samping *Centerline* pada Program Aven

Buku ini tidak diperjualbelikan.

*File* berikutnya, *simulasi.err* adalah resume kesalahan pengukuran pada poligon tertutup. Pada pengukuran gua Simulasi terdapat satu poligon tertutup, yaitu pada rangkaian stasiun 4c-5-6-7-8-10-4c. Program *Survex* dapat mendeteksi keberadaan poligon tertutup ini dan melakukan kalkulasi untuk mendapatkan angka kesalahan pengukuran. Berdasar besarnya angka kesalahan tersebut, program ini menghitung untuk menentukan besarnya koreksi bagi posisi masing-masing stasiun.

**Tabel 10.2** Resume dan Koreksi Kesalahan Pengukuran Poligon Tertutup pada Survei Gua Simulasi

4c – 5 – 6 – 7 – 8 – 10 – 4c
Original length 93.18m (6 shots), moved 0.43m (0.07m/shot).
Error 0.46%
0.909342
H: 0.684605 V: 1.167098
4c – 4 – 3 – 2 – 1 – 0
Original length 65.46m (5 shots), moved 0.00m (0.00/shot). Error 0.00%
0.000000
H: 0.000000 V: 0.000000

*File* ketiga, yaitu *Simulasi.log* berisi resume hasil pengolahan data survei yang telah diinput sebelumnya.

Dalam tabel 10.3 terdapat keterangan tentang jumlah stasiun pengukuran dan jumlah pengukuran jarak antar stasiun (230,68 meter) serta jumlah jarak yang telah disesuaikan dengan koreksi kesalahan pada poligon tertutup (230,67 meter). Selain itu juga tertera jumlah keseluruhan jarak pengukuran antar stasiun, jumlah jarak datar (186,95 meter), jumlah beda tinggi (65,46 meter), rentang vertikal (41,33 meter), rentang Utara-Selatan (26,06 meter), serta rentang Timur-Barat (81,13 meter).

**Tabel 10.3** Resume Hasil Pengolahan Data Gua Simulasi

Survex 1.1.16
Copyright , 1990-2011 olly Betts
Survey has no fixed points. Therefore I've fixed 0 at (0,0,0)
Survey contains 18 survey stations, joined by 18 shots. There is 1 loop.
Total length of survey shots = 230.68m (230.67m adjusted)
Total plan length of survey shots = 186.95m
Total vertical length of survey shots = 65.46m
Vertical range = 41.33m (from 0 at 0.00m to cs at -41.33m)
North-South range = 26.06m (from 6 at 15.47m to 4e at -10.59m)
East-West range = 81.13m (from 9 at 81.13m to 0 at 0.00m)
7 1-nodes.
7 2-nodes.
2 3-nodes.
1 7-node.

### C. Detail Lorong

Untuk melengkapi tampilan kerangka peta gua Simulasi, perlu ditambahkan detail lorong, yang meliputi posisi atap, lantai, dinding kiri dan kanan terhadap stasiun pengukuran. Data detail lorong disusun dengan cara seperti pada Tabel 10.4.

**Tabel 10.4** Lembar Isian Pengukuran *Centerline* dan Detail Lorong

*begin				
0	1	12	146	-28
1	2	15.25	52	-19
2	3	10.91	0	-90
3	4	14.3	86	4
4	4a	10.53	324	-4
4	4b	6.88	10	-10
4	4c	13	66	-14

4	4d	9.7	100	-11
4	4e	17.8	131	0
4	4f	7.71	196.5	-9
4c	5	16.74	0	-90
5	6	10.82	31.5	0.5
6	7	18.09	91	-0.5
7	8	14.93	198	0
8	9	19.42	80.5	-2
4c	10	20.15	105.5	-13.5
10	8	12.45	0	-90
9	cs	0	0	0

\*data passage station left right up down

0	2.5	2.5	3	0
1	1.5	2	2	0
2	2	2.5	4	0
3	2.5	1.5	15	0
4	0	0	10.5	0
4a	0	0	3	0
4b	0	0	4	0
4c	1	5	7	0
4d	0	0	6	0
4e	0	0	1.5	0
4f	0	0	4	0
5	1	2.5	20	0
6	1	1.5	10	0
7	1	1.5	8	0
8	1	3	20	0
9	0.4	0.2	2	0
10 *end	1.5	1.5	6	0

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Berdasar hasil pengolahan data dari lembar isian pada tabel 10.4, program Aven akan dapat menampilkan bentuk tiga dimensi kasar lorong gua apabila fitur *tube* diaktifkan. Namun dengan susunan data seperti di atas, ternyata program ini tidak dapat langsung menampilkan bentuk lorong secara utuh. Apa yang dapat ditampilkan hanyalah beberapa segmen lorong, sedangkan pada segmen lorong yang lain, serta *chamber* yang dapat ditampilkan hanyalah garis-garis *centerline*.

Untuk dapat memperoleh gambaran kerangka peta gua secara utuh, khususnya apabila tampilan itu hendak dimanfaatkan untuk tujuan penggambaran peta gua maka detail lorong yang meliputi dinding kiri dan kanan, atap serta lantai perlu ditampilkan secara memadai. Cara yang dipergunakan untuk menampilkan detail lorong sebagai bagian dari kerangka penggambaran adalah dengan memperlakukan unsur-unsur detail lorong tersebut sebagai stasiun-stasiun cabang. Apabila dalam tahap survei, seluruh detail lorong benar-benar diperlakukan sebagai stasiun survei, artinya seluruh data mentah berupa jarak miring, sudut horizontal serta sudut vertikal benar-benar diukur dan dicatat maka setelah diolah dengan program *Survex*, Aven dapat menampilkan suatu kerangka peta yang utuh. Apabila data seperti itu tidak tersedia maka yang bisa dilakukan adalah membuat asumsi secara visual maupun secara matematis. Asumsi visual dilakukan dengan mempergunakan sketsa sebagai acuan penentuan besarnya sudut horizontal dan vertikal antara titik stasiun pengukuran dan titik-titik detail lorong. Asumsi matematis dilakukan dengan membuat kalkulasi besarnya sudut horizontal antara stasiun dengan titik-titik detail lorong dengan menggunakan acuan sudut-sudut horizontal antara titik stasiun pengukuran dengan titik-titik stasiun sebelum dan sesudahnya.

Untuk membantu melakukan hal ini, Widjanarko (2008) telah mengembangkan suatu program kalkulasi berbasis Microsoft Excel yang dinamakan sebagai LEKER OLD SG yang merupakan singkatan dari Lembar Kerja Olah Data Survei Gua. Dalam contoh di bawah ini, data pengukuran gua Simulasi dimasukkan dan diolah dengan menggunakan program LEKER OLD SG. Data pengukuran dimasukkan tanpa disesuaikan dengan besarnya deklinasi magnetis yang

berlaku. Pada lembar kerja tersebut terdapat kolom koreksi deklinasi yang apabila diisi, seluruh angka hasil bacaan kompas akan terkoreksi dengan sendirinya.

**Tabel 10.5** Lembar Kerja Olah Data Survei Gua (LEKER OLD SG).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
1	Nama Gua:		Simulasi								Tgl survei:		Pembidik:		Markus					
2	Lokasi:		Dusun Watu, Desa Selo, kec. Karang								Pencatat:		Maryadi							
3	MASUKAN DATA										KOORDINAT STASIUN									
4	STASIUN		JARAK	KOMPAS	CLINO	TINGGI	TINGGI	TINGGI	DINDING		azimut	selisih	Koordinat (X,Y)	Dinding kiri	Dinding					
	MIRING		(PITA	(a)	(f)	STASIUN	ATAP	(TA)		terkoreksi	absis & ordinat	stasiun target	stasiun asal	stasiun asal						
5	Dan	Ké	UKUR)		(T)	(T)	(T)		Kiri	Kanan	(a)	Dx	Dy	X	Y	x'	y'	x''	y''	
6		0																		
7	0	1	12.00	147	-28	1.5	3	2.5	2.5	146.0	5.9249	-8.7840	5.92	-8.78	-0.73	2.39	0.73	-2.39		
8	1	2	15.25	53	-19	1.5	2	1.5	2	52.0	11.3625	8.8773	17.29	0.09	6.16	-7.30	5.61	-10.76		
9	2	3	10.91	0	-90	1.5	4	2	2.5	-1.0	0.0000	0.0000	17.29	0.09	15.48	0.95	19.54	-0.98		
10	3	4	14.30	84	4	1.5	15	2.5	1.5	83.0	14.1588	1.7385	31.45	1.83	15.40	1.73	18.42	-0.89		
11	4	4a	10.53	325	-4	1.5	3			324.0	-6.1743	8.4982	25.27	10.33	31.45	1.83	31.45	1.83		
12	4	4b	6.88	11	10	1.5	4			10.0	1.1765	6.8725	32.62	8.50						
13	4	4c	13.00	67	-14	1.5	7			66.0	11.5233	5.1305	42.97	6.96						
14	4	4d	9.70	101	-11	1.5	6			100.0	9.3771	-1.6534	40.82	0.18						
15	4	4e	17.80	132	0	0.7	1.5			131.0	13.4338	-11.6779	44.88	-8.85						
16	4	4f	7.71	197.5	-9	1.5	4			196.5	-2.1628	-7.3015	29.28	-5.47						
17	4c	5	16.74	0	-90	1.5				-1.0	0.0000	0.0000	42.97	6.96	42.97	6.96	42.97	6.96		
18	5	6	10.62	32.5	0.5	1.5	20	1	2.5	31.5	5.6532	9.2252	48.62	16.19	42.00	7.23	45.38	6.30		
19	6	7	18.09	92	-0.5	1.5	10	1	1.5	91.0	18.0866	-0.3157	66.71	15.87	48.14	17.06	49.34	14.87		
20	7	8	14.93	199	0	1.5	8	1	1.5	198.0	-4.6136	-14.1993	62.10	1.67	67.52	16.45	65.49	15.00		
21	8	9	19.42	81.5	-2	1.5	20	1	3	80.5	19.1420	3.2033	81.24	4.88	62.85	2.33	59.82	-0.29		
22	4c	10	20.15	106.5	-13.5	1.5	8	5	1	105.5	18.8807	-5.2361	61.85	1.73	43.23	11.96	42.92	5.96		
23	10	8	12.45	0	-90	1.5	6	1.5	1.6	-1.0	0.0000	0.0000	61.85	1.73	60.93	2.91	62.63	0.48		

T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG
Skala: 1 : 200								Pemroses data: Marfu'ah					
Koreksi Deklinasi : -1													
KOORDINAT UNTUK PETA PLAN SECTION SESUAI SKALA								KOORDINAT STASIUN TARGET PETA					
Koordinat (X,Y) stasiun target		sudut bagi kiri	sudut bagi kanan	Dinding kiri stasiun asal	Dinding kanan stasiun asal	JARAK DATAR	Jarak datar dari O	Beda Elevasi	Elevasi Instrumen	Elevasi Stasiun	Elevasi atap		
X	Y			x'	y'	x''	y''	Dl	Dh	Sh	Y°	Y°°	
0	0												
2.96	-4.39	343.00	163.00	-0.37	1.20	0.37	-1.20	10.60	5.30	-5.63	-5.63	-3.57	-0.28
8.64	0.05	9.00	189.00	3.08	-3.65	2.81	-5.38	14.42	9.86	-4.96	-10.60	-6.05	-2.02
8.64	0.05	295.50	115.50	7.74	0.48	9.77	-0.49	0.00	4.93	-10.91	-21.51	-11.50	-3.75
15.72	0.92	311.00	131.00	7.70	0.87	9.21	-0.45	14.27	9.60	1.00	-20.51	-11.01	2.00
12.64	5.17	293.50	113.50	15.72	0.92	15.72	0.92	10.50	10.05	-0.73	-21.25	-11.37	-4.19
16.31	4.25	257.00	77.00	0.00	0.00	12.84	5.17	6.78	8.41	1.19	-20.05	-10.78	-3.39
21.48	3.48	308.00	128.00	0.00	0.00	16.31	4.25	12.61	10.51	-3.14	-23.20	-12.35	-2.67
20.41	0.09	353.00	173.00	0.00	0.00	21.48	3.48	9.52	10.02	-1.85	-25.05	-13.27	-3.64
22.44	-4.92	25.50	205.50	0.00	0.00	20.41	0.09	17.80	13.91	0.00	-25.05	-12.87	-5.69
14.64	-2.73	73.75	253.75	0.00	0.00	22.44	-4.92	7.62	10.76	-1.21	-26.25	-13.88	-4.94
21.48	3.48	187.75	7.75	21.48	3.48	14.64	-2.73	0.00	5.26	-16.74	-42.99	-22.25	-11.12
24.31	8.09	285.25	105.25	21.00	3.61	22.69	3.15	10.82	8.04	0.09	42.90	-22.20	-1.10
33.35	7.94	331.25	151.25	24.07	6.53	24.67	7.44	18.09	13.06	-0.16	-43.06	-22.28	-6.14
31.05	0.84	54.50	234.50	33.76	8.23	32.74	7.50	14.93	14.00	0.00	-43.06	-22.28	-7.14
40.62	2.44	49.25	229.25	31.43	1.16	29.91	-0.14	19.408	16.70	-0.6777	-43.73	-22.62	-1.31
30.93	0.86	3.00	163.00	21.62	5.98	40.59	1.94	19.593	15.05	-4.7039	-48.44	-24.97	-8.48
30.93	0.86	322.25	142.25	30.47	1.46	31.41	0.23	0	7.53	-12.45	-60.89	-31.19	-12.60

Keterangan: Untuk menyesuaikan dengan bidang yang tersedia dalam halaman buku ini, lembar kerja ditampilkan terpotong menjadi dua bagian.

Operasi LEKER OLD SG mempergunakan rumus-rumus di bawah ini:

$$K7 = D7 + \$Z\$2$$

$$L7 = AB7 * \text{SIN}(\text{RADIANS}(K7))$$

$$M7 = AB7 * \text{COS}(\text{RADIANS}(K7))$$

$$N7 = N6 + L7$$

$$O7 = O6 + M7$$

$$P7 = N6 + (H7 * \text{SIN}(\text{RADIANS}(V7)))$$

$$Q7 = O6 + (H7 * \text{COS}(\text{RADIANS}(V7)))$$

$$R7 = N6 + (I7 * \text{SIN}(\text{RADIANS}(W7)))$$

$$S7 = N6 + (I7 * \text{COS}(\text{RADIANS}(W7)))$$

$$T7 = N7 / (\$AA\$1/100)$$

$$U7 = O7 / (\$AA\$1/100)$$

$$V7 = \text{IF}(W7 > 180, W7 - 180, W7 + 180)$$

$$W7 = \text{IF}(\text{ABS}(K7 - K6) < 180, K7 + ((K6 + 180 - K7)/2), K7 + ((K6 + 180 - K7)/2))$$

$$X7 = P7 / (\$AA\$1/100)$$

$$Y7 = Q7 / (\$AA\$1/100)$$

$$Z7 = T6 + (I7 * \text{SIN}(\text{RADIANS}(W7))) / (\$AA\$1/100)$$

$$AA7 = T6 + (I7 * \text{COS}(\text{RADIANS}(W7))) / (\$AA\$1/100)$$

$$AB7 = \text{IF}(\text{ABS}(E7) = 90, 0, C7 * (\text{COS}(\text{RADIANS}(E7))))$$

$$AC7 = (AC6 + AB7) / (\$AA\$1/100)$$

$$AD7 = C7 * (\text{SIN}(\text{RADIANS}(E7)))$$

$$AE7 = AD7 + AE6$$

$$AF7 = (AE7 - F7) / (\$AA\$1/100)$$

$$AG7 = (AF7 + G7) / (\$AA\$1/100)$$

Dalam menerapkan rumus, selalu perhatikan stasiun-stasiun yang menjadi muara bagi lebih dari satu *centerline*. Contohnya adalah pada stasiun 4 yang merupakan muara pengukuran bagi poligon terbuka,

dan stasiun 4c yang merupakan muara dua lorong bercabang. Pada stasiun-stasiun ini harus dilakukan modifikasi rumus penjumlahan.

Program kalkulasi LEKER OLD SG dapat dipergunakan untuk membantu berbagai teknik penggambaran peta, dari teknik manual hingga digital. Selain menawarkan kemudahan dalam melakukan penyesuaian deklinasi, program ini juga memiliki fasilitas untuk mengonversi angka-angka koordinat sesuai dengan skala peta yang telah ditentukan, fasilitas seperti ini tentu sangat membantu bagi penggambaran peta yang dilakukan secara manual. Berkaitan dengan pengolahan data menggunakan program Survex, LEKKER OLD SG dapat menyediakan apa yang diperlukan agar posisi detail lorong dapat terlihat pada program Aven, yaitu (asumsi) azimut dari titik stasiun pengukuran ke titik-titik detail lorong di sekitarnya.

Di bawah ini adalah tabel Survex dengan data mentah pengukuran gua Simulasi beserta data detail stasiun berupa jarak miring dan sudut vertikal yang diperoleh dari hasil pengukuran. Serta asumsi sudut horizontal yang diperoleh dari hasil kalkulasi menggunakan LEKER OLD SG.

**Tabel 10.6** Lembar isian Survex dengan data tambahan detail dinding kanan dan kiri dari LEKER OLD SG serta atap dan lantai lorong.

*begin			
0 1	12	146	-28
12	15.25	52	-19
23	10.91	0	-90
34	14.3	86	4
*flags splay			
4 4a	10.53	324	-4
44b	6.88	10	-10
*flags not splay			
44c	13	66	-14
*flags splay			

44d	9.7	100	-11	
44e	17.8	131	0	
44f	7.71	196.5	-9	
*flags not splay				
4c	5	16.74	0	-90
56	10.82	31.5	0.5	
67	18.09	91	-0.5	
78	14.93	198	0	
89	19.42	80.5	-2	
4c	10	20.15	105.5	-13.5
10	8	12.45	0	-90
9 cs	0	0	0	
;kiri				
*flags splay				
00_1	2.5	343	0	
11_1	1.5	9	0	
22_1	2	295	0	
33_1	2.5	311	0	
4c	4c_l	5	3	0
55_l	1	285.25	0	
66_l	1	331.25	0	
77_l	1	54.5	0	
88_l	1	48	0	
10	10_l	1.5	322.5	0
;kanan				
00_r	2.5	163	0	
11_r	2	189	0	
22_r	2.5	115	0	
33_r	1.5	131	0	
4c	4c_r	1	183	0
55_r	2.5	105.25	0	

66_r	1.5	151.25	0	
77_r	1.5	234.5	0	
88_r	3	229.25	0	
10	10_r	1.6	142.25	0
;atas				
00_u	1.5	0	90	
11_u	0.5	0	90	
22_u	2.5	0	90	
44_u	9	0	90	
4a	4a_u	1.5	0	90
4b	4b_u	2.5	0	90
4c	4c_u	5.5	0	90
4d	4d_u	4.5	0	90
4e	4e_u	0.8	0	90
4f	4f_u	2.5	0	90
66_u	8.5	0	90	
77_u	6.5	0	90	
99_u	0.5	4.5	90	
10	10_u	4.5	0	90
;bawah				
00_d	1.5	0	-90	
11_d	1.5	0	-90	
22_d	1.5	0	-90	
33_d	1.5	0	-90	
44_d	1.5	0	-90	
4a	4a_d	1.5	0	-90
4b	4b_d	1.5	0	-90
4c	4c_d	1.5	0	-90
4d	4d_d	1.5	0	-90
4e	4e_d	0.7	0	-90
4f	4f_d	1.5	0	-90

Buku ini tidak diperjualbelikan.

55_d	1.5	0	-90	
66_d	1.5	0	-90	
77_d	1.5	0	-90	
88_d	1.5	0	-90	
99_d	1.5	0	-90	
10	10_d	1.5	0	-90
*end				

Pada tabel 10.6 terdapat perintah `*flags splay` dan `*flags not splay`. Fungsi perintah `*flags splay` adalah untuk memisahkan *survey leg* yang disertakan dalam penghitungan panjang lorong dan yang tidak disertakan. *Survey leg* yang seharusnya tidak dimasukkan dalam perhitungan panjang lorong dalam contoh di atas adalah jari-jari poligon terbuka, kecuali *survey leg* dari stasiun 4 ke stasiun 4c yang merupakan jalur pengukuran utama. Selain itu, komponen pengukuran detail lorong yang meliputi dinding kanan, dinding kiri, atap, dan lantai juga harus dicegah agar tidak terhitung sebagai kontributor bagi angka panjang lorong. Dengan cara demikian maka dalam *file* Simulasi.log didapati perubahan-perubahan seperti pada Tabel 10.7.

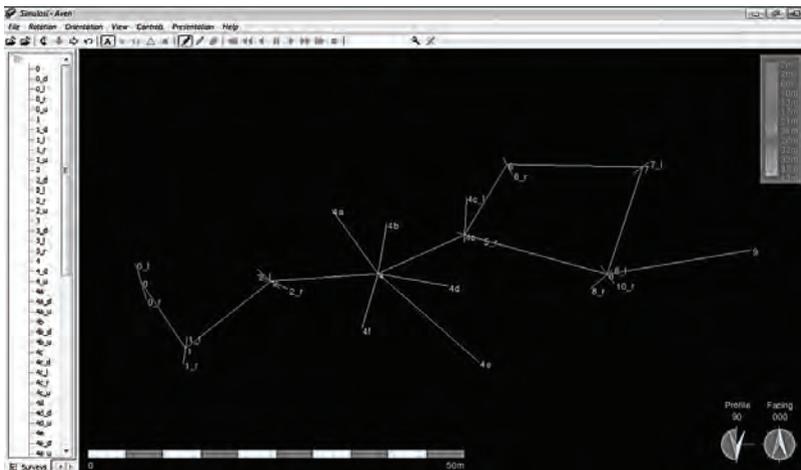
**Tabel 10.7** Resume Hasil Pengolahan Data Tabel 10.6

total length of survey shots = 178.06m (178.05 adjusted)
total plan length of survey shots = 134.73m
total vertical length of survey shots = 60.48
vertical range = 44.33 (from 0_u at 1.50m to 9_d at -42.83m)
North-South range = 27.11m (from 6_l at 16.35m to 0_l at -0.73m)
East-West range = 81.86m (from 9_d at 81.13m to 0_l at -0.73m)

Resume pada Tabel 10.7 terlihat berbeda dengan apa yang tercantum dalam Tabel 10.3. Total length dan total plan length berkurang dari angka-angka semula karena jari-jari poligon terbuka tidak disertakan dalam penghitungan. Rentang vertikal bertambah sebanyak 3 meter yang diperoleh dari ditambahkannya tinggi lorong dari lantai

hingga atap pada stasiun 0. Rentang Utara-Selatan serta Timur-Barat juga mengalami perubahan karena turut disertakannya lebar lorong serta jari-jari poligon dalam proses perhitungan. Informasi yang lebih benar untuk disampaikan kepada pengguna peta adalah yang termuat dalam Tabel 10.7, dengan pengecualian informasi rentang vertikal, karena yang perlu disampaikan adalah total kedalaman, yaitu rentang vertikal antara lantai tertinggi dengan lantai terendah, atau yang termuat dalam Tabel 10.3, yaitu 42,33 meter.

Setelah ditambahkan data sudut horizontal dari LEKER OLD SG, kerangka peta gua yang ditampilkan oleh program Aven akan mampu menampilkan posisi detail lorong berupa garis-garis yang menghubungkan antara titik-titik stasiun pengukuran dengan titik-titik target pada dinding kiri dan kanan.

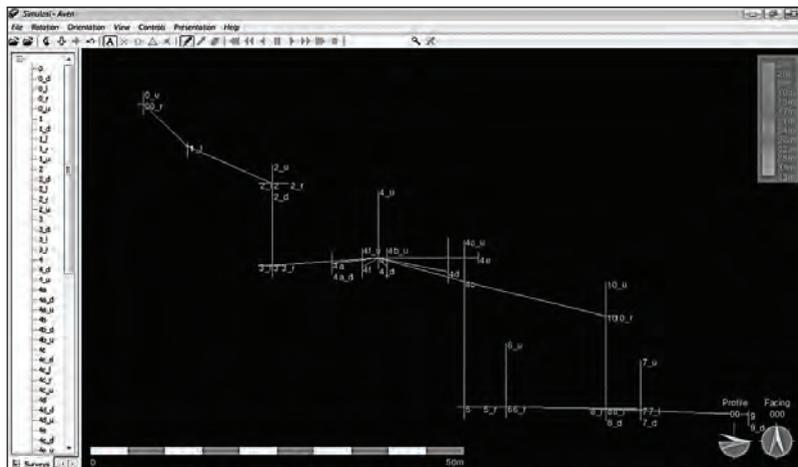


**Gambar 10.3** Kerangka peta tampak atas gua Simulasi dengan data tambahan dinding kiri dan kanan hasil kalkulasi program LEKER OLD SG

Meskipun kini kerangka peta tampak atas gua Simulasi telah memiliki garis-garis yang menunjukkan posisi dinding kanan dan kiri lorong, namun seperti terlihat pada Gambar 10.3, beberapa garis detail dinding kanan dan kiri tampak kurang sesuai dengan apa yang

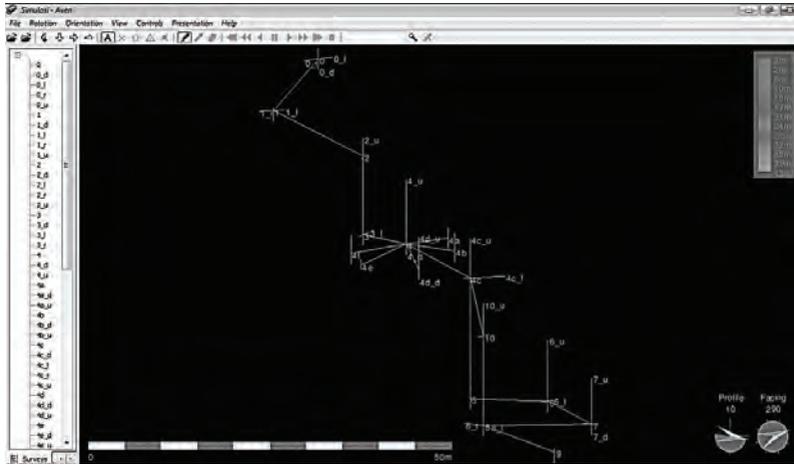
terekam dalam sketsa. Salah satu yang paling mencolok adalah detail dinding kiri dan kanan pada stasiun 0. Hal seperti itu disebabkan oleh keterbatasan program kalkulasi yang hanya mampu mengolah data yang ia terima tanpa mampu menganalisis. Oleh karena itu, kemampuan manusia kembali dibutuhkan untuk membuat asumsi yang lebih baik berdasar pengamatan visual, dengan memanfaatkan sketsa yang digambar di lapangan. Sekali lagi, keterampilan manual dalam membuat sketsa peta gua yang baik masih sangat diperlukan meskipun pengolahan data dan penggambaran peta sudah dilakukan dengan bantuan komputer.

Cara seperti yang dilakukan untuk menampilkan detail dinding kanan dan kiri juga perlu dilakukan agar Aven dapat memunculkan detail lorong berupa atap dan lantai gua pada tampilan tampak samping. Setiap titik atap dan lantai harus diperlakukan seolah-olah mereka adalah stasiun cabang pada sebuah poligon terbuka.



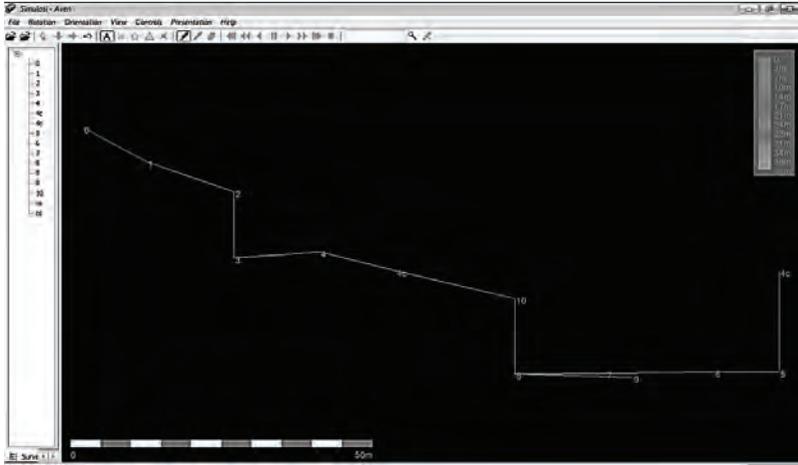
**Gambar 10.4** Kerangka Peta Tampak Samping Diproyeksikan Gua Simulasi

Dengan dinding kiri dan kanan, serta atap dan tinggi stasiun, apa yang ditampilkan oleh Aven sudah dapat dipergunakan sebagai kerangka penggambaran peta 3 dimensi. Hal yang perlu dilakukan hanyalah memilih sudut pandang yang tepat untuk dapat menampilkan secara optimal seluruh atau sebagian lorong gua yang dianggap penting.



**Gambar 10.5** Kerangka peta tiga dimensi gua Simulasi dilihat dengan arah pandang  $300^\circ$  dan sudut inklinasi  $-10^\circ$

Program Survex menyediakan perangkat untuk membuat peta tampak samping diperpanjang (*extended elevation*). Caranya adalah dengan menggunakan *file survex processed data*. Dengan menekan tombol klik kanan pada *file* ini, kemudian klik pada pilihan *extend* maka akan muncul satu *file* baru yaitu *Simulasi\_extend.3d*. Apabila *file* ini dibuka, akan tampil rangkaian *centerline* pengukuran dalam susunan *extended elevation*.



**Gambar 10.6** Kerangka Peta *Extended Elevation* Gua Simulasi Hasil Pengolahan Data Menggunakan Program Survelx

Gambar di atas menunjukkan bahwa Survelx masih memerlukan bantuan untuk dapat melakukan penghitungan pada jalur pengukuran yang agak rumit, seperti poligon tertutup pada jalur survei gua Simulasi. Terlihat pada Gambar 10.5, rangkaian *centerline* yang ditampilkan oleh Aven setelah diproses oleh Survelx memiliki urutan yang benar, namun jika tampilan ini dipergunakan sebagai kerangka penggambaran peta *extended elevation*, ia tidak akan dapat memberikan informasi optimal sebagaimana seharusnya yang dapat diberikan oleh peta jenis ini, khususnya pada segmen yang berupa poligon tertutup.

Untuk dapat membuat kerangka peta *extended elevation* yang lebih baik, sekali lagi kartografer harus melakukan improvisasi. Data pengukuran harus dimodifikasi agar seakan-akan diperoleh dari suatu bidang berdimensi dua. Cara untuk melakukannya adalah dengan mengganti semua angka kompas pada pengukuran *centerline* dengan angka-angka yang sebidang, yaitu satu angka tertentu, dan angka yang merupakan azimut balik dari angka tersebut. Tidak masalah berapa besaran angka itu, dalam contoh akan dipergunakan angka 90

Buku ini tidak diperjualbelikan.

dan azimuth baliknya, yaitu 270. Angka 90 dipergunakan pada hampir seluruh *centerline* dan jari- jari poligon terbuka, yaitu dari stasiun 4 ke 4b, 4c, 4d, dan 4e. Angka 270 dipergunakan dari stasiun 4 ke 4a dan 4f.

Lorong bercabang yang bertemu kembali pada jalur survei gua Simulasi membentuk suatu rangkaian pengukuran poligon tertutup. Untuk dapat menampilkan jalur ini dalam bentuk standar pada peta *extended elevation*, jalur pada lorong yang lebih pendek harus dipotong menjadi dua bagian. Bagian yang terpotong pada lorong ini diberi identitas khusus agar Survex dapat mengolahnya dengan benar. Pada contoh di Tabel 10.8, cabang lorong yang lebih pendek adalah dari stasiun 4c ke stasiun 10. Lorong ini dipotong menjadi dua bagian dengan panjang yang sama sehingga dalam lembar isian jarak miring antara stasiun 4c ke titik 4c\_10 adalah sebesar 10,075. Separuh panjang lorong yang lain terikat pada stasiun 10, sedangkan stasiun 10 sebenarnya terikat pada stasiun 4, namun karena sebab di atas, ikatan tersebut sudah dipotong sehingga ikatan yang paling memungkinkan bagi stasiun 10 adalah stasiun 8. Dalam pengukuran sebenarnya, sudut inklinasi dari stasiun 10 ke stasiun 8 adalah  $-90^\circ$  sehingga apabila urutan stasiun dibalik, sudut inklinasi ini juga harus turut dibalik menjadi  $90^\circ$ . Dari stasiun 10 ke titik 10\_4c terdapat jarak miring sebesar 10,075, sedangkan arah kompas dan klinometer merupakan kebalikan dari 4c ke 4c\_10, yaitu kompas  $270^\circ$  dan klinometer  $13,5^\circ$ .

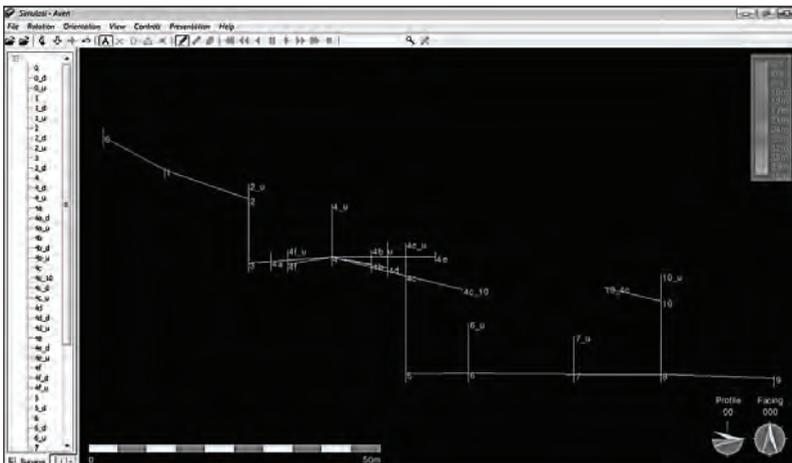
**Tabel 10.8** Lembar isian Survex dengan data yang telah dimodifikasi untuk menampilkan kerangka peta *extended elevation* gua Simulasi.

*begin			
0 1	12	90	-28
1 2	15.25	90	-19
2 3	10.91	90	-90
3 4	14.3	90	4
4 4a	10.53	270	-4
4 4b	6.88	90	-10
4 4c	13	90	-14

4 4d	9.7	90	-11	
4 4e	17.8	90	0	
4 4f	7.71	270	-9	
4c	5	16.74	90	-90
5 6	10.82	90	0.5	
6 7	18.09	90	-0.5	
7 8	14.93	90	0	
8 9	19.42	90	-2	
4c	4c_10	10.075	90	-13.5
8 10	12.45	90	90	
9 cs	0	90	0	
10	10_4c	10.075	270	13.5
;atas				
00_u	1.5	0	90	
11_u	0.5	0	90	
22_u	2.5	0	90	
44_u	9	0	90	
4a	4a_u	1.5	0	90
4b	4b_u	2.5	0	90
4c	4c_u	5.5	0	90
4d	4d_u	4.5	0	90
4e	4e_u	0.8	0	90
4f	4f_u	2.5	0	90
6 6_u	8.5	0	90	
7 7_u	6.5	0	90	
9 9_u	0.5	0	90	
10	10_u	4.5	0	90
;bawah				
00_d	1.5	0	-90	
11_d	1.5	0	-90	
22_d	1.5	0	-90	

Buku ini tidak diperjualbelikan.

33_d	1.5	0	-90	
44_d	1.5	0	-90	
4a	4a_d	1.5	0	-90
4b	4b_d	1.5	0	-90
4c	4c_d	1.5	0	-90
4d	4d_d	1.5	0	-90
4e	4e_d	0.7	0	-90
4f	4f_d	1.5	0	-90
55_d	1.5	0	-90	
66_d	1.5	0	-90	
77_d	1.5	0	-90	
88_d	1.5	0	-90	
99_d	1.5	0	-90	
10	10_d	1.5	0	-90
*end				



**Gambar 10.7** Kerangka Peta *Extended Elevation* Gua Simulasi

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Satu lagi yang perlu diusahakan agar peta gua yang dibuat dengan menggunakan kolaborasi dua program ini dapat mewakili dimensi lorong secara lebih lengkap adalah dengan membuat *cross section*. Kedua program ini tidak dilengkapi dengan fasilitas khusus untuk melakukan hal itu.

Peta, atau kerangka peta gua yang dihasilkan oleh Survex dan Aven dapat diposisikan dengan posisinya yang sebenarnya pada muka bumi. Untuk itu terlebih dahulu harus diketahui koordinat dari suatu titik ikat dalam rangkaian pengukuran. Titik ikat yang akan dipergunakan adalah stasiun 0. Seandainya koordinat stasiun tersebut adalah 539107 E, 9086446S, dengan elevasi 69 meter dari permukaan laut maka nilai koordinat dapat dimasukkan ke dalam lembar isian di bawah perintah \*begin. Perintah memasukkan koordinat bagi titik ikat stasiun 0 adalah:

```
*fix 0 539107 9086446 69
```

Dengan perintah tersebut, koordinat seluruh rangkaian pengukuran akan mengalami penyesuaian.

Survex dapat menggabungkan rangkaian-rangkaian survei yang berbeda ke dalam satu rangkaian, asalkan terdapat titik ikat yang sama pada rangkaian-rangkaian yang berbeda tersebut. Cara menyambung dua rangkaian survei gua adalah dengan menulis perintah \*equate. Contoh: Diandaikan gua Simulasi ternyata berhubungan dengan gua lain, sebut saja gua Karang, di mana stasiun 9 gua Simulasi ternyata merupakan titik yang sama dengan stasiun 34 pengukuran gua Karang. Agar data kedua gua dapat tergabungkan, terlebih dahulu perintah \*begin dan \*end pada kedua tabel harus diikuti dengan nama gua. Perintah \*begin dan \*end pada Tabel 10.8 harus ditambah dengan nama gua sehingga menjadi \*begin Simulasi dan \*end Simulasi. Demikian juga dengan lembar isian gua Karang. Langkah untuk menggabungkan data dua lembar isian, adalah dengan membuat satu lembar Survex baru di mana dituliskan perintah sebagai berikut:

```
*include Simulasi.svx
*include Karang.svx
*equate Simulasi.9 Karang.34
```

Lembar tersebut kemudian diproses sehingga menghasilkan *file* dengan nama yang sama dengan ekstensi 3d. Apabila *file* 3d ini dibuka, akan tampil suatu peta yang merupakan hasil penggabungan peta gua Simulasi dan gua Karang.

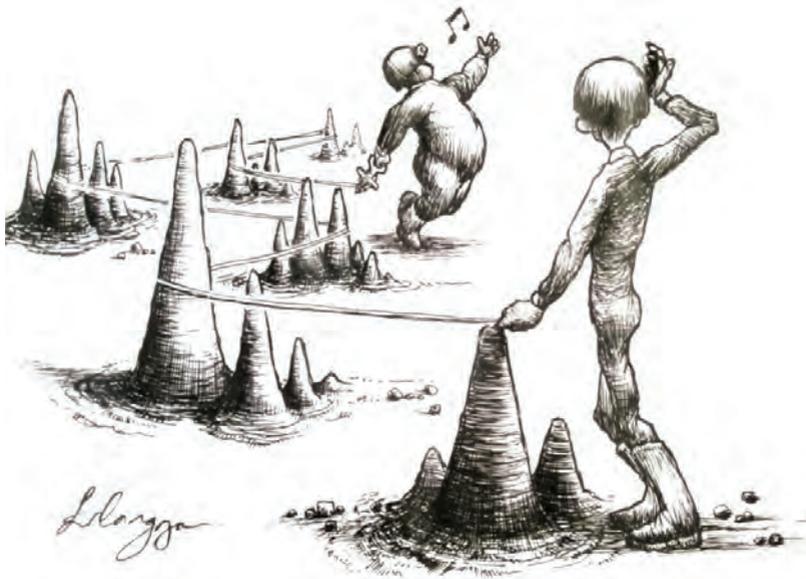
Hasil pemrosesan Survex dapat diekstrak sebagai *file* yang berisi angka-angka koordinat dari *file* Survex Processed Data. Dengan menekan tombol klik kanan pada *file* tersebut, kemudian mengklik pada pilihan *Convert for hand plotting*, akan muncul *file* baru yaitu Simulasi.pos. *File* ini berisi daftar koordinat serta nama seluruh stasiun pengukuran.

Apabila penggambaran peta akan dilanjutkan dengan menggunakan program grafis yang lain, semisal AutoCAD, data berupa titik stasiun dan *centerline* dapat diekspor dalam format DXF. Cara untuk mendapatkan *file* dalam format DXF hampir sama dengan cara mengekstrak koordinat, hanya saja pilihan yang diklik adalah *Convert to DXF*. *File* DXF juga dapat diperoleh dengan memanfaatkan fasilitas *export as* pada program Aven. Dengan program seperti AutoCAD, arah detail dinding kanan dan kiri lorong dapat diperbaiki. AutoCAD juga menyediakan berbagai sarana untuk melanjutkan proses penggambaran hingga peta gua dalam format standar dapat diselesaikan.

Kerangka peta dari sudut pandang yang diinginkan juga dapat disimpan dalam format JPG untuk selanjutnya diolah hingga menjadi peta gua yang lebih lengkap, baik sebagai peta tampak atas, tampak samping, maupun tiga dimensi. Penggambaran peta gua dapat dituntaskan dengan berbagai program grafis yang banyak tersedia seperti Corel Draw dan Adobe Photoshop.

Program Survex sudah cukup lama membantu pekerjaan survei gua di Indonesia, tetapi sejak tahun 2018, sebagian *surveyor* gua, termasuk di Indonesia, mulai menggunakan program bernama Topodroid. Topodroid adalah sebuah aplikasi berbasis Android, dan oleh karena itu dapat dijalankan hanya dengan menggunakan perangkat *smartphone* Android. Keunggulan aplikasi ini adalah dapat langsung mengunduh data dari perangkat pengukuran DistoX, DistoX2, SAP5, dan BRIC4 melalui Bluetooth. Dengan menggunakan

*smartphone*, aplikasi ini dapat dioperasikan di dalam gua, di mana *surveyor* dapat menggunakan berbagai fasilitas yang sudah tersedia untuk menggambar kerangka pengukuran serta sketsa dan detil lorong. Memanfaatkan keunggulan *smartphone*, pengguna *topodroid* dapat melengkapi data pemetaan dengan *in-cave-picture* dan *voice note* apabila diperlukan. Satu lagi fitur penting yang dimilikinya yaitu geolokasi. Fitur ini dapat digunakan untuk menentukan koordinat mulut gua sehingga seluruh lorong gua dapat diposisikan sesuai dengan sistem koordinat global.



Buku ini tidak diperjualbelikan.

## SURVEI GRADE 6

Pada saat-saat tertentu, muncul kebutuhan akan survei dengan akurasi yang lebih tinggi dari sekadar survei *grade 5*. Dalam sistem *grade BCRA*, hanya ada dua pilihan *grade* yang memiliki tingkat akurasi melampaui *grade 5*, yaitu *grade 6* dan *grade X*. Sudah diketahui bahwa survei dengan *grade X* memiliki potensi untuk menjadi lebih akurat dibanding dengan seluruh *grade* yang lain. Namun survei akurat dengan *grade X* hanya dapat dicapai dengan menghabiskan banyak waktu dan biaya. Bila yang diharapkan adalah hasil pengukuran yang lebih akurat dari *grade 5*, namun harus dilakukan dengan waktu dan dana yang terbatas maka *grade 6* adalah pilihan paling masuk akal.

Survei gua dengan akurasi *grade 6* akan diperlukan misalnya pada saat dilakukan pemetaan pada suatu *maze cave system*, yaitu sistem gua dengan banyak percabangan yang membentuk suatu labirin. Pada sistem gua semacam itu setidaknya harus ada satu rangkaian pengukuran berbentuk poligon tertutup yang akan dipergunakan sebagai poligon utama. Sebagai poligon yang akan berperan sebagai induk bagi poligon-poligon dengan orde yang lebih rendah, poligon utama harus diukur secara lebih teliti dari poligon-poligon lain.

Langkah awal bagi tercapainya akurasi yang ditentukan agar suatu survei dapat digolongkan ke dalam *grade 6* adalah membentuk *mindset surveyor*. *Mindset* seorang *surveyor* dalam mengejar akurasi

*grade 6* adalah melakukan segala sesuatu yang berhubungan dengan pengukuran secara seteliti mungkin. Termasuk di dalamnya adalah mengenal karakter peralatan surveinya hingga serinci mungkin. Berbekal *mindset* serta hubungan yang nyaris bersifat personal dengan peralatan surveinya, seorang *surveyor* dapat menentukan kiat-kiatnya sendiri agar dapat memaksakan peralatan ukurnya untuk mencapai batas ketelitian yang lebih tinggi.

## A. Lebih Jauh Tentang Kompas

### 1. Kesalahan Internal yang Bersifat Inheren

Setiap alat ukur yang beredar di pasaran, diproduksi dengan standar kualitas tertentu. Tiap produsen mengeluarkan berbagai tipe yang masing-masing memiliki kemampuan berbeda dalam mencapai tingkat akurasi. Dapat dikatakan bahwa seluruh alat ukur, dalam hal ini kompas, yang diproduksi dalam tipe dan seri yang sama dirancang untuk memiliki tingkat akurasi yang sama. Secara umum hal itu memang benar, namun apabila diperhatikan secara lebih teliti (dan inilah yang selalu dilakukan oleh *surveyor* yang gemar mengejar akurasi *grade 6*), sebenarnya masing-masing kompas juga merupakan individu yang unik, yang memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Suatu kompas memiliki kemampuan mencapai akurasi pengukuran yang berbeda dari kompas lain, meskipun keduanya berasal dari tipe dan seri yang sama dan dibuat oleh produsen yang sama. Kemampuan individual yang berbeda disebabkan oleh ketidaksempurnaan yang dimiliki oleh tiap kompas. Akibatnya adalah setiap pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan kompas akan mengandung kesalahan internal yang bersifat inheren (*inherent internal error*). Beberapa kesalahan yang diuraikan di bawah ini dapat digolongkan sebagai *inherent internal error*.

### 2. Kesalahan Eksentrisitas (*Eccentricity Error*)

Kesalahan ini terjadi pada saat proses produksi alat, yaitu penempatan poros *dial* tidak tepat berada pada pusat lingkaran kompas. Tidak ada kompas, bahkan yang berkualitas tinggi sekalipun, yang tidak

berpeluang memiliki kesalahan semacam ini. Setelah lepas dari proses produksi, kesalahan eksentrisitas masih dapat bertambah besarnya, yaitu apabila kompas mengalami benturan keras.

Istilah lain bagi kesalahan seperti ini adalah kesalahan *centering*. Kesalahan *centering* sebesar 0,1 mm akan menyebabkan kesalahan sistematis sudut sebesar  $\pm 0,3^\circ$ . Besarnya kesalahan sudut kompas yang disebabkan oleh kesalahan eksentrisitas diduga dapat mencapai  $1^\circ$ . Pada lorong gua yang berkelok-kelok, kesalahan jenis ini dapat dianggap sebagai kesalahan acak, namun pada lorong yang cenderung lurus dan panjang, kesalahan seperti ini merupakan kesalahan bias (*bias error*) (Brod, 1998).

Kesalahan eksentrisitas dapat diatasi dengan menerapkan metode pengukuran *fore and backsight*. Dengan cara ini, dalam tiap pasang stasiun diperoleh dua angka hasil pengukuran. Apabila keduanya dirata-rata maka akan diperoleh angka yang bebas dari kesalahan eksentrisitas (Palmer, 2002).

### 3. *Deadband*

*Deadband* adalah kesalahan yang bersifat acak dan disebabkan oleh adanya friksi antara bantalan *dial* dan ujung *pivot* yang berperan sebagai poros *dial*. Jarum, atau *dial* kompas seharusnya dapat bergerak bebas untuk mengejar arah utara magnet. Saat kompas diputar dari satu arah ke arah lainnya, jarum atau *dial* kompas akan bergerak hingga penunjuk arah utaranya mengarah pada kutub utara magnet bumi. Namun friksi yang terjadi akibat mekanisme poros, menyebabkan jarum akan berhenti berputar sebelum benar-benar tepat menunjukkan arah utara. Wilayah di mana jarum kompas tidak dapat berputar sebagai akibat dari friksi inilah yang disebut sebagai *deadband*. Besarnya sudut *deadband* bervariasi pada masing-masing kompas tergantung pada siapa yang membuatnya dan juga pada kualitas individu si kompas.

Terdapat korelasi antara usia pakai kompas dan besarnya sudut *deadband*. Semakin tua usia pakai suatu kompas, besar sudut *deadband* cenderung bertambah besar. Meski demikian, pada umumnya

kesalahan yang disebabkan oleh *deadband* bukanlah suatu hal yang perlu dikhawatirkan, karena biasanya besar sudut *deadband* hanya satu per sekianpuluh derajat.

Dari pengujian yang dilakukan pada sampel dalam jumlah terbatas, yaitu beberapa unit kompas Suunto tipe KB dari berbagai seri dan usia, didapati bahwa Suunto KB-20 keluaran lama memiliki sudut *deadband* paling kecil. Suunto KB-14 produksi baru memiliki performa bagus dengan sudut *deadband* minimal dan kesalahan sistematis yang kecil. Suunto KB-14 produksi lama memiliki *deadband* dan kesalahan sistematis yang lebih besar. Hal ini diduga disebabkan oleh ujung jarum pivotnya yang sudah tumpul. Sedangkan Suunto KB-20 keluaran baru dengan *casing* plastik justru memiliki sudut *deadband* yang tergolong besar (Brod, 1998).

#### **4. North Alignment Error**

Ketidaksesuaian antara bacaan jarum kompas dengan jalur pembidikan optis (*optical sighting path*) saat suatu kompas diarahkan ke utara magnet disebut dengan istilah *North alignment error*. Perbedaan sudut yang terjadi bersifat bukan acak (konstan) dan akan merupakan kesalahan bias yang memengaruhi setiap bacaan.

#### **5. Kesalahan Penggunaan**

Golongan kesalahan berikutnya disebabkan oleh cara *surveyor* menggunakan kompas. Yang termasuk dalam kesalahan penggunaan antara lain adalah:

##### **a. Kesalahan Pembacaan (*Sighting Error*)**

Dalam beberapa percobaan yang dilakukan dalam kondisi ideal dengan kompas Suunto yang terpasang pada kedudukan yang kokoh, Brod (1998) mendapati bahwa kesalahan pembacaan sangatlah kecil, yaitu antara 0,1 hingga 0,2°. Pada pemakaian dengan kondisi di dalam gua, kesalahan ini akan bertambah besar. Kondisi terbaik adalah pada saat kompas dipegang erat dan ditekan pada suatu permukaan kokoh, misalnya bongkahan batu besar. Tanpa dukungan benda padat, atau tanpa dukungan sama sekali, sedikit saja getaran dan pergerakan otot

dada dan diafragma akan memberi pengaruh yang cukup signifikan pada ketidakstabilan posisi. Sebagai tambahan, faktor-faktor lain, seperti penerangan target yang tidak berada tepat di atas stasiun target, atau kompas tidak berada tepat di atas stasiun pengukuran, akan menyebabkan terjadinya kesalahan. Semua bentuk kesalahan-kesalahan pembacaan ini sepenuhnya bersifat acak.

### **b. Kesalahan Target Miring (*Inclined Target Error*)**

Dengan cara pembidikan pada kompas Suunto, suatu target yang berada pada inklinasi (kemiringan) dengan sudut tertentu tidak akan dapat dibidik dengan akurat. Atas alasan ini, dipergunakanlah batang kaca reflektif/refraktif untuk membidik target yang berada pada sudut inklinasi besar. Untuk mencapai bacaan yang akurat, kompas dan batang kaca yang terpasang haruslah dipergunakan dalam posisi benar-benar datar. Kesalahan sudut mendekati proporsional dengan besarnya sudut condong kompas dikalikan dengan tangen sudut inklinasi. Pada sudut inklinasi  $45^\circ$ , di mana angka tangen adalah 1,0, kesalahan yang diperoleh adalah sama dengan sudut condong kompas. Piringan angka pada kompas Suunto tidak dapat dijadikan indikator yang baik bagi kedataran posisi kompas, karena tidak semua piringan kompas benar-benar datar. Bahkan apabila piringan tersebut benar-benar datar, mendatarkan kompas dengan menggunakan panduan piringan adalah bukan hal mudah, dan hasilnya pun belum tentu akurat. Kesalahan yang disebabkan oleh hal ini bersifat acak dan dalam situasi pemetaan sesungguhnya dapat mencapai angka sebesar 5 atau 6 derajat.

## **6. Pengujian Kompas**

Sudah selayaknya, seorang *surveyor* memahami karakter alat ukur yang diandalkannya dalam melakukan pemetaan. Cara terbaik untuk memahami alat ukur adalah melakukan pengujian dengan alat uji standar. Bagi pengguna kompas Suunto yang tidak memiliki akses pada fasilitas pengujian kompas, dapat melakukannya dengan meja kayu atau permukaan lain yang datar dan tidak bersifat magnetis. Letakkan kompas pada salah satu sudut dan tunggu hingga piringan

kompas benar-benar berhenti bergerak. Selanjutnya putar kompas dengan cepat dengan sudut sebesar lima hingga sepuluh derajat dan perhatikanlah piringannya. Piringan itu seharusnya segera berputar menuju posisi tetap dan berhenti tanpa terlihat lambat atau meragukan. Tentukan dua sasaran dengan lebar sudut yang kecil, kemudian bidik keduanya secara bergantian hingga beberapa kali. Semua hasil bacaan kompas pada target pertama seharusnya hampir sama besarnya. Pergerakan piringan yang responsif serta bacaan pada target yang hasilnya berdekatan merupakan indikasi bahwa performa kompas tersebut masih baik (Brod, 1998).

## 7. Gosip Kompas

Setelah membaca 220 halaman yang membosankan, marilah kita sejenak mengurangi kejenuhan dengan mengulas empat produsen kompas ternama yang nama produknya berkali-kali muncul dalam buku ini –Suunto, Brunton, Silva, dan Sisteco –dari sudut pandang selain teknis. Ulasan singkat yang dirangkum oleh Thurn (2002) ini akan membuka wawasan, betapa di jaman perekonomian global ini, kita tidak dapat lagi merasa yakin bahwa kompas yang kita pergunakan dibuat oleh produsen yang namanya tertera sebagai merek dagang pada kompas tersebut.

Kisah diawali pada tahun 1894, ketika D.W. Brunton mempatenkan *Brunton pocket transit compass*. Selama 75 tahun, kompas transit saku tersebut diproduksi oleh Wm. Ainsworth & Sons, namun sejak tahun 1965, kepemilikan atas perusahaan ini terus berpindah tangan di antara para konglomerat. Di tangan para penanam saham ini, industri kompas hanyalah dianggap sebagai ladang investasi belaka, sebagai cadangan apabila lahan bisnis yang lain mengalami masa surut. Keadaan seperti ini menyebabkan industri kompas Brunton tidak ditangani dengan sepenuh hati, tidak heran bila dalam periode tersebut, kualitas produk Brunton sempat mengalami penurunan. Pada tahun 1972 sekelompok pengusaha dari Riverton, Wyoming, membeli perusahaan William Ainsworth, lengkap beserta peralatan

produksi dan nama Brunton. Mulai saat itu kompas Brunton dibuat oleh perusahaan Brunton sendiri.

Pada tahun 1996, Brunton dibeli oleh Silva Sweden AB. Perusahaan Swedia yang merupakan produsen kompas terbesar di dunia. Sebelumnya, pada tahun 1990 Silva juga telah membeli Sisteco, produsen kompas terkemuka dari Finlandia. Pada sekitar masa itu juga, Silva memutuskan hubungan dengan perusahaan importir Amerika Serikat, “Johnson Worldwide Associates” (JWA) dan mengalihkan impor mereka melalui Brunton. Celakanya, JWA adalah pemilik merk dagang Silva bagi pasar Amerika Serikat dan Kanada, dan mereka bersikeras tidak mau melepaskan kepemilikan tersebut kepada Silva. Agar dapat tetap menjual kompas Silva, JWA, yang belakangan berganti nama menjadi Johnson Outdoors, Inc. meminta Suunto untuk memproduksi alat ukur dengan merk Silva. Sedangkan Silva yang sesungguhnya, yang tidak memiliki hak untuk menggunakan merk Silva di Amerika Serikat, bekerjasama dengan Brunton untuk memasarkan produknya bagi pasar Amerika utara dengan merk Brunton, Elite, dan Nexus.

Salah satu akibat dari persaingan itu adalah terjadinya saling klaim desain kompas, di antaranya Silva yang mengklaim seluruh produk yang dulunya disebut sebagai kompas Sisteco. Akibat lebih jauh lagi adalah munculnya jajaran produk kompas yang memiliki desain yang hampir serupa dari produsen yang berbeda, misalnya antara produk-produk Brunton dan Sisteco, atau antara kompas Suunto MC-1 dan Silva Ranger.

Selain meminta Suunto untuk memproduksi kompas bermerk Silva, Johnson Outdoors, Inc. juga mendapatkan Silva lensatic 360 compass dari Taiwan, tetapi sejak tahun 2008, jumlah terbesar dari kompas Silva yang dipasarkan oleh perusahaan ini adalah hasil produksi mereka sendiri dari pabrik milik mereka sendiri, yaitu PT Uwatec Batam, yang berlokasi di pulau Batam, Indonesia.

## B. Pemetaan *Grade 6*

Survei dengan standar *grade 6* dapat dicapai dengan menggunakan teknik-teknik serta peralatan yang telah dijelaskan pada bab-bab sebelumnya. Hal yang membedakan antara survei *grade 6* dengan *grade-grade* di bawahnya adalah, sekali lagi, penekanan pada ketelitian pengukuran. Untuk mengejar ketelitian hingga mencapai tingkat yang diharapkan, tidak ada cara yang dianggap sebagai standar, semuanya tergantung pada gaya atau kebiasaan masing-masing *surveyor*.

### 1. *Fore and Backsight*

Di antara beberapa metode survei gua, metode *fore and backsight* adalah yang paling mendukung bagi tim survei yang mengejar tingkat ketelitian data. Dengan menggunakan metode ini, akurasi data dapat ditingkatkan karena tiga hal berikut ini:

#### a. *Crosscheck Data*

Setiap hasil pengukuran yang dilakukan ke belakang dapat dipergunakan untuk melakukan *crosscheck* terhadap pengukuran sebelumnya, yang dilakukan dari stasiun belakang ke stasiun pengukuran saat ini. Dengan cara ini, apabila terjadi *blunder*, dapat segera dilakukan antisipasi.

#### b. *Rata-Rata Data*

Hasil pengukuran *backsight* dirata-rata dengan hasil pengukuran *foresight* dari stasiun sebelumnya untuk memperoleh angka pengukuran yang lebih akurat. Melakukan perataan pada dua hasil pengukuran yang saling berhadapan dapat menekan kesalahan-kesalahan sistematis.

#### c. *Pengukuran Sudut Dalam*

Pada pengukuran di daerah yang memiliki gangguan magnetis cukup besar, kompas akan tetap dapat dipergunakan hanya dengan teknik *fore and backsight*. Dalam kasus seperti ini, sebenarnya kompas bukan lagi berfungsi sebagai kompas, atau penunjuk arah, melainkan ia lebih berfungsi sebagai busur untuk mengukur besarnya sudut antara dua stasiun di belakang dan di depan stasiun pengukuran.

Di sini, pemetaan yang dilakukan sudah tergolong sebagai pemetaan nonmagnetis, meskipun dilakukan dengan menggunakan alat ukur magnetis.

Penerapan teknik ini berdasar pada asumsi bahwa semua pengukuran (sudut horizontal) dari suatu titik yang sama, memiliki angka *offset* yang sama terhadap utara magnet (Halleck, 1999). Artinya meskipun terdapat anomali magnetis yang cukup besar baik oleh faktor alam maupun buatan, seperti misalnya instalasi logam dan listrik di dalam gua, sudut yang terukur pada kompas adalah tetap benar, asalkan selama dilakukan pengukuran tidak terjadi perubahan posisi dan intensitas sumber anomali. Asumsi di atas menjadi tidak berlaku apabila terjadi perubahan posisi serta intensitas anomali magnetis pada saat pengukuran dilakukan.

## 2. Jarak Antarstasiun

Dengan mempertimbangkan bahwa salah satu syarat untuk mencapai *grade 5* adalah akurasi posisi stasiun yang tidak boleh lebih besar dari 10 cm, para *surveyor* yang sangat memperhatikan ketelitian pengukuran menganjurkan jarak antara dua stasiun sebaiknya tidak terlalu jauh. Untuk dapat mencapai akurasi pengukuran yang disyaratkan oleh *grade 6*, jarak maksimal antarstasiun, yaitu 30 meter dianggap masih terlalu jauh. Pertimbangan mereka adalah pada jarak 30 meter, dengan akurasi pengukuran sudut horizontal sebesar  $0,5^\circ$ , dapat terjadi kesalahan sebesar  $30 \times \tan(0,50) = 0,26$ . Artinya dengan akurasi yang dimiliki oleh kompas yang direkomendasikan untuk dipergunakan dalam survei dengan *grade 5*, pengukuran dalam jarak 30 meter akan memungkinkan terjadinya kesalahan hingga 26 cm. Oleh karena itu, Stevens (2003) menyarankan agar jarak antara dua stasiun survei tidak lebih dari 20 meter. Dengan alasan yang kurang lebih sama, Palmer (2002) menganjurkan jarak antarstasiun tidak lebih dari 15 meter. Palmer juga menambahkan faktor kelengkungan atau kemuluran pita ukur sebagai alasan untuk menetapkan jarak di atas.

### C. Cepat dan Akurat

Kembali ke alasan ketika harus menentukan pilihan pada *grade* 6 alih-alih *grade* X, yaitu keterbatasan sumber daya berupa waktu, tenaga, dan barangkali keterampilan. Itu artinya ketika melakukan pemetaan dengan *grade* 6, kecepatan kerja tim survei seharusnya tidak terpaut jauh dengan ketika melakukan pemetaan dengan *grade* di bawahnya. Idealnya survei dengan *grade* 6 merupakan pemetaan yang memiliki karakter cepat dan akurat.

Profesor Art Palmer adalah seorang *surveyor* gua yang berdisiplin tinggi dalam hal ketelitian pengukuran. Dengan senjata utama kompas geologi Brunton, ia dapat melakukan pengukuran dengan kesalahan penutup koordinat rata-rata sebesar 0,05%. Ini berarti ketika melakukan pengukuran pada sebuah poligon tertutup sepanjang satu kilometer, kesalahan yang diperolehnya rata-rata hanya 0,5 meter.

Menurutnya, ada dua aturan umum yang harus ditaati untuk dapat mencapai ketelitian seperti itu, yaitu:

1. Minimalkan kesalahan *blunder* dengan mempercayakan pembacaan kompas pada orang yang telah menggunakan alat tersebut dalam waktu lama. Setiap bacaan (bahkan ukuran jarak) harus dilakukan setidaknya dua kali. Tidak perlu tergesa-gesa, karena yang paling lambat biasanya adalah si pembuat sketsa. Hindari pengalihan perhatian, jangan melakukan pemetaan dengan orang yang kecanduan ngobrol.
2. Kompas harus dikalibrasi dengan hati-hati. Hal ini sangat menentukan pada pekerjaan berskala besar di mana dipergunakan berbagai macam peralatan yang berbeda, dan atau ketika pemetaan berlangsung berkepanjangan hingga beberapa tahun. Jangan percaya pada deklinasi magnetis yang tercantum pada peta, karena keterangan seperti itu hampir selalu sudah tidak sesuai lagi. Bahkan sumber-sumber yang terpercaya sekalipun, misalnya peta-peta geologi, biasanya hanya mengandalkan pada model interpolasi dengan akurasi kasar bagi lokasi-lokasi tertentu. Selain itu, kebanyakan kompas memiliki kesalahan

internal yang bersifat inheren sehingga perlu dilakukan kalibrasi secara individual bagi setiap kompas terhadap arah utara sebenarnya. Tentukan jalur kalibrasi kompas di dekat gua, dan lakukan bidikan antara dua titik tetap di jalur tersebut, sebelum melakukan kegiatan pemetaan (akan lebih baik jika setelah itu dilakukan cek ulang terhadap hasil bacaan, untuk meyakinkan bahwa kompas tidak mengalami pergeseran selama perjalanan dan bahwa tidak ada badai magnetis jangka pendek yang sedang berlangsung). Cara yang dapat diandalkan dalam menemukan arah utara sebenarnya adalah dengan melakukan pengamatan bintang dengan menggunakan teodolit dan disesuaikan dengan waktu dan garis lintang. Cara berikutnya yang cukup memadai namun kurang dapat diandalkan adalah membidik dua titik yang dikenali pada peta topografi yang berada pada jarak cukup jauh. Kurangkan angka hasil bidikan dengan arah sebenarnya yang diperoleh dari pengukuran sudut peta, dengan cara ini akan diperoleh faktor koreksi yang harus ditambahkan pada setiap bacaan dalam pemetaan (Palmer, 2002).

Alasan Palmer memilih Brunton daripada Suunto adalah karena dapat dibaca tanpa harus berada begitu dekat dengan mata. Dengan demikian kemungkinan gangguan magnetis dari peralatan yang dibawa oleh *surveyor* dapat ditekan. Dengan Suunto, posisi kompas sulit untuk dipastikan berada tepat di atas stasiun pengukuran (atau berada pada elevasi yang pas dalam pengukuran vertikal). Menggunakan Suunto juga berarti kesulitan pada saat membidik sudut inklinasi besar. Susunan angka bacaan di dalam kompas Suunto yang terbalik dari kanan ke kiri juga dianggapnya membuka peluang untuk terjadinya *blunder* bagi pengguna yang kurang berpengalaman. Meski demikian, Palmer tetap mengandalkan Suunto ketika berada di medan yang terlalu berlumpur atau berair.

Untuk memposisikan kompasnya agar berada tepat di atas stasiun, Palmer menggunakan tripod dan pivot non magnetis yang telah dimodifikasi. Dengan cara ini, kesalahan sistematis yang disebabkan oleh pemakaian kompas tangan yang cenderung diposisikan agak

jauh dari titik stasiun dapat dikurangi. Tripod juga berfungsi sebagai dudukan yang datar dan stabil bagi kompas sehingga data pengukuran yang diperoleh akan lebih akurat. Tripod yang banyak mengandung unsur besi tidak layak dipergunakan karena dapat memengaruhi medan magnet. Untuk tujuan khusus ini, Brunton telah memproduksi tripod dan pivot nonmagnetis. Tripod juga dipergunakan untuk memasang alat bantu penanda sasaran yang dalam ini berupa sebuah senter kecil. Apabila pengukuran jarak dilakukan dengan menggunakan *laser disto* maka penanda sasaran ini dapat berupa lempengan pemantul yang dapat dibuat dari bahan apa saja asal tahan air, kuat, dan mudah dilihat. Dengan memasang alat ukur dan penanda sasaran pada tripod berarti stasiun-stasiun tersebut merupakan stasiun mengambang atau *floating station*. Posisi stasiun tetap perlu ditentukan dengan cara mengukur tinggi dari lantai hingga alat ukur atau penanda sasaran.

Bagi Palmer, penekanan pada akurasi tetap menjadi perhatian utama. Dengan menggunakan lensa tangan, bacaan dilakukan hingga ketelitian  $0,1^\circ$ , tanpa mengorbankan kecepatan kerja. Agar akurasi dan kecepatan kerja dapat terakomodir semua, ia lebih memilih *leapfrog method* ketimbang metode *fore and backsight*. Menurutnya cara ini sudah dapat mengatasi masalah-masalah kalibrasi pada alat ukur.

Untuk mempermudah bacaan presisi tinggi pada kompas Brunton, Palmer menganjurkan modifikasi dilakukan pada jarum kompas dengan memperuncing atau memperpanjang ujung jarum, khususnya bagi kompas Brunton keluaran baru, yang akurasinya tidak lagi sama dengan produk lama. Bagian lain yang juga perlu dijaga ketajamannya pada kompas Brunton adalah ujung *pivot*. Pada saat membaca kompas dan klinometer, lakukan dengan hati-hati untuk menghindari terjadinya kesalahan paralaks. Lakukan pengecekan kalibrasi pada klinometer untuk mengetahui besarnya kesalahan sistematis sehingga angka koreksi dapat ditambahkan.

## D. Loop Misclosure

Kualitas suatu *loop* atau poligon tertutup dapat dinilai dari besarnya kesalahan yang terakumulasi pada rangkaian pengukuran tersebut. Semakin kecil angka kesalahan berarti semakin teliti pengukuran yang dilakukan. Besarnya kesalahan pengukuran dapat diketahui dengan menghitung selisih antara koordinat awal dan koordinat akhir pengukuran, karena dalam suatu poligon tertutup, titik awal rangkaian pengukuran juga merupakan titik akhir pengukuran. Selain berdasarkan pada posisi, atau koordinat, kesalahan pengukuran juga terlihat dari besarnya sudut awal dan akhir pengukuran. Berikut ini adalah variabel-variabel yang dipergunakan untuk menentukan besarnya akumulasi kesalahan dalam suatu poligon tertutup.

1. Perubahan komponen horizontal,  $\arctan \frac{(\sqrt{dx^2+dy^2})}{L}$
2. Perubahan komponen vertikal,  $\arctan \frac{(dz)}{L}$
3. Kesalahan sudut keseluruhan,  $\arctan \frac{(\sqrt{dx^2+dy^2+dz^2})}{L} = \arctan \frac{E}{L}$
4. Perubahan panjang *leg* rata-rata,  $\frac{(\sqrt{dx^2+dy^2+dz^2})}{N} = \frac{E}{N}$

L : Panjang *loop*.

N: Jumlah *leg* dalam *loop*.

E : Kesalahan penutup *loop*. ( $dx$ ,  $dy$ ,  $dz$  adalah kesalahan dalam tiga dimensi).

B berkaitan dengan perubahan ekuivalen pada kalibrasi klinometer sehingga *loop* dapat tertutup secara vertikal jika kita hanya menggunakan pengukuran ke depan. A dan C adalah pengukuran sudut yang berkaitan dengan pergerakan horizontal dan total kesalahan penutup (Stevens, 2003).

A dan B seharusnya kurang dari  $0,5^\circ$  karena pembacaan dituntut untuk mencapai akurasi hingga satuan derajat terdekat. C hanya meru-

pakan kombinasi dari A dan B yang juga seharusnya kurang dari  $0,5^\circ$ .  $\tan 0,5 = 0.008727$ . Oleh karena itu, perbandingan antara kesalahan penutup *loop* dengan panjang *loop* adalah kurang dari 0,87%. Bila itu sudah tercapai maka *loop* tersebut baru dapat masuk ke dalam kriteria sudut bagi *grade 5* ( $E/L < 0,87\%$ ). D adalah rata-rata, dan pengalaman menunjukkan bahwa *leg* terpanjang biasanya memiliki panjang 2,5 hingga 3 kali dari angka rata-rata panjang *survey leg* (panjang maksimal *survey leg* 20 meter). Dengan *leg* terpanjang tidak boleh memiliki kesalahan posisi lebih dari 10 cm maka kesalahan posisi rata-rata bagi tiap *survey leg* seharusnya lebih rendah dari itu (3–4 cm).

# 12

## SURVEI GRADE X

### A. Survei Nonmagnetis

Survei nonmagnetis adalah survei khusus di mana proses pengukuran sudut horizontal dilakukan tanpa tergantung pada medan magnet bumi. Survei nonmagnetis dapat dilakukan dengan berbagai macam alat ukur nonmagnetis, mulai dari yang sangat sederhana dan dapat dirakit sendiri dari bahan-bahan yang tersedia di sekitar kita, hingga alat ukur digital yang sangat canggih. Dalam tabel penggolongan *grade* pemetaan gua yang dirilis oleh BCRA, disebutkan secara spesifik bahwa alat yang dipergunakan dalam pemetaan *grade X* bukanlah kompas, melainkan teodolit atau *total station*. Dengan demikian, pemetaan gua dengan *grade X* adalah survei nonmagnetis yang memiliki ketelitian pengukuran yang tinggi.

Dalam melakukan survei *grade X*, seorang *surveyor* tidak dituntut untuk memiliki *mindset* yang sama dengan yang harus dimiliki oleh *surveyor* yang melakukan survei *grade 6*. *Surveyor* tidak perlu memaksakan diri untuk mencari cara agar alatnya dapat bekerja dengan lebih teliti, karena alat yang dipergunakannya sudah dibuat untuk mampu bekerja dengan sangat teliti. Hal yang perlu dipikirkan dan dilakukannya hanyalah bagaimana mengoperasikan alat ukurnya dengan sebaik mungkin agar hasil pengukurannya dapat mencapai ketelitian yang diharapkan.

## 1. Kegunaan Survei *Grade X*

Survei gua dengan *grade X* hanya dilakukan apabila data yang ingin diperoleh diharuskan untuk memiliki tingkat akurasi tinggi atau tingkat detail tinggi, atau kedua-duanya.

### a. Survei Akurasi Tinggi

Survei gua dengan tingkat akurasi tinggi diperlukan guna mendukung suatu kegiatan yang keberhasilannya sangat ditentukan oleh ketelitian pengukuran di dalam gua. Salah satu contoh dari kegiatan semacam itu adalah pengeboran untuk pemanfaatan sumber daya air gua. Dalam kegiatan semacam ini, penentuan titik bor di permukaan serta kemiringan alat bor ditentukan dengan sangat teliti berdasarkan hasil pengukuran di atas dan di bawah permukaan. Kesalahan kecil dalam proses pengukuran atau penghitungan data dapat menyebabkan lubang bor gagal mencapai sasaran. Jika ketelitian semacam ini yang ingin dicapai, *grade* yang harus dipergunakan adalah *grade X*. Peralatan yang dipergunakan dalam survei dengan *grade* ini harus memenuhi syarat ketelitian tertentu. Dengan perkembangan teknologi saat ini, alat yang memenuhi syarat bagi tujuan ini adalah teodolit dan *total station*. Kedua alat tersebut memiliki akurasi bacaan sudut hingga satuan detik, serta dapat melakukan pengukuran jarak dengan ketelitian milimeter. Selain pada peralatannya, kekhususan survei *grade X* juga menuntut penerapan teknik ukur yang tepat serta tim survei yang memiliki keterampilan dalam mengoperasikan peralatan.

Pada contoh di atas, di mana pengukuran teliti diperlukan guna mendukung pekerjaan pengeboran lorong gua, data yang terutama harus didapat adalah data *centerline* lorong gua hingga ke titik yang hendak ditembus oleh lubang bor, serta *centerline* permukaan hingga ke titik di mana mata bor akan ditancapkan. Pada pekerjaan semacam ini, sebenarnya data utama yang diusahakan oleh *surveyor* bukanlah berupa peta, melainkan hanya berupa dua titik koordinat, satu di bawah permukaan, dan satu lagi di permukaan tanah.

Pada pekerjaan survei di mana toleransi bagi kesalahan pengukuran sedemikian kecil, *surveyor* harus memiliki pengetahuan tentang seberapa besar kesalahan yang telah dihasilkannya ketika melakukan suatu pekerjaan survei. Dari besar kesalahan yang telah diketahui, dapat ditentukan apakah data yang telah dikumpulkan tergolong akurat, kurang akurat, atau bahkan sama sekali salah. Untuk dapat mengetahui dengan pasti besarnya angka kesalahan pengukuran, jalur survei harus membentuk suatu rangkaian poligon tertutup. Besarnya kesalahan pengukuran juga dapat diketahui melalui pengukuran poligon terbuka yang kedua ujungnya tersambung pada titik kontrol yang memiliki akurasi tinggi.

Survei gua *grade X* pada dasarnya dilakukan dengan membawa peralatan serta teknik survei planimetri permukaan ke dalam lingkungan gua. Sementara BCRA maupun lembaga-lembaga serupa, tidak pernah menetapkan standar kualitas yang spesifik bagi *grade* ini, standar kualitas bagi survei planimetri secara umum telah lama ada dan berlaku di berbagai negara. Di Indonesia, standar yang berlaku adalah kontrol kualitas pengukuran poligon yang ditetapkan dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) (Badan Standarisasi Nasional, 2002), dan standar inilah yang akan kita gunakan.

Kontrol kualitas pengukuran poligon yang dicantumkan dalam SNI terdiri dari dua variabel di bawah ini:

- 1) Kesalahan penutup jarak tidak lebih dari 1: 6.000.

Perbandingan di atas merupakan perbandingan antara kesalahan posisi dengan total jarak datar suatu poligon. Dengan perbandingan tersebut, seandainya suatu rangkaian poligon memiliki total panjang 2.000 meter maka kesalahan posisi harus tidak lebih dari 333 mm.

- 2) Kesalahan penutup sudut tidak melebihi  $10''\sqrt{n}$  ( $n$ = jumlah titik poligon).

Besarnya sudut yang terukur pada dua stasiun yang merupakan stasiun awal poligon harus tidak berselisih melebihi toleransi di atas dengan sudut yang terukur pada saat pengukuran poligon

telah sampai di dua stasiun itu lagi. Sebagai contoh: Suatu poligon yang memiliki 100 stasiun, toleransi kesalahan penutup sudutnya adalah  $10''\sqrt{100}$

$$= 10'' \times 10$$

$$= 100''$$

$$= 0^{\circ}01'40''$$

- 3) Selain dua variabel yang telah dicantumkan di dalam SNI, sebenarnya ada satu lagi variabel kontrol kualitas pengukuran poligon, yaitu:

Kesalahan beda tinggi tidak lebih dari  $20 \text{ mm}\sqrt{D}$  ( $D$ = jumlah jarak dalam satuan kilometer).

Nilai elevasi yang terukur pada stasiun akhir poligon tidak berselisih melebihi toleransi di atas dengan nilai elevasi pada stasiun yang sama pada saat awal pengukuran. Toleransi elevasi di atas mensyaratkan suatu poligon yang memiliki jumlah jarak 2 kilometer tidak mengandung kesalahan beda tinggi melebihi  $20 \text{ mm}\sqrt{2}$

$$20 \text{ mm} \times 1,414$$

$$28,28 \text{ mm.}$$

## b. Survei Detail

Data yang dihasilkan oleh survei detail *grade* X dapat ditampilkan sebagai gambar, model, maupun animasi lingkungan gua. Semakin rapat datayang diperoleh, akan semakin realistis bentuk lingkungan gua yang dapat disajikan. Tampilan lingkungan gua berupa gambar, model maupun dalam bentuk animasi dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan. Data semacam ini sangat dibutuhkan oleh para insinyur teknik sipil sebagai acuan bagi perencanaan konstruksi bawah tanah. Bagi para ilmuwan, khususnya para arkeolog, perekaman detail terhadap posisi setiap temuan di dalam gua akan sangat membantu mereka dalam merekonstruksi kegiatan manusia yang pernah berlangsung di dalam lorong atau ceruk gua. Bagi kalangan yang lebih luas, gambar, model, atau animasi suatu gua dapat berperan sebagai

sarana edukasi yang dapat mereka pergunakan untuk memperoleh gambaran tentang lingkungan gua tanpa harus berbondong-bondong mengunjungi gua tersebut.

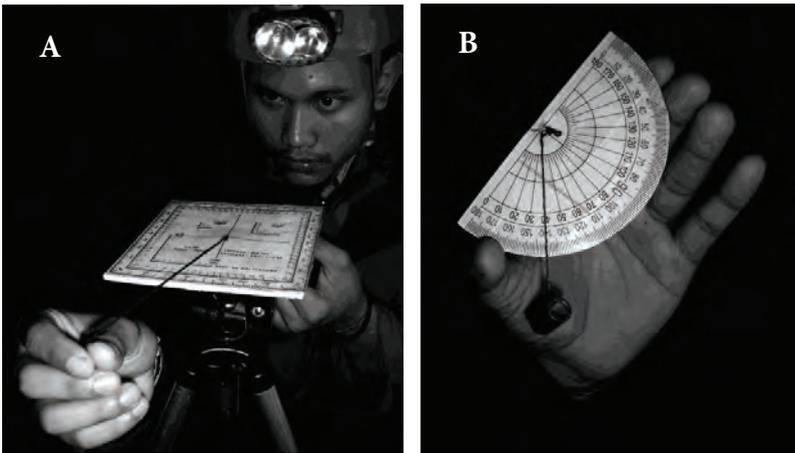
Alat *total station*, selain memiliki kelebihan dalam tingkat ketelitian pengukuran, juga mampu melakukan proses akuisisi data dengan cepat. Ia juga mampu mengolah serta merekam data pengukuran sehingga dapat menekan waktu kerja pada tahap akuisisi dan pengolahan data. Teknologi terbaru dalam bidang pemetaan telah melahirkan alat survei yang sangat canggih. Alat yang disebut sebagai *laser scanner* ini mampu melakukan pengukuran dan perekaman dengan akurasi tinggi sebagaimana alat *total station*, namun dengan kerapatan serta kecepatan yang jauh lebih tinggi. Selain itu, alat ini juga memiliki kemampuan merekam citra dalam bentuk foto, yang apabila digabungkan dengan data pengukuran, akan menghasilkan visualisasi lingkungan yang sangat realistis.

## B. Alat Ukur Nonmagnetis

Alat ukur nonmagnetis pada prinsipnya adalah alat pengukur sudut horizontal. Besarnya perubahan arah antarstasiun diketahui dari sudut yang terbentuk antara stasiun pengukuran, stasiun sebelumnya, dan stasiun berikutnya. Pada tataran yang paling sederhana, survei nonmagnetis dapat dilakukan dengan alat-alat yang sederhana. (Widjanarko, 2004). Sebagai pengukur sudut horizontal, tim survei dapat mempergunakan busur derajat atau *protractor*. Agar mudah terbaca di lingkungan yang gelap, tempelkan suatu lapisan berwarna terang pada sisi belakang busur atau *protractor*. *Protractor* biasanya terbuat dari selembar mika tipis sehingga sulit untuk membuatnya benar-benar datar. Untuk membuatnya kokoh dan datar, selembar bahan yang lebih keras, misalnya kayu lapis, plastik atau mika yang lebih tebal dapat ditempelkan pada sisi belakangnya. *Protractor* diposisikan mendatar untuk memperoleh angka yang merupakan besar sudut antara stasiun sebelumnya dan stasiun berikutnya. Seutas benang, tidak perlu terlalu panjang, dipasang pada pusat *protractor*. Benang ditarik sesuai dengan arah stasiun yang diamati. Angka yang ingin

diketahui adalah angka yang berhimpit dengan benang. Satu unit *tripod* diperlukan untuk mempertahankan posisi *protractor* pada saat dilakukan pembidikan.

Busur derajat juga dapat dipergunakan untuk mengukur kemiringan lorong gua. Untuk tujuan ini, busur perlu dilengkapi dengan seutas benang yang pada salah satu ujungnya dipasang pemberat, sedangkan ujung yang lain diikatkan pada pusat busur. Semakin besar ukuran busur dan *protractor*, ketelitian pembacaan akan semakin tinggi.



Keterangan: (A) *Protractor* yang terpasang pada tripod kamera  
(B) Busur derajat, benang, dan bandul pemberat untuk mengukur sudut vertikal

**Gambar 12.1** Alat Ukur Nonmagnetis Sederhana

Alat ukur canggih yang memang didesain untuk melakukan pengukuran nonmagnetis dengan ketelitian tinggi di antaranya adalah teodolit. Dengan teodolit, besarnya sudut horizontal diketahui dengan pembacaan busur yang terpasang di dalam alat. Selain mampu mengukur sudut horizontal, teodolit juga dilengkapi dengan perangkat pengukuran sudut vertikal dan jarak. Jarak diketahui dengan menghitung besarnya selisih antara angka-angka pada rambu ukur yang saat dilihat melalui lensa pengamatan terlihat berhimpit dengan

benang atas, benang tengah, dan benang bawah. Teodolit hanya dapat digunakan apabila dipasang pada statif (*tripod*) yang besar dan berat. Sebagai sasaran bidik dipergunakan rambu ukur.



**Gambar 12.2** Teodolit Wild T16

Perkembangan teknologi dalam bidang pengukuran telah melahirkan alat ukur yang digolongkan sebagai *Electronic Distance Measuring Instrument* (EDMI), atau instrument pengukur jarak elektronik. Alat ukur dari golongan ini mampu menentukan jarak secara lebih akurat dibandingkan teodolit biasa. Alat ini bekerja dengan memancarkan dan menerima kembali pantulan gelombang elektromagnetik yang dihasilkannya, baik yang berupa sinar maupun yang berupa gelombang renik (*microwave*) (Brinker dkk., 1986). Operator alat ini dapat

langsung mengetahui jarak yang diukur tanpa harus menghitung. EDM yang digabungkan dengan teodolit digital elektronik dan komputer dalam satu unit menghasilkan suatu alat yang disebut Instrumen Stasiun-Kotah (*Total-Station Instruments*), atau disebut juga takimeter elektronik (Brinker dkk., 1986).



**Gambar 12.3** Electronic Distance Measuring Instrument, Total Station Leica TC 805L

Secara umum, alat ukur yang mampu mengukur jarak, elevasi, dan arah disebut sebagai takimeter (*tachymeter* atau *tacheometer*), dan secara khusus, dalam bab ini, alat yang akan dibahas adalah *total station*. Setiap *total station* memiliki prinsip kerja yang sama, namun terdapat perbedaan dalam cara pengoperasian, serta istilah-istilah yang ditampilkan pada layar *display* dan panel instrumen.

Oleh karena itu, pembahasan akan lebih ditekankan pada prinsip-prinsip pengukuran serta permasalahan-permasalahan yang biasa dihadapi dalam survei *grade X*.

### 1. Perlengkapan Pendukung

Dalam survei *grade X*, dibutuhkan perlengkapan pendukung sebagai berikut:

a. Meteran

Dipergunakan untuk mengukur tinggi alat dan target dari titik stasiun. Meteran gulung logam yang biasa dipergunakan oleh tukang kayu cukup mudah dipergunakan untuk keperluan ini. Pilihlah meteran yang memiliki panjang tiga meter karena pada umumnya tinggi alat dan target tidak pernah mencapai lebih dari dua meter. Setidaknya dibutuhkan dua unit meteran seperti ini, satu unit untuk mengukur tinggi target, dan satu lagi dipergunakan untuk mengukur tinggi alat.

b. Lembar kerja

Seperti halnya dengan survei magnetis, survei *grade X* juga memerlukan pencatatan manual. Pencatatan manual bukanlah sesuatu yang mutlak diperlukan, namun dapat sangat bermanfaat, khususnya pada saat ditemui adanya kesalahan pengukuran.

### C. Pengujian dan Kalibrasi Alat Ukur Nonmagnetis

Alat teodolit maupun *total station* dipergunakan dalam survei *grade X* dengan tujuan untuk menghasilkan data pengukuran yang akurat. Untuk mencapai tujuan tersebut, setiap alat yang akan dipergunakan harus dipastikan dalam kondisi baik.

Dalam pemakaian sehari-hari, *surveyor* dapat melakukan pengujian sendiri terhadap ketelitian sudut horizontal alat survei yang dipergunakannya. Caranya adalah dengan melakukan pengukuran sudut teliti dari alat ukur kepada dua objek yang telah ditentukan. Pembidikan *backsight* dilakukan pada objek pertama yang berfungsi

sebagai acuan sudut  $0^\circ$ . Pembidikan *foresight* dilakukan pada objek kedua guna memperoleh angka besaran sudut horizontal. Setelah itu, sekali lagi dilakukan pengukuran pada kedua objek yang sama, namun kali ini dilakukan dengan posisi teropong berlawanan dari posisi normal, atau yang biasa disebut dengan istilah pengukuran luar biasa. Dari hasil pengukuran kedua ini akan diperoleh angka sudut horizontal yang seharusnya tidak terpaut jauh dari angka pengukuran pertama. Semakin kecil selisih antara hasil pengukuran biasa dan luar biasa, semakin baik ketelitian alat tersebut.

Cara pengukuran biasa dan luar biasa juga dapat diterapkan untuk menguji ketelitian sudut vertikal alat ukur. Untuk melakukannya, pengukuran cukup dilakukan pada satu objek atau sasaran dengan dua kali pengukuran. Selisih antara hasil pengukuran biasa dan luar biasa seharusnya adalah  $180^\circ 00' 00''$ .

Meski operator alat ukur dapat melakukan upaya untuk mengetahui tingkat akurasi pengukuran sudut dari alat yang akan dipergunakannya, namun ia tidak dapat melakukan reparasi untuk mengembalikan akurasinya. Reparasi dan kalibrasi alat ukur non-magnetis hanya dapat dilakukan dengan bantuan peralatan kolimator. Kalibrasi sebaiknya dilakukan secara berkala agar alat-alat ukur nonmagnetis selalu terjaga tingkat akurasinya.

#### **D. Metode Survei Nonmagnetis**

Perbedaan antara survei magnetis dan nonmagnetis terutama adalah pada cara menentukan besar sudut. Dalam survei magnetis, besar sudut, dalam hal ini sudut horizontal, diperoleh dengan mengacu pada medan magnet bumi. Semua angka azimut yang terbaca di dalam alat kompas merupakan besaran sudut antara  $0^\circ$  magnetis dengan arah sasaran yang dibidik. Sedangkan dalam survei nonmagnetis, pengukuran sudut horizontal bukan bergantung pada medan magnet bumi, melainkan pada posisi stasiun pengukuran yang berada di belakangnya. Hal tersebut menyebabkan survei nonmagnetis memiliki independensi dari medan magnet bumi yang membuatnya terbebas dari kesalahan pengukuran sudut horizontal yang disebabkan oleh anomali magnet maupun gangguan-gangguan medan magnet lainnya.

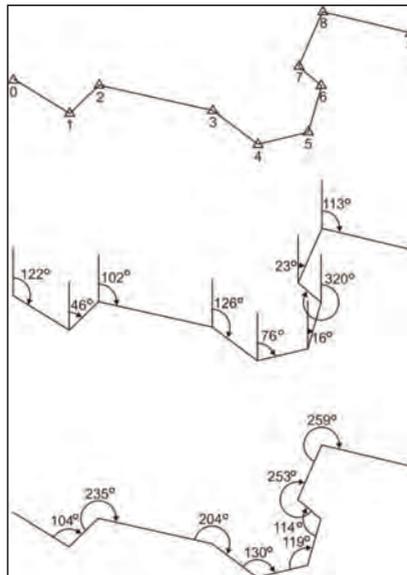
## E. Komponen-Komponen pengukuran

Sama halnya dengan grade di bawahnya, sudut dan jarak juga merupakan dua komponen utama dalam survei grade X. Hanya saja dalam grade ini, sudut dan jarak diukur dengan sangat teliti, dan dinyatakan dengan satuan yang sangat rinci.

### 1. Sudut Horizontal

Sudut horizontal yang diukur menggunakan alat teodolit dan *total station* dinyatakan dalam satuan derajat, menit dan detik, atau sepertigariubenamratus derajat. Besaran sudut diperoleh dengan cara *fore and backsight*, yaitu dengan mengukur target belakang sebagai acuan sudut horizontal  $0^\circ$  dan target depan. Selisih antara bacaan ke depan dan belakang tersebut adalah besarnya sudut horizontal.

Pembacaan sudut pada *total station* juga dapat disamakan dengan nilai azimuth, yaitu dengan menggunakan azimuth balik pengukuran sebelumnya sebagai angka pengunci sudut, menggantikan sudut  $0^\circ$ . Baik cara pertama maupun kedua, seharusnya menghasilkan angka selisih bacaan sudut *backsight* dan *foresight* yang sama besarnya.



**Gambar 12.4** Rangkaian Survei yang Terdiri dari 10 Stasiun Pengukuran

Gambar 12.4 adalah skema yang menjelaskan perbedaan utama antara pengukuran sudut horizontal pada survei magnetis dan survei nonmagnetis. Skema paling atas adalah tampak atas suatu poligon yang beranggotakan sepuluh titik stasiun pengukuran. Skema tengah adalah pengukuran dengan menggunakan alat ukur magnetis. Terlihat pada gambar tersebut, seluruh sudut horizontal merupakan bacaan azimut dari kompas yang besarnya selalu dimulai dari utara sebagai arah nol. Skema bawah menjelaskan pengukuran sudut horizontal dengan menggunakan alat survei nonmagnetis. Pengukuran sudut horizontal tidak mengacu pada arah utara magnet bumi, melainkan mengacu pada arah *backsight* sebagai besaran nol derajat.

## 2. Sudut Vertikal

Sudut vertikal yang terukur menggunakan teodolit atau *total station* dinyatakan dalam satuan derajat, menit, dan detik. Dua sistem pengukuran sudut vertikal yang dapat dipilih adalah horizontal 0 dan zenith 0. Dengan horizontal 0, sudut vertikal akan menunjukkan angka  $0^{\circ}00'00''$  pada saat teropong alat ukur diposisikan mendatar. Angka sudut akan bertambah apabila teropong diarahkan ke atas, hingga mencapai angka  $90^{\circ}00'00''$  pada saat posisi teropong menghadap tegak lurus ke atas. Apabila teropong terus diputar, sudut akan terus bertambah hingga mencapai angka  $180^{\circ}00'00''$  pada posisi teropong datar luar biasa. Sudut vertikal sebesar  $270^{\circ}00'00''$  dicapai pada saat teropong menghadap tepat ke bawah.

Sistem berikutnya adalah zenit 0. Pada sistem ini posisi  $0^{\circ}00'00''$  berada pada titik zenit, yaitu titik yang berada tepat di atas, tegak lurus dengan bidang horizontal. Apabila dibaca menggunakan klinometer, titik ini akan terbaca sebagai sudut  $90^{\circ}$ . Dengan sistem ini, semakin rendah sudut pengukuran, semakin tinggi angka bacaan yang tertera. Angka  $90^{\circ}00'00''$  akan tercapai apabila teropong alat ukur berada pada posisi horizontal sempurna. Bacaan akan mencapai angka  $180^{\circ}00'00''$  ketika posisi teropong menghadap ke arah titik nadir, atau titik yang tepat berada di bawah, yang mana merupakan bacaan yang mustahil didapat.

### 3. Jarak Miring

Dalam pengukuran menggunakan teodolit dan *total station*, jarak miring diperoleh dengan cara mengukur jarak antara poros teropong alat ukur dengan target. Alat ukur jenis level atau teodolit pada umumnya menggunakan bacaan benang atas, benang tengah dan benang bawah pada deretan angka yang tertera pada rambu ukur untuk mendapatkan jarak. Cara ini sangat tergantung pada kejelian *surveyor*. Jarak antara alat ukur dengan target dapat diketahui setelah melalui proses penghitungan. Sedangkan alat yang lebih modern melakukan pengukuran jarak dengan cara memancarkan sinar pada suatu objek dan menerima kembali pantulan dari objek tersebut. Dengan cara ini hasil pengukuran dapat diketahui hingga satuan milimeter pada saat itu juga. Pada alat yang lebih canggih, pemantulan cahaya dapat dilakukan tanpa bantuan prisma reflektor sehingga pengukuran dapat langsung dilakukan pada segala macam permukaan keras.

### 4. Tinggi Alat

Seluruh titik stasiun pengukuran pada survei gua dengan *grade X* merupakan *floating station*. Hal itu disebabkan oleh dimensi alat yang tidak memungkinkan poros pengukuran ditempatkan tepat pada titik stasiun sebenarnya.

Pada survei yang termasuk dalam golongan *grade 2* hingga *grade 5*, jarak antara alat ukur dengan titik stasiun hanya dinyatakan secara kasar berdasar tinggi mata *shooter* serta posisi tubuhnya saat membidik. Sedangkan dalam survei *grade X*, tinggi alat benar-benar diukur hingga satuan milimeter dari titik penanda stasiun hingga poros teropong alat ukur.

### 5. Tinggi Target

Pengukuran tinggi target dapat disamakan dengan tinggi mata *stationer* pada survei dengan *grade* yang lebih rendah, hanya saja dilakukan secara lebih teliti. Sebagaimana pengukuran tinggi alat, tinggi target juga diukur hingga satuan milimeter dari objek pengukuran hingga poros prisma reflektor. Dalam pengukuran yang menggunakan rambu ukur, tinggi target tidak perlu diukur, tinggi target terbaca dengan sendirinya dari angka pada rambu ukur yang terlihat berhimpit pada benang tengah.

## F. Akuisisi Data Survei *Grade X*

Sebagaimana halnya pada survei dengan grade yang lebih rendah, akuisisi data survei grade *x* pada dasarnya juga dilakukan untuk memperoleh data berupa komponen pengukuran sudut dan jarak. Hanya saja pada grade ini, akuisisi dilakukan dengan prosedur yang lebih rumit dan teliti. Berikut ini adalah prosedur akuisisi data survei grade *x*.

### 1. Titik Ikat

Pada survei nonmagnetis, dibutuhkan dua stasiun untuk mengawali pengukuran. Dari kedua stasiun awal inilah ditentukan koordinat serta azimuth yang nilainya akan diteruskan oleh stasiun-stasiun berikutnya. Oleh karena itu, kedua stasiun ikat ini harus terlebih dahulu diketahui koordinat dan azimuthnya sebelum mengawali survei grade *X*. Ada dua sistem koordinat dan azimuth yang dapat dipergunakan dalam survei grade *X*, yaitu sistem global dan sistem lokal.

Pada sistem global, koordinat global kedua titik ikat sudah diketahui, dengan demikian azimuth antar keduanya juga dapat diketahui. Untuk mengetahui koordinat global dapat dilakukan dengan menyambungkan kedua stasiun dengan jaringan pengukuran global yang telah ada, namun kendala di lapangan adalah keberadaan patok jaringan pengukuran global yang biasanya berada terlalu jauh dari mulut gua sehingga pengikatan akan memakan waktu sangat lama. Cara berikutnya adalah dengan melakukan pengukuran GPS geodetik untuk mendapatkan koordinat dua stasiun ini. Tentu saja pengukuran koordinat harus dilakukan di luar mulut gua karena GPS geodetik bekerja dengan menerima sinyal satelit. Kendalanya adalah peralatan GPS geodetik bukanlah sesuatu yang mudah didapat. Bilapun ada maka harus didapat dengan biaya yang cukup besar.

Apabila cara memperoleh koordinat global tidak atau belum bisa dilakukan maka dapat dipergunakan sistem yang kedua, yaitu sistem lokal. Dalam sistem ini koordinat awal dapat ditentukan sesuka hati, misalnya *easting* : 1000,000; *northing* :1000,000; dan elevasi : 100,000; demikian juga dengan azimuth awal. Hal demikian tidak

akan berpengaruh pada presisi pengukuran *grade* X, hanya saja karena bersifat lokal, hasil pengukuran tidak akan dapat digabung dengan hasil pengukuran yang dilakukan dengan sistem lain. Biasanya apabila terpaksa menggunakan sistem lokal, seorang *surveyor* akan menggunakan sistem lokal yang sedapat mungkin mendekati sistem global. Koordinat stasiun awal ditentukan dengan GPS navigasi dengan selisih mencapai beberapa meter dari koordinat global, dan azimut awal ditentukan atas dasar bacaan kompas.

## 2. *Levelling* dan *Centering*

Perangkat pengukur sudut vertikal dan horizontal yang mampu mengukur sudut hingga satuan detik akan berkurang akurasi apabila bekerja dalam posisi miring. Untuk mengatur posisinya agar benar-benar datar dilakukan dengan teknik *levelling*. Cara yang biasa dilakukan adalah dengan mengatur panjang pendek kaki-kaki *tripod*, serta tinggi rendah tiga roda pengatur pada *tribrach*. Indikator dari kedataran alat adalah tabung nivo yang terpasang pada alat dan pada *tribrach*. *Tribrach* adalah perangkat tambahan berupa dudukan bagi alat ukur agar dapat terpasang pada *tripod*. Beberapa alat ukur digital dilengkapi dengan nivo digital dan *tilt sensor*, atau sensor kemiringan yang dapat memperingatkan *surveyor*, atau bahkan menghentikan kerja alat apabila ia mendeteksi bahwa posisi alat ukur sudah melewati batas toleransi kemiringan.

*Centering* adalah proses penempatan poros horizontal alat ukur, agar berada tepat di atas titik penanda stasiun. Setidaknya ada tiga cara yang dapat dilakukan untuk melakukan *centering*. Cara pertama adalah dengan bantuan unting-unting atau bandul besi berbentuk kerucut yang digantungkan pada seutas benang. Cara berikutnya menggunakan *optical plummet*, yaitu seperangkat lensa dan prisma yang terpasang pada bagian bawah alat ukur untuk mengamati objek yang berada tepat di bawahnya. Teknik *centering* ketiga adalah menggunakan *laser plummet*, yaitu pemancar sinar laser pada bagian bawah poros horizontal alat ukur. *Laser plummet* sangat memudahkan ketika melakukan *centering* di lingkungan yang gelap, seperti di dalam lorong gua.

*Levelling* dan *centering* dilakukan sebelum pengukuran dilakukan. Tetapi selama proses pengukuran, apabila dirasa perlu, *levelling* dan *centering* alat ukur dapat dilakukan lagi, namun setelah itu, sudut horizontal harus dikembalikan sesuai dengan sudutnya semula. Untuk menjaga agar posisi dan kedataran alat ukur tidak berubah, perlu diusahakan agar titik stasiun berada pada permukaan tanah keras dan stabil. Selain itu, mobilitas anggota tim survei di sekitar stasiun pengukuran sebaiknya juga dikurangi. Selain pada alat ukur, perlakuan *levelling* dan *centering* juga dilakukan pada prisma reflektor yang dipasang di atas titik stasiun target.

### 3. Input Data

Alat ukur *total station* memiliki kemampuan mengukur sudut dan jarak dengan sangat teliti. Dibandingkan alat teodolit biasa, alat digital ini memiliki kelebihan berupa perangkat pengolah data internal yang dapat langsung menghitung variabel-variabel pengukuran menjadi koordinat. Namun sebelum ia dapat bekerja dengan benar, *surveyor* harus memasukkkan posisi alat ini setiap kali ia berpindah stasiun. Tiga informasi yang harus disampaikan agar alat ini mengetahui posisinya dengan tepat adalah:

- a. Identitas stasiun tempat berdiri alat.
- b. Koordinat stasiun yang meliputi easting, northing dan elevasi.
- c. Tinggi poros vertikal alat dari titik stasiun.

### 4. *Backsight*

Setelah tahap input data, di mana *surveyor* memberi tahu posisi alat, langkah berikutnya adalah *backsight*, yaitu ketika *surveyor* memberitahu arah kepada alat ukur. Ada dua cara dalam melakukan *backsight*. Cara pertama adalah dengan memberitahu azimuth stasiun yang dipergunakan sebagai stasiun *backsight*. Cara kedua adalah dengan memberitahu koordinat stasiun *backsight*. Setelah tahu koordinat stasiun *backsight*, alat ini akan menghitung sendiri azimuthnya. Cara manapun yang dipilih, *surveyor* harus selalu memberi perhatian khusus pada saat melakukan pengukuran *backsight*, karena ini adalah langkah krusial yang menentukan akurasi seluruh hasil pengukuran berikutnya.

Pada umumnya alat *total station* dipergunakan dengan sistem sudut seksagesimal. Namun pada saat melakukan pengisian sudut horizontal, angka yang diinput adalah dalam format empat angka di belakang titik. Contohnya azimut  $127^{\circ}46'33''$  harus diinput dengan format 127.4633.

### 5. *Foresight*

Setelah tahap *backsight* selesai dilakukan dengan benar, alat *total station* sudah siap untuk melakukan pekerjaan apapun, namun sebaiknya pengukuran yang harus didahulukan adalah pengukuran *foresight*, yaitu pengukuran ke arah stasiun berikutnya. Stasiun yang akan diukur sebagai *foresight* adalah bagian dari kerangka pengukuran yang menentukan kualitas seluruh hasil pengukuran, oleh sebab itu pengukuran terhadapnya harus dilakukan dengan sebaik dan sesegera mungkin, selagi posisi alat belum banyak mengalami perubahan.

### 6. Pengukuran Satu Seri Rangkap

Dalam pengukuran nonmagnetis dikenal istilah pengukuran satu seri rangkap, yaitu pengukuran yang terdiri dari pengukuran biasa dan pengukuran luar biasa. Pengukuran biasa adalah pengukuran dengan posisi teropong menghadap ke depan, sedangkan pengukuran luar biasa dilakukan dengan posisi teropong terbalik. Pengukuran satu seri rangkap seperti ini bertujuan untuk mendapatkan dua sudut dalam, satu sudut dari pengukuran biasa, dan satu lagi dari pengukuran luar biasa. Dalam kondisi sempurna, besarnya sudut yang terukur antara pengukuran biasa dan luar biasa seharusnya memiliki nilai yang tepat sama, namun seperti apa yang telah diuraikan pada bab 6, setiap pengukuran cenderung mengandung kesalahan yang bersifat random dan sistematis. Apabila pengukuran biasa mengandung kesalahan sistematis dengan besaran tertentu, pengukuran luar biasa diharapkan juga mengalami kesalahan sistematis sebesar kebalikan dari kesalahan pengukuran biasa, atau kesalahan pengukuran biasa dikalikan -1. Dengan demikian, setelah dikalkulasi maka diharapkan kesalahan yang terjadi pada pengukuran biasa dan luar biasa akan saling meniadakan.

Idealnya, seluruh jalur poligon (*centerline*) diukur dengan cara ini, namun apabila hal tersebut sulit untuk dilakukan maka setidaknya pengukuran satu seri rangkap dilakukan pada poligon utama.

## 7. Pengukuran Detail Lorong

Pengukuran detail bertujuan untuk mendapatkan data dimensi lorong gua. Setidaknya ada empat unsur yang perlu diukur, yaitu dinding kiri, dinding kanan, atap, dan lantai, (*Left, Right, Up, Down*, atau disingkat LRUD). *Total station* menyediakan kemudahan bagi pengukuran seperti ini sehingga tidak sulit untuk mengumpulkan data lebih dari sekadar LRUD, terlebih apabila instrumen yang dipergunakan sudah dilengkapi dengan fitur *reflectorless EDM*.

Dalam sebuah kegiatan pengukuran di mana detail sangat diutamakan, dari satu stasiun pengukuran saja dapat dihasilkan data berupa ratusan titik pengukuran. Apabila tidak dikelola secara benar maka data sebanyak itu akan menimbulkan kerumitan dalam tahap penggambaran peta. Pengelolaan data dilakukan dengan cara mencantumkan nomor identitas, kode, serta kelompok pada setiap titik pengukuran.

Identifikasi dilakukan dengan mencantumkan identitas bagi masing-masing objek yang diukur. Identitas yang dicantumkan berupa angka yang unik dan berurutan sehingga setiap objek memiliki identitas yang berbeda dari objek yang lain. Identifikasi objek akan sangat membantu apabila terdapat kesalahan pengukuran atau penghitungan data pada objek yang diukur. Dengan sistem penomoran yang unik, kesalahan dapat dilacak hingga ditemukan stasiun yang bermasalah.

Atribut berupa kode dicantumkan pada tiap titik pengukuran sesuai dengan entitas yang diwakili oleh kode tersebut. Dasar untuk menentukan sistem kodifikasi dapat berbeda-beda, tergantung dari kebutuhan. Untuk menggambar bentuk lorong gua secara mendetail, sistem kode dapat dipilah berdasar pembagian segmen lorong gua seperti atap, dinding, dan lantai. Sedangkan untuk menggambar sistem hidrologi di dalam lorong gua, kode yang dicantumkan dapat berupa bagian-bagian dari suatu penampang sungai, misalnya tepi atas, tepi

bawah, dan tengah sungai. Untuk tujuan yang lebih spesifik dapat dibuat seperangkat kode khusus. Guna mempermudah pekerjaan, kode-kode ini cukup dicantumkan secara singkat, misalnya tepi atas sungai dicantumkan sebagai TA.

Pengelompokan dilakukan pada objek-objek yang diwakili oleh kode yang berbeda, namun merupakan bagian dari suatu entitas yang lebih besar. Sebagai contoh tepi atas, tepi bawah, dan tengah sungai dimasukkan ke dalam grup SUNGAI.

Pada saat pengukuran dilakukan tanpa menggunakan fitur *reflectorless* EDM, sebenarnya target yang diukur adalah prisma pemantul yang memiliki jarak vertikal tertentu dengan objek yang diukur, oleh karena itu jangan lupa untuk memasukkan tinggi tongkat penyangga prisma sebagai faktor koreksi sehingga elevasi yang terekam oleh alat ukur adalah elevasi sebenarnya dari objek yang diukur. Pada saat mengukur detail atap lorong, terkadang posisi tongkat harus dibalik agar dapat terlihat oleh alat. Apabila tongkat prisma harus dipergunakan secara terbalik, angka tinggi target juga harus dinyatakan secara terbalik. Misal tongkat sepanjang 2 meter diposisikan terbalik, sehingga pangkalnya menyentuh atap lorong, maka masukkan tinggi target sebesar -2.000 (minus 2 meter). Dengan cara ini maka elevasi atap akan terukur dan terekam dengan benar.



**Gambar 12.5** Pengukuran detail lorong gua Pulejajar menggunakan *total station* Nikon Nivo 2.M yang memiliki fitur *reflectorless* EDM

## 8. Pencatatan Secara Manual

Meskipun alat *total station* sudah dilengkapi dengan kemampuan untuk merekam data, namun untuk lebih baiknya tetap dilakukan pencatatan secara manual dalam lembar kerja. Pencatatan hanya dilakukan bagi data pengukuran poligon, bukan bagi data pengukuran detail. Salah satu fungsi dari pencatatan secara manual adalah untuk melakukan verifikasi terhadap pengukuran *backsight* sehingga apabila terjadi kesalahan, *surveyor* dapat segera mengetahui dan melakukan pengukuran ulang. Fungsi berikutnya dari pencatatan secara manual adalah untuk melakukan *crosscheck* data ketika dalam tahap pengolahan data dijumpai adanya kesalahan. Berikut ini adalah contoh format lembar kerja *total station*.

SURVEYOR :		DATE :	
AT	REAR ORIENTATION	TO	
STN :			
N :			
E :			
ELEV :			
INST/TARG HEIGHT :			
SET BACKSIGHT AZIMUTH :			
BACKSIGHT AZIMUTH :			
FORESIGHT AZIMUTH :			
FORWARD AZIMUTH :			
VERTICAL ANGLE :			
SLOPE DISTANCE :			
HORIZONTAL DISTANCE :			
VERTICAL DIFFERENCE :			
HEIGHT DIFFERENCE :			
FIRST POINT :		LAST POINT :	

AT	REAR ORIENTATION	TO	
STN :			
N :			
E :			
ELEV :			
INST/TARG HEIGHT :			
SET BACKSIGHT AZIMUTH :			
BACKSIGHT AZIMUTH :			
FORESIGHT AZIMUTH :			
FORWARD AZIMUTH :			
VERTICAL ANGLE :			
SLOPE DISTANCE :			
HORIZONTAL DISTANCE :			
VERTICAL DIFFERENCE :			
HEIGHT DIFFERENCE :			
FIRST POINT :		LAST POINT :	

**Gambar 12.6** Contoh Lembar Kerja Pengukuran Biasa *Total Station*

Gambar 12.6 adalah lembar kerja yang terdiri dari tiga kolom. Kolom pertama adalah kolom stasiun berdirinya alat. Pada kolom tersebut diisikan identitas stasiun, sebagai contoh adalah stasiun 2. Pada tiga baris berikutnya diisikan koordinat stasiun, yaitu easting, northing, serta elevasi. Ketiganya diisi dalam satuan meter, hingga tiga desimal. Baris berikutnya adalah tempat mengisi tinggi alat.

Kolom kedua adalah kolom isian stasiun *backsight*. Pada baris pertama hingga ke lima diisikan identitas stasiun, koordinat, dan tinggi target yang terpasang pada stasiun *backsight*. Dua baris di bawahnya sengaja digelapkan karena tidak ada data yang perlu diisikan. Baris-baris berikutnya adalah tempat mengisi data mentah stasiun *backsight* yang terdiri dari azimuth, sudut horizontal, sudut vertikal, jarak miring, jarak datar, jarak vertikal, dan beda tinggi.

Kolom ketiga adalah tempat isian bagi stasiun *foresight*. Lima baris paling atas disediakan untuk mengisi identitas, koordinat, serta tinggi target stasiun *foresight*. Selang dua baris terdapat baris-baris isian data mentah yang terdiri dari azimuth, sudut horizontal, serta jarak dan beda tinggi antara stasiun pengukuran dan stasiun *foresight*.

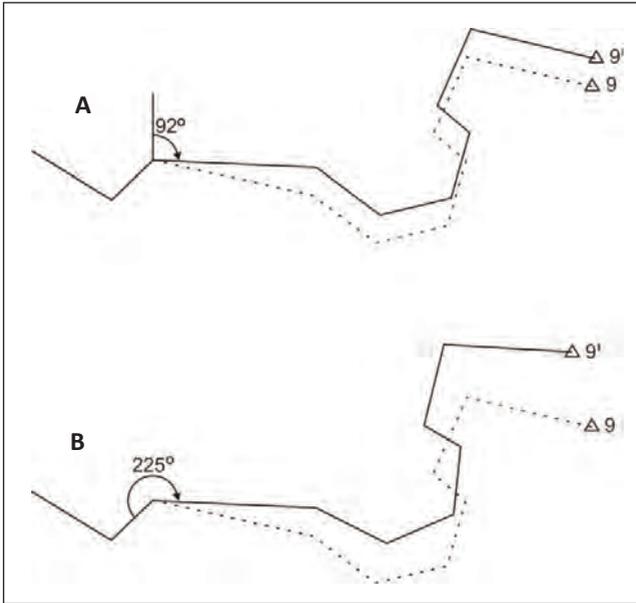
Selain tiga kolom di atas, pada bagian atas lembar kerja terdapat notasi yang diisi dengan nama *surveyor* serta tanggal pengambilan data. Di bagian bawah lembar kerja terdapat notasi *first point* dan *last point*. Di belakang dua notasi ini diisikan identitas (biasanya berupa nomor) pertama dan terakhir dari titik-titik pengukuran detail lorong yang dilakukan dari stasiun tersebut. Catatan ini gunanya adalah untuk menghindari penggunaan nomor identitas yang sama bagi pengukuran detail lorong di stasiun-stasiun berikutnya.

## **G. Kesalahan-Kesalahan dalam Survei *Grade X***

Kesalahan adalah suatu keniscayaan dalam kegiatan pengukuran, meskipun pengukuran tersebut dilakukan dengan ketelitian tinggi. Kesalahan pengukuran, khususnya pengukuran sudut horizontal dalam grade X, memiliki konsekuensi berbeda dengan kesalahan yang sama apabila dilakukan dengan survei magnetis.

### **1. Kesalahan sudut horizontal**

Seperti yang telah kita ketahui, dalam survei magnetis dengan alat ukur kompas, kesalahan dan ketidakteelitian pembacaan azimuth memiliki sifat akumulatif, artinya besarnya kesalahan posisi pada suatu stasiun merupakan penjumlahan dari seluruh kesalahan yang terjadi pada stasiun-stasiun sebelumnya. Dalam survei nonmagnetis, kesalahan pengukuran selain bersifat akumulatif, juga bersifat multiplikatif.



Keterangan: (A) Skenario kesalahan pengukuran sudut horizontal pada survei magnetis, (B) Skenario kesalahan pengukuran sudut horizontal pada survei nonmagnetis

**Gambar 12.7** Perbandingan Kesalahan Pengukuran Magnetis dan Nonmagnetis

Gambar 12.7 (A) menunjukkan skenario kesalahan pengukuran sudut horizontal pada survei magnetis sebesar 10 derajat yang terjadi pada stasiun 2. Setelah stasiun 2, yaitu mulai dari stasiun 3 hingga stasiun 9 diasumsikan tidak terjadi kesalahan pengukuran (meskipun hal ini sangat kecil kemungkinannya untuk terjadi, lihat bab 6 tentang kesalahan *random* dan kesalahan sistematis). Jarak datar antara stasiun 2 dan stasiun 3 adalah 26,5 meter, dengan kesalahan sebesar 10 derajat maka besarnya kesalahan posisi pada stasiun 3 adalah 4,56 meter. Apabila pada stasiun-stasiun berikutnya terjadi kesalahan, besarnya kesalahan akan terus ditambahkan. Pada contoh di atas, kesalahan hanya terjadi pada stasiun 2, meskipun demikian, mulai dari stasiun 3 hingga stasiun terakhir mengalami kesalahan posisi sebesar 4,56 meter.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Gambar 12.7 (B) menunjukkan model survei nonmagnetis. Dengan cara ini, apabila terjadi kesalahan pengukuran sudut horizontal, besarnya kesalahan akan terus bertambah seiring dengan bertambahnya panjang poligon mulai dari titik stasiun di mana kesalahan terjadi. Sebagai contoh, kesalahan sudut horizontal sebesar 10 derajat yang terjadi pada stasiun 2 akan menyebabkan kesalahan posisi stasiun 3 sebesar 4,56 meter. Di stasiun 4, kesalahan ini sudah menjadi sebesar 6,68 meter, begitu seterusnya, hingga stasiun 9, kesalahan yang dialaminya adalah sebesar 12,54 meter. Pada Gambar 12.7, besarnya kesalahan ditunjukkan oleh selisih posisi antara stasiun 9 dan stasiun 9'.

## 2. Kesalahan sudut vertikal

Sudut vertikal adalah variabel yang relatif kecil kemungkinannya untuk mengalami salah ukur. Besarnya sudut horizontal ditentukan oleh operator alat yang bisa saja kurang teliti atau malah melakukan *blunder* pada saat melakukan bidikan *backsight*. Pada pengukuran sudut vertikal, kesalahan seperti ini tidak mungkin terjadi, karena *setting* sudut vertikal tidak dilakukan oleh operator alat, melainkan oleh gaya gravitasi. Meski demikian tetap ada hal-hal yang menyebabkan berkurangnya ketelitian pengukuran sudut vertikal. Salah satunya adalah apabila posisi alat ukur tidak benar-benar dalam posisi datar pada saat dipergunakan.

## 3. Kesalahan jarak

Kesalahan pengukuran jarak yang mungkin terjadi dalam survei *grade X* dapat diakibatkan oleh *surveyor*. Survei menggunakan teodolit dapat mengalami kesalahan pengukuran jarak apabila operator alat ukur salah membaca angka pada rambu ukur. Dengan alat *total station*, kesalahan seperti ini tidak dijumpai, karena pengukuran jarak tidak lagi tergantung pada bacaan yang dilakukan oleh operator, namun sepenuhnya dilakukan oleh perangkat EDM yang terdapat di dalam unit *total station*. Salah satu kemungkinan bagi terjadinya kesalahan pengukuran jarak oleh alat *total station* adalah apabila terjadi ketidaksesuaian dalam mencantumkan konstanta reflektor.

Sinar yang dipancarkan oleh EDM dapat kembali lagi ditangkap oleh EDM apabila dipantulkan oleh objek tertentu. Pada saat pengukuran jarak menggunakan fitur *reflectorless* EDM maka berkas sinar yang dipancarkan oleh EDM akan langsung dipantulkan oleh objek keras seperti batu atau tanah sehingga jarak yang terukur adalah jarak sebenarnya antara poros alat ukur dengan objek, untuk itu angka konstanta yang dicantumkan adalah 0. Sedangkan untuk pengukuran titik stasiun, biasanya dipergunakan bantuan reflektor berupa prisma yang memiliki berbagai macam desain sehingga menyebabkan adanya jarak dengan poros pengukuran. Jarak inilah yang harus dikoreksi dengan mencantumkan konstanta prisma pada saat pengukuran. Besarnya konstanta prisma pada umumnya berkisar antara 0 hingga -30 mm.

Kesalahan memasukkan konstanta prisma langsung pada kesalahan pengukuran jarak. Hal ini tidak begitu kentara pada pengukuran detail lorong, namun memiliki pengaruh signifikan pada pengukuran poligon.

#### **4. Kesalahan pengukuran tinggi alat dan target**

Dalam suatu survei dengan *grade* X pada medan yang berat dan melelahkan, kesalahan yang tampaknya sederhana seperti pembacaan tinggi alat atau target sangat mungkin terjadi. Kesalahan seperti ini juga dapat terjadi apabila alat ukur dan perangkat prisma reflektor tidak memiliki tinggi yang sama, dan *surveyor* tidak melakukan pengukuran ulang ketika memasang alat ukur pada tripod yang sebelumnya dipergunakan untuk menopang prisma.

Pada saat melakukan pengukuran detail lorong, terlebih pada lorong yang memiliki variasi ketinggian atap dan lantai, potensi terjadinya kesalahan pengukuran tinggi target akan semakin besar. Penyebabnya adalah karena *surveyor* dituntut untuk selalu mengganti kode dan tinggi tongkat penopang prisma pada setiap melakukan pengukuran. Untuk menjaga agar kesalahan ini tidak lolos melewati proses pengolahan data maka setiap kesalahan yang sudah terlanjur direkam perlu dicatat secara manual pada buku lapangan, dan selanjutnya dilakukan *editing* pada saat proses pengolahan data.

## 5. Kesalahan mencantumkan identitas dan kode titik pengukuran

Kesalahan mencantumkan identitas dan kode tidak berpengaruh pada ketelitian hasil pengukuran, namun akibatnya bisa lebih buruk, yaitu menghapus data yang sudah terekam. *Total station* menyimpan data dengan identitas unik bagi setiap titik yang terekam. Apabila *surveyor* melakukan kesalahan dengan mencantumkan identitas titik pengukuran yang telah dipergunakan sebelumnya, *total station* akan menawarkan untuk dilakukan tindakan *overwrite* atau secara otomatis mencari identitas lain yang belum dipergunakan. Apabila pilihan pertama yang diambil maka data dengan identitas yang sama yang telah ada sebelumnya akan dihapus.

Kesalahan mencantumkan kode titik pengukuran adalah hal yang sering terjadi di lapangan. Kesalahan ini juga tidak berpengaruh pada ketelitian pengukuran, namun dapat menjadi sangat merepotkan pada tahap penggambaran peta. Beberapa varian *total station* menyediakan fitur yang memungkinkan *surveyor* untuk mengedit data di lapangan sehingga kesalahan seperti ini dapat segera diperbaiki selagi pengukuran masih berlangsung. Cara yang lebih praktis adalah dengan mencatat kesalahan pada buku lapangan dan melakukan proses *editing* setelah data diunduh dari alat.

## H. Pengolahan Data

Dalam tahap pengolahan data, data mentah hasil pengukuran dihitung hingga menjadi nilai koordinat, sehingga siap untuk dipergunakan pada tahap berikutnya.

### 1. Data Mentah

*Raw data* atau data mentah adalah variabel-variabel asli hasil pengukuran yang meliputi identitas stasiun pengukuran, identitas target, tinggi alat pada stasiun pengukuran, tinggi target, sudut horizontal, sudut vertikal, jarak miring serta kode target. Data mentah dapat diunduh langsung dari instrumen pengukuran ke perangkat komputer. Format data mentah yang diunduh dari instrumen pengukuran bisa bermacam-macam, tergantung dari merk dan seri alat, serta *setting* data yang dilakukan oleh *surveyor*.

## 2. Takimetri

Takimetri memiliki arti pengukuran jarak, elevasi, ketinggian, dan sebagainya dengan menggunakan alat takimeter. Meski alat-alat survei modern sudah dilengkapi dengan perangkat lunak yang dapat langsung menghitung data mentah menjadi koordinat, namun penghitungan cara lama menggunakan tabel takimetri dapat memberi hasil yang lebih teliti. Metode ini juga mempermudah apabila harus dilakukan penyesuaian pada hasil pengukuran. Selain itu, dengan cara ini, *surveyor* dapat memonitor data dengan cermat sehingga ia dapat mengetahui tingkat ketelitian pengukuran yang telah ia capai. Idealnya penghitungan takimetri dilakukan terlebih dahulu pada jalur poligon utama.

**Tabel 12.1** Tabel penghitungan poligon menggunakan *software* Microsoft Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	<b>HITUNGAN POLIGON</b>																			
2	Nama Gua :					Lokasi :														
3																				
4	Nomor Titik		Tinggi	BACAAN SUDUT						Sudut Jurusan			Tinggi	Jarak	Jarak	di [ X ]	di [ Y ]	Beda		
5	Alat	Target	Alat	Sdt. Horizontal			Sdt. Vertikal			(Azimuth)			Target	Miring	Datar				Tinggi	
6				o	'	"	o	'	"	o	'	"								
7		STN_01		352	0	0	352.0000	84	17	35	351	59	59	1.298	35.598	35.422	-4.930	35.077	3.568	
8		STN_02	1.326																	
9		STN_03		297	57	18	305.9550	97	7	56	297	57	17	-0.437	54.437	54.016	-47.713	25.321	-4.996	
10																				
11		STN_02		117	57	18	117.9550	82	52	6	117	57	17	1.326	54.438	54.017	47.714	-25.322	4.995	
12		STN_03	-0.437																	
13		STN_01		77	9	8	319.1972	76	42	3	77	9	7	1.372	45.088	43.879	42.780	9.757	8.563	
14																				
15		STN_03		257	9	8	257.1522	103	17	59	257	9	7	-0.437	45.088	43.879	-42.780	-9.757	-8.563	
16		STN_01	1.372																	
17		STN_02		171	59	30	274.8394	95	47	9	171	59	29	1.353	35.601	35.420	4.935	-35.074	-3.570	

	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF
1												
2	Surveyor :						Tanggal :					
3												
4	K O O R D I N A T			Nomor								
5	X	Y	Elevasi	Titik								
6												
7	995.070	1035.077	103.568	STN_01	351.9996	dx	dy	atn(dx/dy)	azimuth	°	'	"
8	1000.000	1000.000	100.000	STN_02		-4.930	35.077	-8.0004	352.00	351	59	58.6
9	952.287	1025.321	95.004	STN_03	297.9546							
10												
11	1000.000	1000.000	100.000	STN_02	117.9546	dx	dy	atn(dx/dy)	azimuth	°	'	"
12	952.287	1025.321	95.004	STN_03		47.713	-25.321	-62.045	117.95	117	57	16.6
13	995.067	1035.078	103.567	STN_01	77.1518							
14												
15	952.287	1025.321	95.004	STN_03	257.1518	dx	dy	atn(dx/dy)	azimuth	°	'	"
16	995.067	1035.078	103.567	STN_01		-42.780	-9.757	77.1518	257.15	257	9	6.6
17	1000.002	1000.004	99.997	STN_02	171.9913							

Keterangan: Tabel ini ditampilkan terpotong menjadi dua bagian untuk menyesuaikan dengan ukuran halaman buku.

Kolom-kolom yang perlu diisi adalah:

Kolom A : Identitas stasiun tempat berdiri alat

Kolom B : Tinggi alat

Kolom C : Identitas stasiun *backsight* dan *foresight*

Kolom D,E,F : Sudut horizontal

Kolom H,I,J : Sudut vertikal

Kolom O : Tinggi target stasiun *backsight* dan *foresight*

Kolom P : Jarak miring

Kolom U,V,W baris pertama dan kedua : Nilai koordinat yang sudah diketahui

Sedangkan kolom-kolom yang lain merupakan kolom rumus yang meliputi:

Kolom G : Merubah sudut horizontal dari sexagesimal menjadi desimal

Kolom G7 :

$$=(D7+E7/60+F7/3600)$$

Kolom G9 :

$$=IF(+(D9+E9/60+F9/3600)-G7>0,IF((D9+E9/60+F9/3600)-G7>360,(D9+E9/60+F9/3600)-G7-360,(D9+E9/60+F9/3600)-G7),(D9+E9/60+F9/3600)-G7+360)$$

Kolom L,M,N : Merubah sudut menjadi azimuth

Kolom L7 :

$$=AD8$$

Kolom M7 :

$$=AE8$$

Kolom N7 :

$$=AF8$$

Kolom L9 :

$$=TRUNC(Y9)$$

Kolom M9 :

$$=TRUNC((Y9-L9)*60)$$

Kolom N9 :

$$=ROUND(((Y9-L9)*3600-(M9*60)),2)$$

Kolom Q : Merubah jarak miring menjadi jarak datar

$$=(\text{SIN}(\text{RADIANS}(((H7+I7/60+J7/3600)))))*P7)$$

Kolom R menentukan d (x) dari jarak datar dan azimuth

$$=Q7*\text{SIN}((\text{PI}()/180)*(L7+(M7/60)+(N7/3600)))$$

Kolom S menentukan d (y) dari jarak datar dan azimuth

$$=Q7*\text{COS}((\text{PI}()/180)*(L7+(M7/60)+(N7/3600)))$$

Kolom T menentukan beda tinggi

$$=(\text{COS}(\text{RADIANS}(((H7+I7/60+J7/3600)))))*P7)+C8-O7$$

Kolom U, V, dan W berisi koordinat yang terdiri dari *easting*, *northing*, dan elevasi. Baris pertama dan kedua dari ketiga kolom ini memperoleh nilainya dari hasil input atau kopi dari nilai koordinat yang telah diketahui. Baris ketiga merupakan hasil kalkulasi dengan rumus sebagai berikut:

Kolom U9 :

$$=U8+R9$$

Kolom V9:

$$=V8+S9$$

Kolom W9 :

$$=W8+T9$$

Kolom X adalah salinan dari kolom A dan B. Kolom ini disediakan sekadar untuk mempermudah pengamatan hasil hitungan koordinat dengan titik yang memiliki nilai koordinat tersebut.

Kolom Y7 berfungsi untuk merubah azimuth dari titik stasiun ke *backsight*, dari satuan sexagesimal menjadi desimal.

$$=L7+M7/60+N7/3600$$

Kolom Y9 menjumlahkan azimuth dari stasiun pengukuran ke *backsight* dengan sudut horizontal yang terukur antara stasiun pengukuran, *backsight*, dan *foresight*.

$$=IF(+Y7+G9>0,IF(Y7+G9>360,Y7+G9-360,Y7+G9),Y7+G9+360)$$

Kolom Z, AA, AB, dan AC adalah rangkaian kalkulasi untuk menentukan besarnya azimuth antara stasiun pengukuran dan stasiun *backsight*, dengan menggunakan koordinat dua stasiun yang telah diketahui sebagai dasar penghitungan.

Kolom Z8 :

$$=U7-U8$$

Kolom AA8 :

$$=V7-V8$$

Kolom AB8 :

$$=ATAN(Z8/AA8)*(180/PI())$$

Kolom AC8 :

$$=IF(AND(Z8<0,AA8>0),AB8+360,IF(AND(Z8<0,AA8<0),AB8+180,IF(AND(Z8>0,AA8<0),AB8+180,AB8)))$$

Kolom AD, AE, dan AF membagi nilai azimuth yang tercantum dalam kolom AC ke dalam satuan derajat, menit, dan detik.

Kolom AD8 :

$$=TRUNC(AC8)$$

Kolom AE8 :

$$=TRUNC((AC8-AD8)*60)$$

Kolom AF8 :

$$=ROUND(((AC8-AD8)*3600-(AE8*60)),2)$$

### a. Poligon Satu Seri Rangkap

**Tabel 12.2** Tabel Penghitungan Poligon Satu Seri Rangkap

HITUNGAN POLIGON SATU SERI RANGKAP																				
Nama Gua :				Lokasi :				Surveyor :												
Nomor Titik	Tinggi	BACAAN SUUDUT						Sudut Jurusan (Azimuth)	Tinggi Target	Jarak Miring	Jarak Datar									
		Alat	Target	Alat	Sdt. Horizontal							Sdt. Vertikal								
				o	'	"	o	'	"											
STN_01		B	352	0	0	352.0000	84	17	35	84.2931	180.0000	351	59	59	1.298	35.598	35.598	35.421		
STN_02	1.328	LB	172	0	0	172.0000	95	42	25	95.7069						35.597				
STN_03		B	297	57	18	305.9550	305	95	78	97.1322	180.0000	297	57	27	-0.437	54.437	54.437	54.016		
		LB	117	57	38	305.9606	82	52	4	82.8678						54.437				
STN_02		B	117	57	18	117.9550	82	52	6	82.8683	180.0000	117	57	27	1.326	54.438	54.438	54.017		
STN_03	-0.437	LB	297	57	18	297.9550	97	7	54	97.1317						54.438				
STN_01		B	77	9	8	319.1972	319	2000	76	42	3	76.7008	180.0000	77	9	27	1.372	45.088	45.088	43.879
		LB	257	9	28	319.2028	103	17	57	103.2992						45.088				
STN_03		B	257	9	8	257.1522	103	17	59	103.2997	180.0000	257	9	27	-0.437	45.089	45.089	43.879		
STN_01	1.372	LB	77	9	8	77.1522	76	42	1	76.7003						45.088				
STN_02		B	171	59	30	274.8394	274	8422	95	47	9	95.7858	180.0000	171	59	59	1.353	35.601	35.601	35.420
		LB	351	59	50	274.8450	84	12	51	84.2142						35.601				

	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK
Tanggal :															
d[X]	d[Y]	Beda Tinggi	K O O R D I N A T			Nomor Titik									
			X	Y	Elevasi							o	'	"	
-4.930	35.076	3.570	995.070	1035.077	103.568	STN_01	351.9996	dx	dy	atn(dx/dy)	azimuth	o	'	"	
			1000.000	1000.000	100.000	STN_02		-4.930	35.077	-8.0004	351.9996	351	59	58.8	
-47.712	25.323	-4.994	952.288	1025.323	95.006	STN_03	297.9574								
47.713	-25.324	4.995	1000.000	1000.000	100.000	STN_02	117.9574	dx	dy	atn(dx/dy)	azimuth	o	'	"	
			952.288	1025.323	95.006	STN_03		47.712	-25.323	-62.0426	117.9574	117	57	26.6	
42.781	9.753	8.563	995.069	1035.077	103.569	STN_01	77.1574								
-42.782	-9.753	-8.563	952.288	1025.323	95.006	STN_03	257.1574	dx	dy	atn(dx/dy)	azimuth	o	'	"	
			995.069	1035.077	103.569	STN_01		-42.781	-9.753	77.1574	257.1574	257	9	26.8	
4.930	-35.075	-3.570	999.999	1000.002	99.999	STN_02	171.9996								

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Cara menghitung poligon satu seri rangkap adalah sama dengan yang dilakukan pada poligon sebelumnya. Hanya saja, untuk dapat mengakomodasi data yang terdiri dari pengukuran biasa dan luar biasa maka diperlukan modifikasi pada tabel penghitungan. Modifikasi rumus juga dilakukan agar tujuan pengukuran satu seri rangkap dapat tercapai, yaitu mengeliminasi kesalahan sistematis.

Pada Tabel 12.2 terlihat besar sudut horizontal antara pengukuran biasa dan luar biasa selalu berselisih 20". Hal ini menandakan bahwa alat ukur yang dipergunakan memiliki kesalahan sistematis sebesar 10". Untuk ukuran alat *Total Station*, kesalahan seukuran ini termasuk cukup besar, namun apabila kesalahan tersebut benar-benar tergolong kesalahan sistematis maka besarnya akumulasi kesalahan akan banyak tereliminasi dengan pengukuran satu seri rangkap seperti di atas. Tentu saja dalam kenyataan di lapangan, besarnya selisih antara dua pengukuran tidak dapat rapi dan seragam seperti contoh di atas.

Pengukuran sudut vertikal disimulasikan tanpa kesalahan sistematis sama sekali. Kolom N merupakan indikator dari kesalahan sistematis sudut vertikal. Semakin mendekati angka 180, semakin kecil kesalahan sistematis pengukuran sudut vertikal. Pada Tabel 12.2, terlihat semua indikator menunjukkan angka tepat 180. Sekali lagi hal seperti ini hanyalah simulasi di atas kertas dan hampir mustahil dapat dijumpai di lapangan.

Pengukuran jarak dengan EDM pada objek yang sama terkadang menghasilkan selisih 1 hingga 2 mm. Itu adalah hal yang wajar. Dalam simulasi di atas, selisih semacam itu dijumpai baik antara pengukuran biasa dan luar biasa, maupun antar pengukuran dari dua stasiun secara bergantian. Rumus-rumus yang dipergunakan pada poligon biasa, kecuali yang diterangkan di bawah ini, tetap diterapkan pada poligon satu seri rangkap. Perubahan dilakukan untuk menyesuaikan dengan posisi kolom-kolom yang bergeser.

Kolom I adalah rata-rata besar sudut yang diperoleh dari pengukuran biasa dan luar biasa.

$$=(H9+H10)/2$$

Kolom M merubah sudut vertikal dari seksagesimal menjadi desimal  
 $= (J7 + K7/60 + L7/3600)$

Kolom N adalah selisih besarnya sudut vertikal hasil pengukuran biasa dan luar biasa  
 $= M7 + M8$

Kolom U berisi rata-rata jarak datar pengukuran biasa dan luar biasa  
 $= (T7 + T8)/2$

Kolom AD9 mengalami penyesuaian sebagai berikut:  
 $= I F ( + A D 7 + I 9 > 0 , I F ( A D 7 + I 9 > 3 6 0 , A D 7 + I 9 - 360, AD7+I9), AD7+I9+360)$

### b. Resume Poligon

Resume poligon adalah laporan singkat yang berisi analisis ketelitian pengukuran sudut dan jarak suatu poligon tertutup. Resume bagi poligon pertama adalah sebagai berikut:

**Tabel 12.3** Analisis Ketelitian Sudut Pengukuran Poligon Biasa

Analisis ketelitian sudut		
Jumlah sudut ukuran	899.9916667	899°59'30"
Azimut awal	351.9996000	351°59'59"
Azimut akhir	351.9912667	351°59'29"
Salah penutup sudut	-0.00833333	-0°0'30"
Jumlah titik (n)	3	
Toleransi $10''\sqrt{n}$	17.321	17.321"

Jumlah sudut ukuran adalah hasil penjumlahan seluruh pengukuran sudut horizontal. Azimut awal adalah azimut dari stasiun pertama ke *backsight*. Azimut akhir diperoleh dari pengukuran *foresight* stasiun terakhir ditambah 180. Salah penutup sudut adalah selisih antara azimut awal dan azimut akhir.

Pada Tabel 12.3 terlihat bahwa poligon yang disimulasikan memiliki kesalahan penutup sudut sebesar -30 detik, sementara toleransi kesalahan penutup sudut yang diizinkan bagi poligon dengan tiga titik stasiun tersebut hanyalah  $17''$ . Artinya dari segi ketelitian sudut, poligon di atas belum memenuhi syarat.

**Tabel 12.4** Analisis Ketelitian Jarak Pengukuran Poligon Biasa

Analisis Ketelitian Jarak	
Kesalahan delta X	0.002
Kesalahan delta Y	0.004
Kesalahan posisi	0.0046
Jumlah jarak	133.314
Ketelitian linier	1 : 29,277.371

Kesalahan delta x diperoleh dari selisih antara delta x stasiun awal dan akhir poligon. Demikian pula dengan kesalahan delta y. Dalam contoh di atas, stasiun awal dan akhir adalah STN\_2. Dari kesalahan delta x dan delta y, dapat diketahui bahwa kesalahan posisi stasiun penutup poligon adalah 0,0046, yaitu dengan rumus  $\sqrt{f\Delta X^2 + f\Delta Y^2}$ . Jumlah jarak diperoleh dengan menjumlahkan seluruh jarak datar *foresight*. Besarnya kesalahan posisi apabila dibandingkan jumlah jarak datar poligon akan menghasilkan perbandingan 1 : 29.277,371 yang artinya dari segi jarak, poligon ini masih jauh melampaui toleransi kesalahan pengukuran jarak yang ditetapkan sebesar 1 : 6.000.

Dari segi ketelitian elevasi, poligon ini mengumpulkan kesalahan sebesar 0,003 meter, atau 3 mm, sedangkan batas toleransi yang ditetapkan adalah 20 mm kali akar jarak datar dalam satuan kilometer, atau ditetapkan sebesar:  $20\sqrt{D}$ .

$$\begin{aligned}
 &= 20 \text{ mm } \sqrt{133,314 \text{ m}} \\
 &= 20 \text{ mm } \sqrt{0,133314 \text{ Km}} \\
 &= 20 \text{ mm } \times 0,365121897 \\
 &= 7,3 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jadi kesalahan elevasi poligon sebesar 3 mm masih berada di bawah batas toleransi sebesar 7,3 mm. Berikutnya adalah resume poligon satu seri rangkap

**Tabel 12.5** Analisis Ketelitian Sudut Pengukuran Poligon Satu Seri Rangkap

Analisis ketelitian sudut		
Jumlah sudut ukuran	900.0000000	900°00'00"
Azimut awal	351.9996000	351°59'59"
Azimut akhir	351.9996000	351°59'59"
Salah penutup sudut	-0.00000000	0°00'00"
Jumlah titik (n)	3	
Toleransi $10''\sqrt{n}$	17.321	17.321"

Analisis di atas menunjukkan hasil sempurna. Meskipun dalam simulasi ini, alat ukur tetap memiliki kesalahan sistematis pengukuran sudut horizontal sebesar  $10''$ , tetapi hasil akhir pengukuran menunjukkan kesalahan penutup sudut sebesar  $0^{\circ} 00' 00''$ . Dalam pekerjaan lapangan yang sebenarnya, jangankan di dalam gua, di lapangan sepakbola sekalipun hasil sempurna seperti ini hampir merupakan suatu mujizat, dan bukannya akan mengundang pujian, melainkan justru kecurigaan dari *surveyor-surveyor* lain. Namun data di atas memang sengaja disusun untuk menyimulasikan bagaimana pengukuran poligon yang dilakukan satu seri rangkap dapat meminimalisasi, atau bahkan dalam contoh di atas, mengeliminasi kesalahan pengukuran sudut horizontal yang bersifat sistematis.

**Tabel 12.6** Analisis Ketelitian Jarak Pengukuran Poligon Satu Seri Rangkap

Analisis Ketelitian Jarak	
Kesalahan delta X	-0.001
Kesalahan delta Y	0.002
Kesalahan posisi	0.00192961
Total jarak	133.314
Ketelitian linier	1 : 69,088.634

Setelah didapati bahwa simulasi pengukuran poligon satu seri rangkap di atas tidak memiliki kesalahan penutup sudut sama sekali maka hanya tersisa kesalahan penutup jarak. Hasilnya adalah kesalahan koordinat dan posisi yang sangat kecil sehingga perbandingan antara kesalahan posisi dan jarak total berubah drastis hingga mencapai angka 1: 69088,634. Kesalahan elevasi juga berkurang hingga hanya sebesar 1 mm.

Setelah penghitungan takimetri dan koreksi terhadap poligon selesai, langkah berikutnya adalah melakukan penghitungan takimetri pada data pengukuran detail situasi.

**Tabel 12.7** Tabel Penghitungan Takimetri Untuk Pengukuran Detail Situasi

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
1	<b>HITUNGAN DETAIL LORONG</b>																				
2	Nama Gua :										Lokasi :										
3																					
4	Nomor Titik		Tinggi	BACAAN SUDUT						Sudut Jurusan		Tinggi	Jarak	Jarak	d[X]	d[Y]	Beda				
5	Alat	Target	Alat	Sdt. Horizontal			Sdt. Vertikal			(Azimuth)		Target	Miring	Datar							
6				o	'	"	o	'	"	o	'	"									
7		STN_01		352	0	0	352.0000	84	17	35	351	59	59	1.298	35.598	35.422	-4.930	35.077	3.568		
8		STN_02	1.326																		
9		1000		301	14	16	309.2378	70	24	18	301	14	15	-1.5	2.135	2.011	-1.720	1.043	3.501		
10		1001		203	48	33	211.8092	90	35	6	203	48	32	0	2.339	2.339	-0.944	-2.140	1.302		
11		1002		15	16	49	23.2803	89	9	53	15	16	48	0	6.249	6.248	1.647	6.027	1.417		
12		1003		292	8	12	300.1367	88	48	31	292	8	11	1.5	1.918	1.918	-1.776	0.723	-0.134		
13		1004		298	20	48	306.3467	95	44	28	298	20	47	-2.5	31.426	31.268	-27.519	14.846	0.698		
14		1005		292	30	7	300.5019	96	53	57	292	30	6	0	32.027	31.795	-29.375	12.168	-2.493		
15		1006		303	34	19	311.5719	96	34	8	303	34	18	0	31.895	31.686	-26.400	17.521	-2.299		
16		1007		298	39	18	306.6550	96	51	50	298	39	17	1.5	31.788	31.560	-27.695	15.134	-3.946		

	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF
1												
2	Surveyor :						Tanggal :					
3												
4	K O O R D I N A T			Nomor								
5	X	Y	Elevasi	Titik								
6												
7	995.070	1035.077	103.568	STN_01	351.99960	dx	dy	aln(dx/dy)	azimuth	o	'	"
8	1000.000	1000.000	100.000	STN_02		-4.930	35.077	-8.0004	351.9996	351	59	58.6
9	998.280	1001.043	103.501	1000	301.237378							
10	999.056	997.860	101.302	1001	203.808770							
11	1001.647	1006.027	101.417	1002	15.279880							
12	998.224	1000.723	99.866	1003	292.136270							
13	972.481	1014.846	100.698	1004	298.346270							
14	970.625	1012.168	97.507	1005	292.501540							
15	973.600	1017.521	97.701	1006	303.571540							
16	972.305	1015.134	96.054	1007	298.654600							

Tabel 12.7 memiliki susunan yang sama dengan tabel penghitungan poligon biasa. Tidak ada perbedaan pada urutan kolom isian dan kolom rumus. Perbedaannya adalah pada baris isian dan rumus *foresight* yang jumlahnya tidak hanya satu, melainkan sebanyak jumlah titik yang diukur dari stasiun pengukuran. Penyesuaian dilakukan pada beberapa rumus untuk mengikat penghitungan dengan stasiun pengukuran yang merupakan pangkal dari semua pengukuran dan penghitungan data yang tercantum dalam tabel tersebut. Penyesuaian rumus dilakukan pada :

Kolom G9, G10, dan seterusnya

$$=IF(+(D9+E9/60+F9/3600)-G7>0,IF((D9+E9/60+F9/3600)-G7>360,(D9+E9/60+F9/3600)-G7-360,(D9+E9/60+F9/3600)-G7),(D9+E9/60+F9/3600)-G7+360)$$

Kolom T9, T10, dan seterusnya

$$=(\text{COS}(\text{RADIANS}(((H9+I9/60+J9/3600))))*Q9)+\$C\$8-O9$$

Kolom U9, U10, dan seterusnya

$$=\$U\$8+R9$$

Kolom V9, V10, dan seterusnya

$$=\$V\$8+S9$$

Kolom W9, W10, dan seterusnya

$$=\$W\$8+T9$$

Kolom Y9, Y10, dan seterusnya

$$=IF(+\$Y\$7+G9>0,IF(\$Y\$7+G9>360,\$Y\$7+G9-360,\$Y\$7+G9),\$Y\$7+G9+360)$$

Pada Tabel 12.7 terdapat delapan titik situasi detail yang diukur dari stasiun 02. Dalam keadaan yang kurang ideal, di mana waktu yang tersedia tidak memungkinkan untuk melakukan pengukuran poligon dan detail situasi secara terpisah maka data poligon dan detail situasi dihitung dalam satu tabel yang sama. Data pengukuran poligon dimasukkan dan dihitung di baris 9, dan data pengukuran detail situasi di baris-baris berikutnya.

Data pada Tabel 12.7 merupakan simulasi pengukuran detail lorong yang terdiri dari atap, dinding kiri dan kanan, serta lantai. Tinggi target pada pengukuran atap sangat mungkin memiliki nilai negatif seperti yang dicontohkan di atas. Hal itu dikarenakan pengukuran atap terkadang hanya bisa dilakukan dengan bantuan tongkat prisma terbalik dengan ujungnya yang biasanya menempel di permukaan tanah, kali ini menempel di permukaan atap. Tinggi target pada pengukuran dinding dicontohkan memiliki nilai 0. Hal itu juga biasa terjadi dalam pengukuran lorong gua. Angka 0 bisa diperoleh dari pengukuran dengan fitur *reflectorless* EDM di mana target pengukuran adalah objek pengukuran itu sendiri. Angka 0 juga bisa diperoleh ketika pengukuran pada objek dibantu oleh *mini prism* atau *sheet reflector* yang di tempelkan tepat pada objek.

Dalam melakukan pengolahan data dengan tabel takimetri, kesalahan yang paling rawan terjadi adalah kesalahan rumus. Kesalahan seperti ini dapat disebabkan oleh adanya rumus yang terselip atau tersalin secara kurang sempurna. Modifikasi atau penyesuaian rumus juga dapat menjadi penyebab dari kesalahan ini. Penyebab berikutnya adalah penyalinan dan penempelan (*copy, paste*) data mentah yang tidak pas pada tempatnya. Pengolahan data menggunakan tabel takimetri membutuhkan lebih banyak waktu dibanding dengan mengunduh koordinat jadi langsung dari alat ukur. Namun cara lama ini dapat menghasilkan angka-angka dengan tingkat ketelitian lebih tinggi.

### **c. Koordinat**

Hasil dari penghitungan takimetri adalah angka-angka koordinat, yang meliputi *easting*, *northing*, dan elevasi dengan ketelitian tinggi dan dicantumkan hingga satuan milimeter. Agar dapat dimasukkan ke dalam program penggambaran peta, identitas titik pengukuran turut disertakan pada tiap koordinat hasil penghitungan. Untuk memudahkan editing gambar, disertakan kode spesifik bagi setiap titik. Contoh di bawah ini adalah hasil akhir berupa identitas, koordinat, serta kode titik-titik pengukuran yang diperoleh dari simulasi penghitungan takimetri di atas. Koordinat stasiun diambil dari hasil penghitungan poligon satu seri rangkap, tanpa koreksi.

**Tabel 12.8** Hasil Perhitungan Takimetri Berupa Koordinat yang Siap untuk Diolah Menjadi Peta

STN_01	995.070	1035.077	103.568	STN
STN_02	1000.000	1000.000	100.000	STN
STN_03	952.288	1025.323	95.006	STN
1000	998.280	1001.043	103.501	U
1001	999.056	997.860	101.302	L
1002	1001.647	1006.027	101.417	R
1003	998.224	1000.723	99.866	D
1004	972.481	1014.846	100.698	U
1005	970.625	1012.168	97.507	L
1006	973.600	1017.521	97.701	R
1007	972.305	1015.134	96.054	D

## I. Mengatasi Kendala Medan

Dalam pekerjaan pemetaan gua, kendala medan adalah kesulitan yang harus selalu dihadapi, Kesulitan tersebut menjadi semakin berat apabila survei dilakukan dengan grade X.

### 1. Pengukuran melalui medan terjal

Alat ukur teodolit maupun *total station* memiliki keterbatasan dalam pembacaan sudut vertikal. Semakin besar sudut inklinasi teropong, akan semakin sulit pula bagi *surveyor* untuk menempatkan matanya pada lensa okuler. Beberapa produsen alat menyediakan alat bantu berupa lensa tambahan yang memungkinkan *surveyor* dapat membidik objek yang posisinya berada pada sudut vertikal yang tinggi.

Cara untuk memudahkan pengukuran pada sudut inklinasi besar adalah dengan memanfaatkan fitur *laser pointer* yang sayangnya tidak dimiliki oleh semua tipe *total station*. Dengan memanfaatkan fitur ini, seorang *surveyor* tidak perlu menempatkan matanya, dalam hal ini, di bawah lensa okuler. Apabila objek yang dibidik adalah reflektor yang

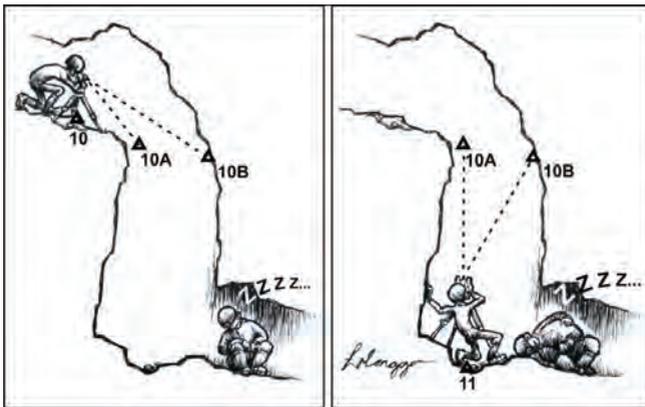
dipasang pada stasiun pengukuran maka posisi sinar laser harus tepat mengenai bagian tengah objek, oleh karena itu diperlukan bantuan seorang pemandu yang berada di dekat target untuk mengarahkan posisi sinar. Pada sudut inklinasi yang lebih besar lagi hingga nyaris vertikal, atau bahkan vertikal, cara ini tetap dapat dilakukan, asalkan penghalang berupa *bridge* yang terpasang pada bagian atas alat dilepas terlebih dahulu. *Bridge* adalah pegangan yang berfungsi untuk menjinjing alat. Banyak produsen *total station* yang telah mengeluarkan varian produk dengan posisi *bridge* condong ke belakang sehingga tidak menghalangi sinar laser ketika dipergunakan untuk melakukan pengukuran vertikal ke atas.

Kesulitan pengukuran pada sudut dengan inklinasi besar juga berlaku bagi bidikan terjal ke bawah. Dalam kasus ini, terdapat penghalang berupa *bridge*, yang menghalangi mata *surveyor* dari lensa. Apabila *bridge* dilepas maka masih ada satu penghalang lagi yang tidak dapat diatasi, yaitu tubuh alat ukur itu sendiri. Tubuh alat ukur menutupi lensa objektif sehingga tidak memungkinkan bagi dilakukannya pengamatan visual maupun pengukuran jarak dengan EDM. Seperti yang pernah dialami oleh tim survei yang melakukan pemetaan dengan *grade X* di gua Pulejajar, kecamatan Girisubo, kabupaten Gunungkidul, alat *total station* Sokkia seri SET 530X mulai mengalami kesulitan ketika dipergunakan untuk mengukur prisma yang terpasang pada stasiun dengan sudut inklinasi lebih dari  $146^\circ$ . Pada sudut sebesar itu, *surveyor* masih mampu melakukan pembacaan sudut vertikal, namun sinar laser yang dipancarkan oleh perangkat EDM sudah tidak mampu mencapai sasaran karena terhalang oleh tubuh alat ukur. Setelah dilakukan penyesuaian pada tinggi alat, hingga sudut inklinasi dapat dikurangi hingga menjadi  $145^\circ 59' 56''$ , barulah perangkat pengukur jarak dapat bekerja.

Lorong vertikal memang merupakan tantangan besar dalam pemetaan *grade X*, namun sebelum sampai diputuskan sebagai suatu ketidakmungkinan, masih ada cara yang dapat ditempuh untuk mengatasi tantangan itu. Salah satunya adalah dengan memanfaatkan lebar lorong atau rekahan memanjang untuk mendapatkan posisi

stasiun berikutnya. Untuk dapat melakukan hal ini, baik *surveyor* maupun anggota tim survei yang berada di depan harus mencari dengan cermat celah dan posisi yang memungkinkan agar dua stasiun tersebut dapat terlihat satu sama lain.

Apabila lorong vertikal yang hendak diukur memiliki dimensi yang menjadikannya tidak dapat diukur dengan cara di atas maka yang mungkin masih dapat dilakukan adalah menggunakan teknik interseksi. Dengan teknik ini, pengukuran tetap dapat dilakukan meskipun tanpa kontak visual langsung antara dua titik stasiun. Diperlukan dua titik stasiun bantu yang dapat dilihat baik dari stasiun atas maupun bawah. Pengukuran dari stasiun atas dilakukan untuk memperoleh koordinat dua titik bantu tersebut, sedangkan pengukuran yang dilakukan dari bawah dilakukan pada dua titik stasiun bantu yang telah diketahui koordinatnya untuk memperoleh koordinat stasiun pengukuran itu sendiri. Produsen-produsen *total station* telah memasarkan produk-produk yang memiliki fitur penentuan koordinat dengan teknik ini. Namun apabila alat yang dipergunakan belum dilengkapi fitur ini, *surveyor* dapat memperoleh bantuan dari program komputer yang dipergunakan untuk menggambar peta.



**Gambar 12.8** Teknik Interseksi untuk Melakukan Pengukuran Melalui Lorong Vertikal

Penjelasan di atas digambarkan sebagai pengukuran pada lorong terjal atau vertikal ke bawah, namun cara-cara pengukuran di atas juga dapat diterapkan pada lorong ke atas.

Usahakan dalam memasang titik bantu, jarak antara kedua titik tersebut tidak terlalu dekat sehingga sudut horizontal yang terukur akan cukup lebar. Bila sudut horizontal yang diperoleh terlalu sempit maka akurasi pengukuran dengan teknik ini akan semakin berkurang.

Menggunakan *total station* yang sudah dilengkapi oleh perangkat *reflectorless* EDM dapat sangat membantu, karena prisma pada dua titik stasiun bantu dapat diganti dengan penanda yang lebih mudah untuk dipasang, misalnya paku payung.

Hal yang perlu dipertimbangkan ketika harus melakukan teknik interseksi adalah, pada bagian poligon yang diukur dengan menggunakan teknik ini, hitungan dengan rumus takimetri hanya dapat dilakukan dengan data yang sudah merupakan hasil perhitungan, bukan dengan data mentah yang sebenarnya.

## **2. Pengukuran melewati lorong berdimensi sempit**

Suatu bagian lorong dapat dikatakan berdimensi sempit apabila jarak antara dua sisi dindingnya berdekatan, atau jarak antara lantai dan atapnya berdekatan, atau kombinasi dari keduanya. Apabila poligon survei *grade* X harus melewati lorong beratap rendah, *total station* dan prisma target harus dipasang pada tripod yang telah dipotong pendek. Jika cara inipun belum berhasil, dapat dicoba teknik interseksi seperti yang dilakukan pada saat pengukuran melewati medan terjal. Pada lorong berdinding sempit dan berkelok, teknik interseksi juga mungkin dapat diterapkan. Apabila lorong sempit tersebut memiliki penampang menyerupai huruf T atau menyerupai lubang kunci (*keyhole passage*), dua titik bantu dapat ditempatkan di sekitar atap yang lebih lebar.

## **3. Melewati medan berair**

Medan berair dapat menimbulkan kesulitan pemasangan penanda titik stasiun pada lantai lorong, terlebih pada air yang dalam atau

deras arusnya. Sebagai solusi, posisi stasiun dapat ditentukan di atap lorong, bukan di dasar lorong. Dengan cara demikian maka *centering* dilakukan untuk memosisikan alat dan target agar tepat berada di bawah titik stasiun. Unting-unting dipasang bukan pada alat, melainkan di titik stasiun, sedangkan alat yang berada di bawah diatur posisinya hingga tanda poros horizontal tepat berada di bawah ujung unting-unting. Bagi prisma target yang kebanyakan tidak memiliki tanda poros horizontal, dapat dilakukan dengan melepas prisma dari dudukannya (*carrier*) dan menggunakan dudukan tersebut sebagai tanda poros horizontal. Bagi alat *total station* yang memiliki fitur *laser pointer*, dapat menggunakan fitur tersebut sebagai pengganti unting-unting. Caranya adalah dengan mengarahkan teropong tegak lurus ke atas hingga sudut vertikal mencapai angka  $0^{\circ}00'00''$ , kemudian posisikan alat hingga *laser pointer* tepat mengenai titik stasiun.

Cara di atas dapat dilakukan apabila atap lorong tidak terlalu tinggi sehingga masih mudah untuk dijangkau. Di lorong berair dengan atap tinggi, cara yang dapat dilakukan adalah dengan memasang *platform* pada dinding lorong untuk menempatkan alat dan target. *Platform* seperti ini dapat didesain dan dibuat sendiri, yang terpenting adalah ia harus kokoh dan tidak bergoyang atau bergetar saat dipergunakan. Ia juga harus dilengkapi dengan lubang dan ulir untuk memasang *tribrach*. Pada saat pengukuran, *platform* ini akan berfungsi sebagai stasiun survei.

Sebagai alat yang memiliki komponen optik dan elektronik, *total station* rentan hingga tingkat tertentu terhadap air dan kelembapan tinggi. Oleh sebab itu saat melakukan pemetaan di dalam gua, terlebih padalorong berair, alat ini harus selalu dilindungi dari kelembapan dan kontak langsung dengan air.



**Gambar 12.9** Survei pada lorong berair dan beratap rendah menggunakan alat *Total Station* Sokkia SET 350X

#### 4. Pengukuran pada lorong berlumpur

Kendala utama yang harus dihadapi ketika survei *grade* X harus dilakukan pada lorong gua dengan lantai tertutup lumpur adalah masalah kestabilan alat. Di medan seperti ini, alat ukur yang seakan-akan sudah terpasang kokoh pada tripod, dapat berubah kedudukannya hanya oleh sedikit gerakan *surveyor*. Untuk mengatasi masalah seperti ini, pada bagian lantai di mana tripod hendak dipasang, dapat terlebih dulu digali hingga mencapai lapisan keras. Apabila lapisan keras berada terlalu dalam, pemasangan tripod dapat dibantu dengan pemasangan tiga pasak kayu yang cukup panjang. Tiga pasak tersebut ditancapkan sedalam-dalamnya, baru kemudian di atas masing-masing pasak kayu, dipasang ujung tripod. Untuk meminimalkan gangguan pada stabilitas alat, hindari kegiatan yang tidak perlu di sekitar stasiun pengukuran.

Masalah berikutnya yang harus dihadapi adalah bagaimana mencegah agar lumpur tidak mengotori alat ukur. Tentu saja menjaga alat ukur agar sama sekali tidak terkena lumpur adalah tidak mungkin. Untuk menjaga agar alat ukur tidak menjadi terlalu kotor oleh lumpur dapat dilakukan dengan selalu menyediakan lap pembersih di tempat yang terjangkau. Juga selalu sediakan air untuk membersihkan tangan *surveyor* bila diperlukan.



Buku ini tidak diperjualbelikan.

# 13

## SURVEI HIDROLOGI

Pembicaraan mengenai gua karst belum lengkap tanpa membicarakan serta unsur alam yang menyebabkan terbentuknya lorong-lorong gua. Unsur itu adalah air. Oleh karena itu, pemetaan gua dianggap masih belum lengkap tanpa memetakan potensi hidrologinya. Setidaknya ada dua hal berkaitan dengan hidrologi yang dapat diukur dengan teknik dan alat sederhana. Pertama adalah debit air, dan yang kedua adalah interkoneksi hidrologi yang dapat disurvei dengan menggunakan teknik peruntan air atau *water tracing*.

Dengan kemampuan mengungkap potensi hidrologi yang terpendam di bawah lapisan permukaan karst, *surveyor* gua tidak hanya dapat berperan dalam pemanfaatan sumber daya air, tetapi juga dapat ikut serta menyelamatkan lingkungan gua dan dalam lingkup lebih luas –kawasan- kawasan karst di Indonesia yang keberadaannya semakin terancam oleh berbagai kepentingan.

### A. Pengukuran Debit Air

Besarnya debit air yang mengalir melalui jalur sungai bawah tanah dapat diketahui dengan teknik penghitungan debit air yang digunakan untuk mengukur debit pada sungai permukaan. Dua di antara teknik pengukuran di atas dapat dilakukan dengan alat-alat ukur yang mudah diperoleh.

## 1. Metode Terjunan

Cara paling sederhana untuk menghitung debit pada suatu aliran adalah dengan menggunakan metode terjunan. Alat yang diperlukan untuk melakukan pengukuran hanya sebuah bejana yang volumenya telah diketahui dan sebuah alat pengukur waktu. Volume bejana diketahui dengan menggunakan rumus:

$V_e$  : Volume bejana

$\pi$  :  $22/7$

$D$  : Diameter atas dan bawah (garis tengah mulut dan dasar bejana)

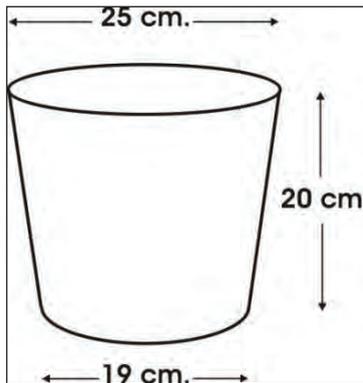
$T$  : Tinggi bejana.

Contoh:

Ember dengan diameter mulut 25 cm, diameter alas 19 cm, dan tinggi 20 cm.

Volume ember ini adalah sebesar:

$$1/8 \cdot 22/7 \cdot (25^2 + 19^2) \cdot 20 = 7747 \text{ cm}^3.$$



**Gambar 13.1** Dimensi Ember Penampung Air

Pengukuran dilakukan di bagian sungai yang terjal, yaitu tempat dengan perbedaan ketinggian yang besar sehingga menyebabkan terbentuknya air terjun atau pancuran. Air yang terjun di bagian itu ditampung dalam bejana yang volumenya telah diketahui. Catat waktu yang diperlukan untuk mengisi ember tersebut hingga penuh. Ulangi hingga beberapa kali dan masukkan angkanya pada tabel pengukuran.

**Tabel 13.1** Pengukuran Waktu Pengisian Ember

No	Waktu (detik)
1	3
2	2,7
3	3,3
4	3,1
5	2,9
Jumlah	15,00

Hasil akhir debit air diperoleh dengan membagi volume ember dengan waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk memenuhinya.

Waktu rata-rata =  $15 : 5 = 3$  detik

Debit air =  $7747 \text{ sentimeter}^3 / 3 \text{ detik}$   
 =  $7,747 \text{ desimeter}^3 \text{ (liter)}/3 \text{ detik}$   
 =  $2,58 \text{ liter/detik}$ .

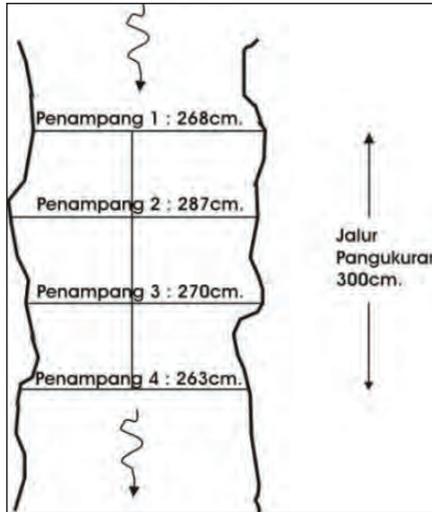
Teknik terjunan ini dapat digunakan hanya pada sungai dengan debit kecil. Meskipun cara pengukuran dan penghitungannya sangat sederhana, cara ini dapat menghasilkan angka debit yang sangat akurat, namun akurasi tersebut hanya dapat dicapai apabila seluruh aliran air yang diukur terjun secara bebas melalui satu atau beberapa aliran yang terpusat. Di sungai yang sebenarnya, baik dalam gua maupun di permukaan, pancuran ideal yang terbentuk secara alami jarang ditemukan. Pada aliran yang tidak memiliki terjunan ideal, akurasi pengukuran dapat diusahakan dengan membangun bendungan yang memiliki celah terbuka pada salah satu bagiannya. Dari celah inilah aliran air dapat terjun secara terkonsentrasi.

## 2. *Velocity-Area Techniques*

Teknik berikutnya disebut dengan *velocity-area techniques* atau teknik kecepatan-luasan. Alat ukur yang diperlukan untuk melakukan pengukuran dengan teknik ini adalah pita ukur, penggaris, dan alat pengukur kecepatan air. Pita ukur digunakan untuk mengukur panjang dan lebar batang air tempat pengukuran akan dilakukan. Penggaris digunakan untuk mengukur kedalaman air (sebaiknya digunakan penggaris kayu yang dapat dilipat seperti yang biasa dipergunakan oleh para tukang kayu karena lebih mudah dan praktis saat dipakai pada lorong beratap rendah).

Untuk mengukur kecepatan air dipergunakan *currentmeter*. Alat ini bekerja dengan mengandalkan sebuah kincir yang akan berputar apabila ia terdorong oleh arus air. Dengan adanya perangkat elektronik yang terhubung dengan kincir air melalui seutas kabel, kecepatan putar kincir dikonversi menjadi angka kecepatan per satuan waktu yang dapat dipilih sesuai keinginan penggunaannya. Pada umumnya, pilihan kecepatan yang tersedia adalah *feet/second*, *meter/second*, dan *Km/hour*.

Bila alat *currentmeter* terlalu sulit untuk diperoleh, pengukuran kecepatan aliran air dapat dilakukan dengan alat ukur sederhana yang dapat diperoleh dengan memanfaatkan barang-barang yang sudah tersedia, yaitu pelampung dan alat pengukur waktu, *stopwatch* atau jam tangan. Meskipun banyak benda yang dapat digunakan sebagai pelampung, lebih baik dipilih benda yang apabila dihanyutkan ke dalam air akan bergerak dengan kecepatan kurang lebih sama dengan kecepatan aliran air. Bull dan Lawler (1995) memberi dua contoh benda yang kecepatan geraknya hampir sama dengan kecepatan air yang membawanya, yaitu biskuit makanan anjing dan buah jeruk. Selain menggunakan *currentmeter* dan pelampung, kecepatan aliran air juga dapat diketahui dengan bantuan zat kimia atau zat pewarna.

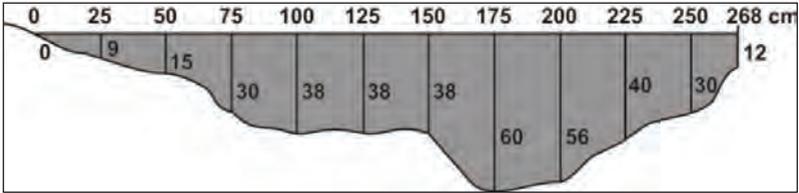


**Gambar 13.2** Tampak Atas Jalur Pengukuran dan Penampang Sungai

Cara penghitungan debit air dengan teknik *velocity-area* dimulai dengan menentukan bagian sungai tempat pengukuran dapat dilakukan. Syarat-syarat bagian sungai tempat pengukuran debit dengan teknik *velocity-area* adalah:

- a. Berupa jalur lurus dan memiliki lebar hampir seragam;
- b. Tidak berada pada suatu penyempitan;
- c. Aliran air tidak terlalu deras

Selanjutnya adalah pengukuran luas penampang sungai. Cara mengukur luas penampang ialah dengan mengukur lebar sungai, kemudian pada interval yang sama, dimulai dari titik 0, diukur kedalaman sungai. Titik terakhir pengukuran kedalaman dilakukan pada bagian paling ujung penampang dan tidak harus berada pada interval jarak yang sama dengan titik-titik pengukuran sebelumnya.



**Gambar 13.3** Penampang 1



Sumber: Ryan Rahdiana

**Gambar 13.4** Pengukuran Luas Penampang Sungai Bawah Tanah

Hasil pengukuran luas penampang sungai dan kecepatan aliran air dicatat dalam Tabel 13.2.

**Tabel 13.2** Pengukuran Luas Penampang dan Kecepatan Aliran Sungai

Lokasi pengukuran : Gua Pura-pura (stasiun 16-17)  
 Tanggal pengukuran : 27 Agustus 2005  
 Pengukur : Marfu'ah, Markus, Marpaung, Maryadi,  
 Panjang jalur pengukuran : 3 meter  
 Kecepatan : 1 : 10,40'  
 2 : 9,35'  
 3 : 7,25'  
 4 : 9'

Pengukuran luas penampang sungai

Penampang: 1												Lebar penampang : 268 cm	
Jarak dari Tepi	0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	268	
Kedalaman	0	9	15	30	38	38	38	60	56	40	30	12	

Penampang: 2													Lebar penampang : 287 cm	
Jarak dari Tepi	0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	287	
Kedalaman	0	11	12	35	40	42	35	37	44	38	30	21	8	

Penampang: 3												Lebar penampang : 270 cm	
Jarak dari Tepi	0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	270	
Kedalaman	2	7	17	28	39	44	41	41	44	39	20	12	

Penampang: 4												Lebar penampang : 263 cm	
Jarak dari Tepi	0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	263	
Kedalaman	1	11	11	30	40	55	59	59	44	31	13	4	

**Keterangan:**

Pada Tabel 13.2 yang dimaksud dengan kecepatan adalah waktu yang dibutuhkan oleh pelampung untuk menempuh jarak dari titik awal hingga akhir. Apabila alat yang dipergunakan untuk mengukur kecepatan adalah *currentmeter*, angka yang diisikan adalah kecepatan air sesuai dengan yang terbaca pada alat.

Lebar penampang sungai dibagi menjadi beberapa bagian dengan interval tertentu. berdasarkan contoh di atas, interval pengukuran adalah 25 cm. Jarak sebesar ini mulai dihitung dari salah satu tepi sungai hingga ke tepi yang lain. Apabila lebar sungai tidak tepat habis dibagi oleh interval pengukuran, tuliskan sisa lebar sungai yang tidak mencapai satu satuan interval ke dalam kolom atas pada urutan paling belakang.

Semakin rapat jarak antara titik-titik pengukuran kedalaman, hasil penghitungan luas penampang sungai akan semakin mendekati luas penampang sebenarnya. Demikian juga dengan penghitungan kecepatan arus air, semakin banyak penghitungan dilakukan, hasil penghitungan rata-ratanya akan semakin mendekati kecepatan arus sebenarnya.

### 3. Penghitungan Hasil Pengukuran

Debit air akan diketahui setelah kecepatan rata-rata aliran air dan luas rata-rata penampang sungai diketahui. Kecepatan rata-rata aliran dihitung dengan menjumlahkan semua hasil pengukuran. Kemudian, hasil penjumlahan tersebut dibagi dengan jumlah penghitungan waktu yang dilakukan.

### 4. Penghitungan Waktu Rata-Rata

Dalam contoh di atas, penghitungan kecepatan dilakukan sebanyak empat kali dengan hasil pengukuran masing-masing 10,40; 9,35; 7,25; dan 9 detik maka waktu rata-rata yang dicari adalah:

$$\frac{10,4 + 9,35 + 7,25 + 9}{4} = 9$$

### Penghitungan Luas Penampang Rata-Rata

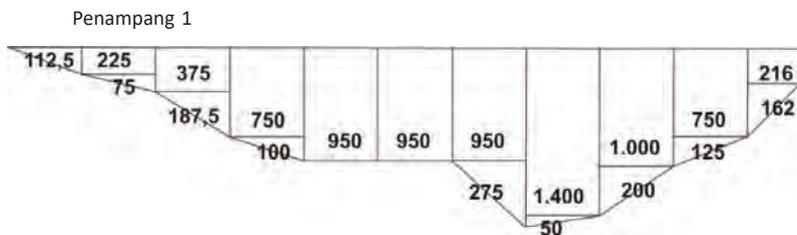
Penampang sungai yang telah dibagi ke dalam bagian yang lebih kecil dapat diketahui luasnya dengan menjumlahkan luas bagian-bagian tersebut. Luas tiap bagian penampang dihitung dengan cara tertentu sesuai dengan bentuk bagian tersebut. Tiap bagian penampang mengambil salah satu bentuk dari tiga kemungkinan yang ada, yaitu

persegi empat, segitiga, dan trapesium. Bentuk persegi empat diperoleh bila bagian tersebut memiliki kedalaman yang sama pada kedua sisinya. Dalam contoh penampang 1, bagian yang memiliki bentuk persegi empat adalah bagian 5 dan 6. Bagian 5 memiliki kedalaman yang sama di kedua sisinya yaitu 38 cm, demikian juga dengan bagian 6. Jadi, luas masing-masing bagian ini adalah  $25 \times 38 = 950 \text{ cm}^2$ .

Pada bagian yang memiliki bentuk segitiga, luasnya diperoleh dengan mengalikan lebar dan dalam yang hasilnya dibagi dengan bilangan 2. Bagian 1 dari penampang 1 memiliki dasar miring yang membuatnya memiliki bentuk segitiga. Bagian ini memiliki kedalaman mulai dari 0 cm hingga 9 cm. Jadi luas bagian ini adalah  $25 \times 9 : 2 = 112,5 \text{ cm}^2$ .

Selain ketiga bagian di atas, seluruh bagian lain dalam penampang 1 memiliki bentuk trapesium. Untuk mengetahui luas bagian yang memiliki bangun trapesium, ia dianggap dan dihitung sebagai gabungan dari bangun persegi empat dan segitiga. Bagian 2 dari penampang 1 memiliki kedalaman mulai dari 9 cm di satu sisinya hingga 15 cm di sisi yang lain. Penghitungan luas persegi dilakukan dengan mengalikan lebar dengan kedalaman yang paling dangkal, yaitu  $25 \times 9 = 225 \text{ cm}^2$ . Luas segitiga diketahui dengan mengalikan lebar dengan selisih antara sisi terdalam dengan sisi terdangkal dan hasilnya dibagi dua,  $25 \times 6 : 2 = 75$ . Jadi, luas bagian 2 adalah  $225 + 75 = 300 \text{ cm}^2$ .

Untuk memudahkan penghitungan, angka-angka hasil penghitungan luas bagian dapat disusun ke dalam diagram seperti di bawah ini :



**Gambar 13.5** Diagram Pengukuran Luas Penampang Sungai

Jumlah semua angka pada diagram di atas adalah 8.853. Jumlah ini adalah luas penampang 1, dalam satuan  $\text{cm}^2$ .

Dengan cara penghitungan yang sama, akan didapatkan luas ketigapenampang yang lain yaitu:

$$\text{Penampang 2} = 8.862,5 \text{ cm}^2$$

$$\text{Penampang 3} = 8.175 \text{ cm}^2$$

$$\text{Penampang 4} = 8.887,5 \text{ cm}^2$$

Rata-rata luas penampang adalah jumlah luas seluruh penampang dibagi dengan jumlah penampang, yaitu:

$$\frac{8.853 + 8.862,5 + 8.175 + 8.887,5}{4} = 8.694,5 \text{ cm}^2$$

## 5. Pengukuran Kecepatan Arus Air

Oleh karena arus sungai memiliki kecepatan yang tidak sama pada tiap titik kedalaman maka pengukuran kecepatan arus hendaknya dilakukan pada beberapa titik kedalaman. Salah satu kelebihan *currentmeter* adalah dapat digunakan untuk melakukan pengukuran kecepatan arus pada berbagai kedalaman. Pada umumnya, pengukuran dilakukan pada kedalaman 0,8 dan 0,2 dari total kedalaman sungai. Kecepatan rata-rata diperoleh dengan menggunakan hasil rata-rata dari dua pengukuran tersebut. Pada sungai dangkal, pengukuran kecepatan arus dapat dilakukan hanya pada kedalaman 0,6 dari total kedalaman sungai (Asdak, 2010).

Pengukuran kecepatan arus dengan menggunakan alat *current meter* seharusnya menghasilkan angka-angka yang memiliki tingkat akurasi tinggi selama tidak digunakan pada aliran air yang berpusar atau pada aliran air yang berbuih oleh derasnya arus. Mekanisme poros pada baling-baling *currentmeter* membuat alat ini memiliki keterbatasan pada saat digunakan untuk mengukur arus yang tenang. Alat ini membutuhkan dorongan air untuk memutar baling-balingnya. Apabila dorongan tersebut lemah maka sebagian dari tenaga dorong tersebut akan dikonversi menjadi energi dalam bentuk lain oleh adanya friksi pada poros baling-baling. Hal ini menyebabkan pada

arus air yang berkecepatan rendah, baling-baling akan terlihat berputar sangat pelan dan menghasilkan angka kecepatan lebih rendah dari kecepatan air sebenarnya.



Sumber: Imam Bukhori

**Gambar 13.6** Mengukur Kecepatan Arus Menggunakan *Current Meter*

Apabila alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan arus air adalah pelampung, lepaskan pelampung kira-kira pada bagian tengah sungai. Hitung kecepatan yang dibutuhkan untuk menempuh jarak sepanjang lintasan pengukuran (dari penampang 1 hingga penampang 4). Ulangi proses tersebut pada beberapa jalur sejajar dengan interval jarak yang sama.

Dengan pelampung, pengukuran kecepatan aliran air di permukaan dapat dilakukan dengan mudah, tetapi sulit untuk melakukan pengukuran kecepatan pada beberapa titik kedalaman. Dengan keterbatasan itu, pengukuran kecepatan aliran air dengan pelampung biasanya hanya menghasilkan angka kecepatan arus paling tinggi (aliran tercepat biasanya terjadi di dekat permukaan, yaitu di atas bagian penampang sungai yang terdalam). Untuk dapat memperoleh angka kecepatan yang lebih dapat mewakili kecepatan rata-rata pada seluruh penampang sungai, ditetapkanlah nilai konstanta tertentu. Nilai konstanta tersebut adalah antara 0,8 hingga 0,95. Kita dapat menggunakan angka konstanta sebesar 0,85 seperti yang direkomendasikan oleh Smith dan Stopp (1978).

Debit adalah Jumlah air yang dipindahkan dalam waktu satu detik yang diperoleh dengan rumus:

$$Q = V \times A \times \text{konstanta}$$

Q : debit

V : kecepatan rata-rata

A : Luas rata-rata penampang sungai

Waktu tempuh rata-rata bagi pelampung untuk menempuh jarak 3 meter adalah 9 detik. Dengan kata lain, dalam satu detik pelampung menempuh jarak sejauh 33,3 cm. Bila dihitung dengan rumus di atas, debit air adalah sebesar :

$$33,3 \times 8.694,5 \times 0,85 = 246.097,8225.$$

Angka ini dinyatakan dalam satuan  $\text{cm}^3$  per detik. Untuk memperoleh angka debit air dengan satuan liter per detik, angka di atas dibagi dengan bilangan 1.000. Dalam satuan liter per detik, debit air di bagian sungai yang diukur adalah 246,0978225, atau dibulatkan menjadi 246 liter per detik.

Debit air juga dapat diketahui dengan cara-cara lain, misalnya dengan teknik *dilution gauging* yang sangat sesuai dipergunakan pada sungai berarus deras. Cara kerjanya berdasar pada prinsip yang menyatakan bahwa derajat pelarutan (*dilution*) suatu larutan dengan

volume dan konsentrasi yang telah diketahui akan menunjukkan hubungan fungsi debit positif dan langsung saat dilepaskan pada suatu aliran air. Garam dapur dapat dipergunakan untuk melakukan pengukuran dengan cara ini. Cara pelepasan dapat dilakukan secara langsung, sebanyak jumlah garam yang hendak dilarutkan, maupun sedikit demi sedikit, dengan jumlah yang terkontrol.



Sumber: Bagus Yulianto

**Gambar 13.7** Mengukur Debit Air Sungai Bawah Tanah dengan Alat EC Meter

Dalam menjalankan tugasnya, tim survei harus dapat mengidentifikasi dengan tepat lokasi yang mereka pilih untuk melakukan pengukuran debit air. Tim survei harus dapat menandai lokasi ini pada peta gua, baik pada peta yang telah ada maupun yang sedang mereka kerjakan. Sebelum meninggalkan lokasi pengukuran, harus dipastikan bahwa lokasi pengukuran telah tercatat dengan benar.

## B. *Water Tracing*

Salah satu fenomena yang menjadi penanda kawasan karst adalah sistem drainase yang lebih berkembang di bawah permukaan daripada di permukaan. Oleh karena itu, diperlukan kegiatan pemetaan bawah permukaan yang dilakukan secara sistematis dan terpadu untuk dapat memiliki gambaran menyeluruh tentang sistem hidrologi suatu kawasan karst. Persoalan yang muncul adalah tidak semua saluran air bawah tanah dapat dipetakan oleh manusia. Bila telah sampai pada batas ini tugas survei harus dilanjutkan oleh sesuatu yang lain, selain manusia.

*Water tracing* dilakukan untuk mengungkap hubungan antara aliran sungai bawah tanah melalui bagian lorong yang tidak dapat atau sangat sulit dilalui oleh manusia. Esensi pekerjaan *water tracing* atau peruntutan aliran air adalah menemukan kesamaan materi atau kualitas yang dikandung oleh air pada bagian yang diperkirakan sebagai hulu maupun hilir dari suatu sistem sungai bawah tanah yang sama.

Indikator yang digunakan dalam *water tracing* dapat berupa kualitas inheren yang secara alami telah dimiliki oleh air sungai tersebut. Kualitas inheren adalah kualitas khas individu yang dimiliki oleh setiap tubuh air yang berbeda dengan tubuh air lain, yang meliputi angka kesadahan, komposisi isotop stabil, suhu, dan kemampuan hantar listrik. Pengukuran terhadap kualitas alami ini dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai alat sesuai dengan jenis kualitas yang hendak diukur.

Selain memanfaatkan kualitas inheren, pelacakan air dapat dilakukan dengan menambahkan atau menghanyutkan materi asing ke dalam aliran air. Materi asing tersebut dapat berupa benda yang mampu mengapung dan mudah dilihat. Misalnya berupa zat kimia, zat pewarna, bahan radioaktif, bahkan berupa makhluk hidup.

Praktik pelacakan air bukan sesuatu yang baru dan harus dilakukan dengan bahan serta alat mutakhir. Misalnya di Papua New Guinea, penduduk setempat sejak lama telah melakukan pembuktian

terhadap dugaan hubungan antara sungai-sungai permukaan yang hilang dalam gua dan muncul kembali di tempat lain. Pembuktian tersebut dilakukan dengan menghanyutkan balok kayu yang telah ditandai dengan ukiran tertentu. Di beberapa tempat di Indonesia, masyarakat yang tinggal di daerah berbatu gamping telah melakukan usaha-usaha yang layak disebut sebagai *water tracing* meski hanya dilakukan dengan bahan-bahan sederhana yang tersedia, misalnya sekam atau serbuk gergaji. Kalangan ilmuwan menggunakan agen perunut air yang lebih dapat diandalkan, seperti zat pewarna, spora, garam, bahkan zat radioaktif.

### **Agen Perunut**

Materi asing yang digunakan sebagai agen perunut disarankan memenuhi kriteria ideal berikut (Bull & Lawler, 1995).

1. Mampu terdeteksi secara kuantitatif dalam konsentrasi rendah.
2. Tidak dijumpai, atau hampir tidak dijumpai pada air setempat.
3. Tidak menghasilkan reaksi kimia bila dicampur dengan air.
4. Tidak terserap oleh media berpori (misalnya  $\text{CaCO}_3$ ).
5. Aman bagi kesehatan manusia dan binatang.
6. Tidak menimbulkan sikap penolakan dari masyarakat.
7. Harus dapat dipastikan mampu terdeteksi.
8. Tidak menyebabkan penggumpalan tanah dan lumpur.
9. Murah dan dapat diperoleh dengan mudah.
10. Tidak memerlukan monitoring secara terus-menerus.
11. Dapat digunakan secara simultan pada semua bagian dari sistem tangkapan.

Sebenarnya, tidak ada satupun agen perunut yang dapat dengan sempurna memenuhi seluruh kriteria di atas. Namun, setiap pilihan memiliki keunggulan terhadap pilihan yang lain. Berikut ini adalah penggolongan agen pelacak yang pernah digunakan untuk melacak aliran sungai bawah tanah (Bögli, 1980).

## 1. Garam-garaman

Garam dapur (NaCl) yang biasa digunakan sehari-hari merupakan agen perunut yang tergolong aman bagi lingkungan. Meski murah dan mudah didapat, kekurangan dari bahan ini ialah harus dituangkan dalam jumlah banyak supaya dapat terlacak. Setidaknya untuk sungai yang mengalirkan 1 meter kubik air per detik, harus disediakan sejumlah 300 kilogram garam.

Masih dari jenis garam-garaman, *uranine* dapat menghasilkan kepekatan yang lebih tinggi saat dicampurkan ke air sehingga untuk debit yang sama hanya diperlukan 20 gram *uranine*. Jenis garam lain yang juga dapat digunakan adalah nitrat perak, potasium klorida, dan lithium klorida.

Keberadaan garam dalam air memengaruhi kemampuan air dalam meneruskan gelombang listrik. Para ilmuwan menggunakan alat yang disebut EC meter atau *electric conductivity meter* untuk mengetahui keberadaan garam pada air sungai. Alat ini bekerja dengan membaca kemampuan air dalam meneruskan gelombang listrik.

## 2. Zat Pewarna

Salah satu jenis zat pewarna yang aman bagi lingkungan adalah *florescein*. Zat pewarna ini dapat bekerja dengan baik di daerah dengan iklim empat musim. Namun, zat ini mudah terpengaruh oleh sinar matahari yang kuat sehingga kurang sesuai digunakan di tempat-tempat tertentu di daerah tropis. Di sekitar garis katulistiwa, konsentrasi *Pyranine* dan *Rhodamine* lebih dapat diandalkan (Bull & Damian, 1995). *Florescein* akan mengalami kerusakan ketika dicampurkan dengan air yang memiliki tingkat keasaman tinggi, misalnya pada air yang mengandung banyak bahan organik yang telah membusuk. *Sulforhodamine* yang berwarna merah digunakan sebagai penggantinya. Zat ini masih dapat dikenali di dalam air meski hanya dalam konsentrasi 1 gram dalam 1 juta ton air (1:10<sup>12</sup>). Sementara *uranine*, zat garam yang juga menghasilkan warna saat dicampur dengan air. *Uranine* dapat dikenali dengan mata telanjang dalam perbandingan 1:10<sup>7</sup>. Selain itu, di bawah cahaya lampu *quarts*

*analisis* zat ini dapat diketahui dalam perbandingan 1:10<sup>10</sup>, dan dengan mempergunakan karbon aktif dapat terdeteksi pada perbandingan 1:10<sup>12</sup>.

Pengamatan dengan mata telanjang tidak dianjurkan karena akan membutuhkan bahan dalam jumlah lebih banyak. Pertimbangan lain adalah pemakaian dalam jumlah banyak dapat menyebabkan bertambahnya kadar racun di dalam air meski bahan yang dipakai digolongkan sebagai bahan ramah lingkungan (Bull & Damian, 1995).

Thurner (1967) mengajukan rumus berikut untuk penghitungan jumlah zat pewarna yang perlu dihanyutkan ke dalam aliran.

$$M = \overline{EK} \cdot Q$$

$M$  : Jumlah zat pewarna dalam satuan kilogram.

$\overline{EK}$  : Jarak antara titik pelepasan dan penangkapan dalam satuan kilometer.

$Q$  : Debit air pada tempat penangkapan zat pewarna dalam satuan meterkubik per detik.

### 3. Radio Isotop

Agen perunut yang memancarkan gelombang radioaktif digunakan saat informasi yang akan dikumpulkan lebih dari sekadar kepastian adanya hubungan antara hulu dan hilir sungai bawah tanah. Zat ini dilepaskan apabila para peneliti juga ingin mengetahui adanya pemisahan atau penggabungan aliran-aliran sungai bawah tanah. Di antara anggota rumpun zat radioaktif, golongan radio isotop dipilih karena memiliki waktu paruh yang singkat, yaitu antara 12 jam hingga 3 bulan.

### 4. Agen Perunut yang Dapat Diaktifkan

Jenis perunut ini meliputi berbagai zat yang atom netronnya dapat diaktifkan sehingga memiliki kemampuan untuk memancarkan radiasi sebagaimana zat radioaktif.

## 5. Deterjen dan Zat Aromatik

Salah satu bahan perunut yang tidak memerlukan teknologi tinggi untuk pengamatan adalah sabun deterjen. Bila dituangkan sejumlah deterjen di hulu sungai, dapat dilihat busa sabun yang terbawa oleh arus. Peneliti akan dapat mendeteksi keberadaan agen pelacak di tempat yang ditunggunya tanpa alat bantu apapun. Untuk keperluan ini, hanya boleh dipergunakan deterjen yang bersifat ramah lingkungan, seperti deterjen berbahan *alcybenzol sulfonates* yang mampu menghasilkan banyak buih dan mudah diuraikan secara organik. Busa yang dihasilkan dapat bertahan selama berhari-hari dengan cairan penyetail. Untuk memperoleh buih yang cukup untuk diamati, diperlukan perbandingan deterjen dengan air sebesar 1 : 2,10<sup>6</sup> (Schnitzer, 1965, 1967).

Selain mata, hidung manusia dapat digunakan sebagai alat pendeteksi agen perunut, yaitu ketika agen yang dihanyutkan berupa zat aromatik. Beberapa macam zat aromatik yang pernah digunakan untuk tujuan ini antara lain adalah *dipenten* yang menebarkan aroma lemon di sepanjang sungai yang dilaluinya, atau asam *isobornyl* yang beraroma pohon *spruce* (sejenis cemara), serta harum anggrek yang dikeluarkan oleh zat bernama *isoamyl salycylate*.

## 6. Materi yang Hanyut Terbawa Air

Berbagai benda, baik hidup maupun mati dapat dipergunakan sebagai agen perunut asal dapat terbawa air melalui lorong sungai bawah tanah. Sekam, serbuk gergaji, bahkan spora pernah dicoba di berbagai tempat. Di antara berbagai macam spora, *Lycopodium* memiliki kelebihan berupa kemampuannya untuk dapat diberi beberapa warna yang berbeda sehingga dapat dipakai untuk melacak sistem aliran air yang bersumber pada lebih dari satu tempat (Smart dkk., 1986). Organisme renik lain yang pernah dihanyutkan sebagai agen perunut adalah bakteri. Bakteri yang dipilih berasal dari jenis yang tidak berbahaya, semisal *serratia marcescens* (*bacterium prodigiosum*) yang berwarna merah atau *chromobacterium violaceum* yang dapat dikenali dari warna ungunya.

Bentuk kehidupan yang lebih maju juga dapat dimanfaatkan untuk melacak aliran sungai bawah tanah. Mata air Timavo di dekat kota Triest Italia diketahui dengan bantuan sejumlah belut yang telah diberi tanda. Binatang-binatang ini dilepaskan pada aliran sungai yang menghilang ke dalam lorong gua. Setelah menunggu selama 55 hari, para peneliti mendapati belut-belut ini muncul tepat di tempat yang sudah diperkirakan.



Sumber: Bagus Yulianto

**Gambar 13.8** Pengukuran tingkat radioaktivitas pada air sungai bawah tanah untuk mengetahui hubungannya dengan aliran sungai di gua lain



Buku ini tidak diperjualbelikan.

## UJUNG LORONG

### A. Memulai Belajar Memetakan Gua

Belajar membuat peta gua tidak berbeda dengan belajar ilmu yang lain, perlu ketekunan, dan dilakukan dengan urutan tahapan yang benar. Tahapan pelajaran bahkan sudah harus dimulai sebelum seseorang mempelajari materi pertama pemetaan gua. Tahap tersebut adalah mempelajari lingkungan gua dan potensi-potensi bahaya yang dimilikinya, serta cara-cara untuk menelusuri gua dengan aman.

Tahap berikutnya adalah mengenal peralatan yang akan dipergunakan dalam kegiatan pemetaan gua. Seorang *surveyor* harus mengetahui cara memperlakukan dan mempergunakan alat-alat ukurnya dengan benar sebelum ia benar-benar membawa alat-alat tersebut ke dalam gua.

Tahap akuisisi data adalah tahap dari kegiatan pemetaan gua yang paling menguras tenaga, waktu, dan tentu saja biaya, oleh sebab itu tahap ini sebaiknya baru dilakukan setelah semua anggota tim benar-benar mengetahui apa yang harus mereka lakukan dan bagaimana cara melakukannya. Untuk meyakinkan bahwa semua anggota tim survei dapat melakukan tugasnya dengan benar, dan tidak menyia-nyiaikan waktu dengan mencoba alatnya ketika berada di mulut gua, tim survei dapat melakukan simulasi pemetaan di tempat yang lebih mudah, misalnya di dalam rumah atau di lorong-lorong di dalam atau di antara bangunan.

Dalam tahap pengambilan data yang sebenarnya, *surveyor* pemula akan menemukan beberapa hal yang membuat perjalanan di dalam gua terasa sangat lambat, mulai dari *shooter* yang mengalami kesulitan untuk membaca angka-angka pada alat ukur yang dioperasikannya, hingga, yang hampir dapat dipastikan terjadi, *descriptor* yang kebingungan untuk menggambar sketsa. Setidaknya satu di antara beberapa masalah berikut ini biasa ditemui oleh orang yang baru pertama kali, atau beberapa kali bertugas menggambar sketsa survei; kebingungan menentukan orientasi lembar gambar; lupa bahwa ia harus membuat tiga macam sketsa sekaligus, yaitu sketsa tampak atas, tampak samping, dan potongan tampak depan pada setiap stasiun survei; lupa menarik garis *centerline* dan garis dinding kiri dan kanan; serta terlalu bingung untuk melakukan semua tugas di atas dalam waktu yang sangat terbatas sehingga lupa untuk memperhatikan dan mencatat detail dan kondisi lorong.

Kesiapan fisik dibutuhkan dalam pekerjaan mengumpulkan data di dalam gua. Selain masalah fisik, permasalahan-permasalahan psikis seperti tekanan dan kebosanan juga mudah terjadi saat bekerja di tempat yang sangat tidak nyaman. Usai mengumpulkan data, tim survei harus segera memindahkan data ke tempat yang aman. Salin semua data yang telah dikumpulkan di lapangan, baik yang berupa angka maupun yang berupa sketsa ke dalam lembar kertas atau buku. Pemindehan data perlu dilakukan dengan segera karena cepat atau lambat lembar pengumpulan data akan dihapus untuk dipergunakan pada survei berikutnya. Bila data sudah terlanjur dihapus sementara salinan belum dibuat itu berarti semua jerih payah yang telah dilakukan menjadi sia-sia.

Tahap pengolahan data adalah tahap yang penuh godaan, dan godaan ini bukan hanya menghampiri *surveyor* yang baru satu atau dua kali memetakan gua. Godaan akan datang dalam wujud pikiran kita sendiri yang mengatakan bahwa sekarang bukanlah saat yang tepat untuk mulai menghitung. Menghitung itu mudah dan dapat dilakukan kapan saja, yang penting pekerjaan terberat (akuisisi data) sudah diselesaikan. Boleh saja orang berpikiran demikian, yang menjadi masalah adalah apabila ia masih tetap berpikir seperti itu selepas

beberapa hari pekerjaan lapangan selesai, atau beberapa minggu, atau tanpa terasa beberapa bulan. Bila sudah demikian, harapan bagi angka-angka itu untuk dapat berubah wujud menjadi sebuah peta gua akan semakin padam. Semakin lama jarak antara tahap pengumpulan data dengan tahap pengolahan data dan penggambaran peta, akan semakin berkurang pula ingatan si penggambar peta tentang hal-hal yang ditemui di dalam gua yang dipetakannya dan tentang detail yang telah dicatatnya. Padahal ingatan yang segar tentang kedua hal tersebut amatlah dibutuhkan untuk memecahkan masalah yang mungkin ditemui pada saat menghitung dan menggambar.

Godaan berikutnya bagi seseorang yang sedang belajar menghitung data pemetaan adalah kemudahan yang disediakan oleh teknologi modern. Bila ia memang berniat untuk belajar, data gua pertama yang dikumpulkannya harus dihitung dengan kepalanya sendiri. Teknologi hanya boleh dipergunakan untuk membantu. Dalam hal ini bantuan teknologi cukup berupa satu unit kalkulator. Dengan cara ini ia diharapkan untuk mengerti kenapa angka-angka tersebut harus dihitung demikian dan bukan dengan cara yang lain. Ia juga diharapkan untuk mengetahui hal-hal yang dapat menyebabkan terjadinya kesalahan penghitungan data dan cara mengatasinya.

Seperti halnya pada tahap pengolahan data, seseorang yang baru pertama kali menggambar peta gua hendaknya melakukannya sebanyak mungkin dengan tangannya sendiri. Artinya, ia harus menggambar peta secara manual dengan alat gambar konvensional seperti pensil, penghapus, pena, dan penggaris, (juga busur derajat bila ia melakukan plotting titik stasiun dengan menggunakan sistem koordinat polar).

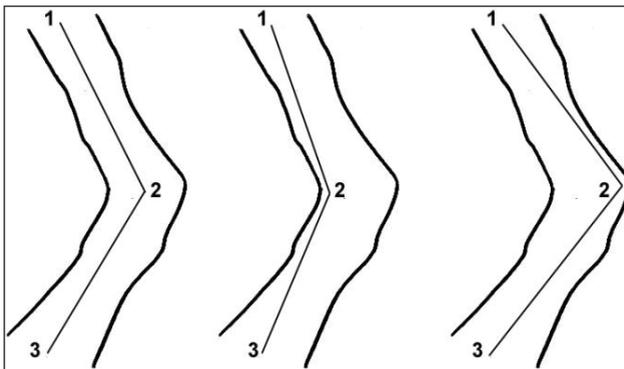
## **B. Subjektivitas Peta Gua**

Peta gua merupakan suatu hasil karya yang disusun dari hasil pengukuran dengan teknik-teknik yang telah ditentukan dan diselesaikan dengan penggambaran di mana perasaan dan kemampuan estetis turut berperan. Penggabungan unsur teknis dan estetika memungkinkan suatu peta gua memiliki sifat objektif yang ditunjukkan dengan kemampuannya menggambarkan arah dan panjang lorong hingga

tingkat ketepatan tertentu, sekaligus sifat subjektif yang memberi ruang bagi *draughtsman* untuk menarik garis-garis dinding, lantai, atap, dan detail gua sesuai dengan ingatan dan kemampuan estetisnya.

Lorong gua merupakan ruang tiga dimensi di mana dua tim survei yang memiliki peralatan dan kemampuan survei yang setara tidak akan dapat menghasilkan dua peta yang persis sama. Subjektivitas bukan hanya dapat terjadi pada proses penggambaran detail lorong, namun juga pada tahap pengukuran lorong yang seharusnya merupakan tahap yang sangat mengacu pada aturan-aturan teknis. Pada tahap ini subjektivitas bukan berarti mengendornya aturan-aturan teknis pengukuran. Subjektivitas lebih menunjuk pada terbukanya kesempatan bagi tim survei untuk memilih jalur survei mereka sendiri di antara beberapa kemungkinan jalur yang dapat dilalui. Objek tetap sama yaitu lorong yang sama, tetapi si subjek, yaitu para *surveyor*, melakukan pengukuran pada jalur yang mereka pilih sendiri. Setiap jalur survei yang dipilih akan memberikan hasil akhir yang berbeda dari hasil akhir jalur lainnya.

Dua tim survei yang melakukan survei pada suatu gua yang sama memiliki kemungkinan sangat kecil untuk dapat menghasilkan perhitungan panjang lorong yang persis sama. Meski teknik dan disiplin pengukuran kedua tim tersebut sama, namun perbedaan pemilihan titik stasiun pada lorong yang sama dapat menyebabkan berbedanya angka panjang lorong yang diperoleh oleh masing-masing tim.



**Gambar 14.1** Tiga Rangkaian *Centerline* dengan Panjang yang Berbeda dari Suatu Lorong yang Sama

Suatu bagian lorong yang sama dapat digambarkan secara berbeda pada peta gua. Perbedaan kemampuan teknik penelusuran tim survei dapat mengakibatkan pencantuman keterangan yang berbeda. Suatu tim survei mungkin mencantumkan P.8 pada bagian lorong yang menurut mereka hanya dapat ditelusuri dengan bantuan peralatan penelusuran medan vertikal, sementara bagi tim lain yang menambatkan lintasan tali 3 meter lebih rendah memberi keterangan P.5 pada lorong yang sama. Tim berikutnya mampu melaluinya tanpa bantuan alat sehingga simbol yang mereka cantumkan pada bagian lorong tersebut adalah C.5.

Suatu lorong vertikal dapat dicatat dan digambar dengan simbol *pitch* oleh suatu tim *surveyor* yang melintasinya, namun oleh tim lain yang melakukan survei dari jalur lain yang berada di bawah *pitch* tersebut, lorong vertikal tersebut dapat dicatat dan digambar dengan simbol yang diperuntukkan bagi *aven*.

Selain kemampuan penelusur dalam mengatasi rintangan, ternyata ukuran tubuh *surveyor* juga dapat menyebabkan perbedaan besar dalam peta gua. Seperti yang telah dicontohkan pada proses survei sistem gua Gremeng pada bab 9, suatu bagian lorong gua yang telah dinyatakan terlalu sempit untuk dapat dimasuki oleh manusia dan digambarkan di dalam peta dengan simbol CS, ternyata dapat dilewati oleh manusia dengan ukuran tubuh yang berbeda.

Kondisi lorong gua juga bersifat relatif, artinya kondisi lorong tersebut tidak tetap sepanjang waktu. Perubahan terhadap kondisi lorong dapat terjadi dalam jangka panjang, atau dalam hitungan jam. Dapat berupa perubahan tanpa pola yang tetap, namun dapat pula memiliki siklus tertentu. Contoh dari perubahan tanpa pola tetap adalah runtuhnya atap gua, sedangkan perubahan dengan siklus tetap dicontohkan oleh banjir yang selalu terjadi pada hari-hari musim penghujan. Perubahan kondisi lorong dari waktu ke waktu akan menyebabkan suatu survei menghasilkan suatu peta yang tidak sama dengan peta hasil survei yang dilaksanakan pada waktu yang berbeda.

### C. Standar Pemetaan Gua di Indonesia

Sudah lebih dari tiga dasawarsa sejak bangsa kita mulai mengenal ilmu pemetaan gua. Selama itu pula kita menyerap pengaruh dari berbagai bangsa yang membawa ilmu tersebut ke negeri ini. Pengaruh ini berupa teknik-teknik dan metode pemetaan, sistem pembagian *grade* dan klasifikasi survei, simbol-simbol yang dipergunakan, serta gaya tampilan peta. Tidak perlu dipungkiri bahwa yang menjadi patron bagi kita dalam mengembangkan ilmu ini adalah bangsa Inggris, namun juga tidak dapat disangkal bahwa kita bukanlah penganut taat aliran yang mereka ajarkan, karena selain dari mereka, kita juga tidak menutup diri terhadap masuknya pengaruh dari bangsa-bangsa lain.

Selain dalam teknik pemetaan, pengaruh besar juga terlihat dalam peristilahan yang dipergunakan, baik dalam proses pengumpulan data maupun dalam peta yang disajikan. Hampir semua peristilahan pemetaan yang dipergunakan oleh penelusur gua kita adalah dalam bahasa Inggris, sementara sebagian kecil dari bahasa asing lainnya. Istilah-istilah bahasa Inggris yang dicantumkan pada peta gua memang memberikan nilai lebih karena ia akan dapat dipahami oleh lebih banyak orang. Banyak istilah dalam pemetaan gua yang selain perlu dimengerti dalam bahasa aslinya, juga seharusnya memiliki padanan dalam bahasa Indonesia. Harus penulis akui bahwa dalam buku inipun peristilahan yang banyak dipergunakan adalah peristilahan asing, dan memang bukan wewenang buku ini untuk menyusun istilah pemetaan yang baku bagi para *surveyor* kita.

Bila harus dirangkum ke dalam suatu kalimat singkat, kesimpulan dari apa yang telah diuraikan di atas adalah “Pemetaan gua di Indonesia belum memiliki standar yang baku.” Memang pada kenyataannya baru pada tahap ini ilmu pemetaan gua berkembang di sini. Ini bukan berarti kita akan berada di sini selamanya. Harus disadari bahwa standarisasi teknik pemetaan, pengolahan data, simbologi, terminologi, serta penggambaran peta bagi kita, *surveyor* gua Indonesia masih merupakan pekerjaan rumah yang harus kita selesaikan.

Satu hal yang mendesak untuk mulai diterapkan sebagai standar bagi peta gua buatan *surveyor* pribumi adalah pencantuman tanda utara sebenarnya atau *true north*. Seperti yang sudah dibahas pada bab 7, tanda utara sebenarnya memiliki masa relevansi yang panjang. Peta gua dengan referensi arah utara sebenarnya akan tetap memiliki arah yang sesuai ketika dipergunakan jauh di masa mendatang. Sebagai peta kerja pada sistem perguaan yang belum seluruhnya terpetakan, penggunaan tanda utara sebenarnya juga sangat memudahkan bagi tim survei berikutnya untuk menggabungkan pekerjaan mereka pada jalur pengukuran yang sudah ada.

Banyak *surveyor* gua di Indonesia yang belum menyadari pentingnya pencantuman tanda utara sebenarnya pada peta gua. Dalam buku inipun, sebagian besar peta gua yang dibuat masih menggunakan tanda utara magnet. Penggunaan utara magnet memang lebih mudah untuk dilakukan, namun hanya relevan untuk jangka waktu yang tidak terlalu lama. Apabila kita menginginkan agar peta gua yang kita buat tetap dapat digunakan hingga puluhan atau ratusan tahun ke depan, marilah kita bersama-sama mengubah kebiasaan dengan mulai menggunakan tanda utara sebenarnya.

#### **D. Pemetaan Gua di Indonesia, Menuju Masa Depan**

Kegiatan pemetaan gua di Indonesia hingga saat ini pastinya telah menghasilkan ratusan, atau bahkan ribuan peta gua. Sebagai dokumen penting yang dibuat dengan bersusah-payah, sudah selayaknya pembuat peta menjaga dan menyimpan hasil karyanya dengan baik. Menjaga dan menyimpan peta bukan berarti menutupnya rapat-rapat untuk dirinya sendiri tanpa memberi kesempatan pada peta tersebut untuk dapat memberi manfaat yang lebih luas. Berapa banyak peta gua yang sejauh ini hanya tersimpan rapi di dalam lemari arsip, atau di dalam *harddisk* tanpa ada yang pernah melihatnya lagi. Tanpa ada yang tahu apakah peta itu masih bisa terbaca ataukah sudah memudar atau hilang tak menentu.

Peta gua seharusnya dibuat dengan kesadaran bahwa peta itu akan bermanfaat bukan hanya bagi pembuatnya, namun juga bagi

orang banyak. Peta gua seharusnya merupakan dokumen yang dapat bermanfaat bagi banyak pihak, mulai dari masyarakat umum, pelajar, pengelola wisata, instansi pemerintah, kalangan ilmuwan, akademisi, militer, aktivis lingkungan, hingga kalangan sesama penggiat pemetaan gua. Dalam lingkaran terkecil, yaitu kalangan sesama penggiat pemetaan gua, berbagi peta dan data gua seharusnya tidak akan merugikan pihak manapun. Dengan saling berbagi, justru akan memunculkan suatu sinergi yang dapat menghasilkan sesuatu yang lebih besar dari apa yang dapat kita lakukan sendiri. Bagi kalangan ini, komunikasi, kerja sama, dan kerelaan untuk saling berbagi adalah suatu keharusan sehingga negara dengan luas kawasan karst mencapai 154.000 kilometer persegi ini pada akhirnya dapat memiliki suatu sistem kompilasi peta gua berskala nasional. Sistem seperti ini akan menyelamatkan berkas-berkas peta dari kerusakan, hilang dan terlupakan. Sistem seperti ini juga akan menyelamatkan banyak *surveyor* dari melakukan perbuatan sia-sia, seperti memetakan lorong gua yang sudah pernah dipetakan sebelumnya.

Bagi kalangan yang lebih luas, sistem kompilasi peta gua berskala nasional berarti terbukanya kesempatan bagi siapapun yang membutuhkan untuk mempergunakan data bagi kepentingan-kepentingan yang tidak melanggar nilai-nilai konservasi. Sistem kompilasi peta gua berskala nasional, atau apapun istilahnya, agak mudah diucapkan, namun tentu tidak mudah untuk diwujudkan. Tetapi bukankah para *cave surveyor* terlahir tidak untuk melakukan hal-hal mudah?

## Daftar Referensi

- Acintyaçnyatâ Speleological Club. (2004). *Diktat Speleologi Dasar*.
- Agrell, E. (2003). The UIS Survey Grades and their Use in Sweden. *Compass Points* 30. 9-11.
- Amhar, F. (2004). *Mendapatkan Angka Deklinasi Magnetik untuk Peta Rupabumi*. Pusat Pemetaan Dasar Rupabumi dan Tataruang, Bakosurtanal.
- Anderson, E.G., dkk. (1978). *ASF Cave Survey and Map Standars*. Australian Speleological Federation Inc.
- Asdak, C. (2010). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). *SNI-19-6724-2002 Jaring Kontrol Horizontal*.
- Bartholomew, R.V. (1988). Use One Eye with the Suunto. *Compass and Tape*. 6(2), Issue 21, 16-20.
- Bartlett, J. (2009). How I Learned to Love Cross Sections, Testimonial from a Survivor of GCSS. *Compass and Tape*. 18(1), Issue 61. 10-16.
- Bartsch, E. (1985). An Outsider's Look at the Inside of A Cave. *Compass and Tape*, 3(1), Issue 9, 3-11.
- Beiser, A. (1962). *The Earth*. Time-Life Books.
- Beumee, J.G.B. (1919). *de Tropische Natuur VIII (6-7) Orgaan van de Nederlandsch-Indische Natuur Historische Vereeniging*: 96-98.

- Bögli, A. (1980). *Karst Hidrology and Physical Speleology*. Springer-verlag berlin heidelberg.
- Boycott, T. (1992). Cave references in John Aubrey's *Monumenta Britannica*. *University of Bristol Spelaeological Society Newsletter*. 8(3), 5-9.
- Breisch, R. (1991). The Only Cave Map on A Postage Stamp. *Compass and Tape*. 9(1,2), 8.
- Brinker, R.C., Wolf, P.R., & Walijatun, D. (1986). *Dasar-Dasar Pengukuran Tanah*. Penerbit Erlangga.
- Brod, L. (1998). Errors In The Suunto Compass Used For Cave Surveying. *Compass Points*. 21, 10-16.
- Brook, D.B. & Waltham, A.C. (Ed.). (1978). *Caves of Mulu*. Royal Geographical Society.
- Bull, P.A. & Lawler, D.M. (1995). Flow Measurement and Water Tracing. dalam Judson, D. (Ed.). *Caving Practice & Equipment*. British Cave Research Association. 167-178.
- Cigna, A.A. & Middleton, G.J. (2005), The Stufe di Nerone (Nero's Oven): an ancient artificial cave near Naples (Italy). *Proceedings of the XIV International Congress of Speleology*. Athens, 21-28 August 2005. 459-461.
- Cordingley, J. (1997). Surveying Underwater Caves. *Compass Points*. 16, 10-13.
- Corvi, M. (2018). *The Genesis of Cave Symbols* [draft].
- Craig, J. (1980). *Designing with Type (Rev. Ed.)*. Watson-Guptill.
- Crowl, D. (1984). Sources of Error in Cave Surveys. *Compass and Tape*. 2(1), 14-18.
- Cuff, D.J., Mattson, M.T. (1982). *Thematic Maps: Their Design and Production*, Methuen & Co.
- Dasher, G.R. (1984). Demented Mental Wanderings of A Frustrated Cave Surveyor. *Compass and Tape*. 1(3), 41-48.
- Dasher, G.R. (1994). *On Station, A Complete Handbook for Surveying and Mapping Caves*. National Speleological Society, Inc.
- Day, A. (2002). *Cave Surveying*. British Cave Research Association.

- Degtjarev, A., Snetkov, E., & Gurjanov, A. (2007). Obtaining Accurate Cave Depths by Hydrolevelling. *Compass Points*. 38, 8-12.
- Dougherty, M. (2006). The Effect of Binocular Vision Disorder on Cave Surveying Accuracy. *Cave and Karst Science*. 33(2), 51-54.
- Elliot, D. (1986). *Single Rope Technique a training manual*, Troll Safety Equipment.
- Ellis, B.M. (1971). The Survey of Raufarhólshellir. *Trans Cave Res Es Gp*. 13.
- Ellis, B.M. (1976a). Cave Surveys, dalam Ford, T.D. & Cullingford, C.H.D. (Ed.). *The Science of Speleology*. Academic Press.
- Ellis, B.M. (1976b). *Surveying Caves*. British Cave Research Association.
- Ellis, B.M. (1987a). Cave Surveying in Britain – an Historical Review. *Cave Science*. 14(2), 52-55.
- Ellis, B.M. (1987b). *An Introduction to Cave Surveying*. British Cave Research Association.
- Faulkner, T. (2008). Rapid Solo Surveys of Short Caves. *Compass Points*. 39, 10-11.
- Ferrari, G.W. & Lamagna, R. (2013). Nero's Oven: Ten Surveys Are Not Enough. dalam *16<sup>th</sup> International Congress of Speleology Proceedings Volume 2.*, 206-212. Brno, Czech Republic.
- Field, M.S. (1999). *A Lexicon of Cave and Karst Terminology with Special Reference to Environmental Karst Hydrology*. National Center for Environmental Assessment-Washington Office, Office of Research and development, U.S. Environmental Protection Agency.
- Fish, L. (1996). The Problem with Least Squares Loop Closures. *Compass and Tape* 41, 15-18.
- Ford, T.D. (1976). Geological Surveying of Caves, dalam Ellis, B.M. *Surveying Caves*. British Cave Research Association.
- French Speleological Expedition. (1983). *Speleological Research in Indonesia Kalimantan 1982-1983*.
- Ganter, J. (1983). Say, How High is that Dome?. *Compass and Tape*, 1(1), 10-11.
- Ganter, J. (1984). Lettering. *Compass and Tape*, 2(2), 33-37.

- Ganter, J. (1986). Towards a Communicative Cave Report. *Compass and Tape*, 3(4), 73-86.
- Ganter, J. (1988). 50 Years of Cave Mapping: A Brief Overview. *Compass and Tape*, 6(2), 9-15.
- Gillieson, D. (1996). *Caves, processes, development, management*. Oxford, Blackwell Publishers Ltd.
- Green, D.J. (2004). The Effects of Lava on Compass Readings: Part I. *Compass and Tape*, 16(4), issue 56, 9-19.
- Green, D.J. (2005). The Effects of Lava on Compass Readings: Part II. *Compass and Tape*, 17(1), 5-11.
- Halleck, J. (1999). Blunder detection using Internal Angel. *Compass Points*, 24, 13-16.
- Hanna, K. (1964). Survey. dalam Patmore, D.J. & Nicholson, F.H. The Fergus River Cave, County Clare, Ireland. *Proceedings of the University of Bristol Speleological Society*, 19(3), 291-311.
- Hatherly, P. (1987). Symposium on Cave Surveying - Surveying Caves. *Cave Science*, 14(2), 49-51.
- Häuselmann, Ph., Weidmann, Y., Translation: Ruder, N., & Wookey. (1996). A Suggestion for a Unified Symbol List for Cave Surveys. *Compass Points*, 14, 9-16.
- Häuselmann, Ph. (2011). UIS Mapping Grades. *International Journal of Speleology*, 40. IV-VI.
- Hidayati, R. (2006). *Studi Fasies Batugamping Cisande Formasi Halang pada daerah Kuta dan sekitarnya, Kecamatan Bantarbolang, Kabupaten Pemalang Jawa Tengah* [Skripsi tidak diterbitkan]. Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jogjakarta.
- Imhof, E. (1975). Positioning Names on Maps. *The American Cartographer*, 2(2), 128-144.
- Irwin, D.J. (1974). *The Closed Traverse Misclosure*, Bristol Exploration Cl, Caving Report No 18, 18-26.
- Jefferson, T. (1782). Notes on the State of Virginia (Vol. 1). Library of America.
- Laksmiana, E.E., Rahdiana, R., & Wibowo, U.P. (2013). *Laporan Kegiatan Eksplorasi Gua di Daerah Ogan Komering Ulu Sumatera Selatan* [Tidak diterbitkan]. Acintyaçünyatâ Speleological Club.

- Laumanns, M. & Price, L. (2011). A General Assessment of the Great Caves and the Karst of Southeast Asia. dalam Haryono E., Nugroho A., Suratman (Ed.), *Proceedings: Asian Trans-Disciplinary Karst Conference 2011*, Karst Research Group, Faculty of Geography, Gadjah Mada University. 404-419.
- Lloyd, O.C. (1976). Surveying Submerged Passages. dalam Ellis, B. *Surveying Caves*, British Cave Research Association.
- Mac Donald, Sir. M. & Partners. (1984), *Greater Yogyakarta Groundwater Resources Study, Volume 3C Cave Survey*. Government of the Republic of Indonesia, Ministry of Public Works, Directorate General of Water Resources Development, Groundwater Development Project.
- Martel, E.A. (1894). *Les abîmes* (The Depths). Delagrave.
- Mullan, G.J. (1993). Pen Park Hole, Bristol: A reassessment. *Proceedings of University of Bristol Speleological Society*, 19(3), 291-311.
- Nepstad, J. (1988). CAD Applications at Wind Cave. *Compass and Tape*, 6(2), 3-8.
- Palmer, A. (2002). Precision Surveys with the Brunton Compass. *Compass Points*, 28, 12-15.
- Patchenik, B.B. (1974). A Verbal Approach to Characterizing the Look of Maps. *The American Cartographer* 1(1), 63-71.
- Schnitzer, W.A. (1965). Eine neue methode zur Markierung von Karstwasserwegen. *Die Höhle*, 16(3), 64-67.
- Schnitzer, W.A. (1967). Anwendung von Detergentien und verwandten Stoffen in der Hydrogeologie. *Steirische Beitr. Hydrogeol.* 18/19, 231-234.
- Smart P.L., Atkinson T.C., Laidlow I.M.S., Newson M.D. & Trudgill S.T. (1986). Comparison of the Results of Quantitative Tracer Tests for Determination of Karst Conduit Networks; as Example from the Traligill Basin, Scotland, *Earth Surface Processes & Landforms*, 11, 249-261.
- Smith D. I. & Stopp P. (1978). *The River Basin: An Introduction to the Study of Hydrology*. Cambs Univ Press.
- Southwell, R. (1683). A Description of Pen Park Hole in Gloucestershire. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 13, issue 143, 2-6.

- Stevens, J. (2003). Proving Survey Accuracy. *Compass Points*, 30, March 2003, 11-13.
- Suunto. (t.t.). *Optical Reading Clinometer PM-5* (User manual).
- Swicegood, R. (1983). The Wet Suunto: A Treatise on the Care and Feeding of Abused Cave Survey Instruments. *Compass and Tape*, 1 (1), 6-7.
- Syahpanti, E.I. (2005). *Upaya Pengembangan Wisata Minat Khusus Gua di Desa Umbulrejo, Kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunungkidul, Propinsi DIY* [Skripsi tidak diterbitkan]. Universitas Negeri Yogyakarta.
- Thurn, R. (2002). Compass Brands and their Manufacturers. *Compass Points*. 27, 13-14.
- Turner, A. (1967). *Hydrogeologie*. Springer.
- Waltham, A.C., Smart, P.L., Friederich, H., Eavis, A.J. & Atkinson, T.C. (1983). The Caves of Gunung sewu, Java. *Cave Science*, 10(2), 55-96.
- Warild, A. (1990). *Vertical, A Technical Manual for Cavers*. The Speleological Research Council Ltd.
- Wefer, F.L. (1987). On Cave Survey Blunders. *Compass and Tape*, 17, 23-43.
- White, T. (1986). Cave Survey on Expeditions. dalam Willis, D. (Ed.), *Caving Expeditions*. Expedition Advisory Center in association with the British Cave Research Association.
- White, T. & White A.S. (1987). Cave Surveying on Expeditions. *Cave Science*, 14(2), 61-65.
- White, W.B. & Culver, D.C. (2005). *Encyclopedia of Caves*, Elsevier Academic Press.
- Widjanarko, S. (2004). *Pemetaan Gua Sederhana* [Tidak diterbitkan]. Karanganyar.
- Widjanarko, S. (2005). Alat Pemetaan Gua Elektronik. ditulis untuk *Jurnal Lembaga Karst Indonesia* [Belum diterbitkan].
- Widjanarko, S. & Duta. (2007). Survei dan Pemetaan. t.t. Survei dan Pemetaan. Diakses pada 1 November, 2007. Dari <http://www.subterra.or.id>
- Widjanarko, S. (2008). *Tutorial LEKER OLD SG*. Acintyaçûnyatâ Speleological Club.
- Widjanarko, S. (2016). *Ringkasan Tutorial Survex*. Acintyaçûnyatâ Speleological Club.

- Wong, W. (1972). *Principles of Two-Dimensional Design*. Van Nostrand Reinhold Co.
- Wookey. (2003). Instrument Problems at Altitude. *Compass Points*, 30, 3.
- Wookey. (2004). Surveying Caves. dalam Gunn J. (Ed.), *Encyclopedia of Cave and Karst Science*,. Frizoy.
- Worthington, S. (1987). Review of Cave Surveying Techniques. *Cave Science*. 14(2), 56-59.

#### WEBSITE

- Magnetic Declination (aplikasi). Find the magnetic declination at your location. Diakses pada 1 Agustus, 2016, dari <https://www.magnetic-declination.com>
- Union Internationale de Spéléologie. Definition of a Cave. Diakses pada 1 November, 2005. Dari <https://www.uis-speleo.org>

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## Daftar Istilah

- Abney Level : Alat pengukur sudut vertikal (inklinasi/kemiringan), yang terdiri dari tabung bidik, busur, tabung nivo, serta cermin.
- Absis : Angka yang menunjukkan posisi suatu titik pada sumbu x.
- Agen Pelacak : Bahan pelacak.
- Anostomosen : Bentuk menyerupai rangkaian tabung bercabang-cabang pada suatu bidang dua dimensi.
- Aquarel : Teknik gambar sapuan basah yang dilakukan dengan kuas dan cat berbasis air.
- Arah Utara Magnet : Arah utara yang mengacu pada kutub magnet bumi.
- Arsir : Mengisi bidang gambar dengan garis-garis yang digoreskan secara teratur.
- Aven : Suatu lobang besar berbentuk kerucut panjang pada atap gua. Bila bagian atas kerucut tersebut runtuh, aven dapat berkembang menjadi mulut gua baru. Disebut juga sebagai dome-pit,

- Azimut : Sudut yang diukur searah jarum jam dari sembarang meridian acuan.
- Azimut Balik : Arah yang berlawanan dengan azimut.
- Backsight : Metode pengukuran di mana stationer selalu berada di belakang, dan *shooter* selalu berada di depan.
- Benchmark : Penanda fisik di permukaan tanah yang telah diketahui nilai koordinat serta elevasinya.
- Binocular Vision Disorder : Gangguan penglihatan yang disebabkan oleh ketidakselarasan fungsi mata kanan dan mata kiri.
- Biosphere Reserve : Suatu wilayah lindung yang memiliki arti penting bagi flora, fauna, atau fitur-fitur geologi, atau berbagai hal khusus lainnya, yang dijaga dan dikelola bagi kepentingan konservasi, serta untuk menyediakan kesempatan khusus bagi pendidikan dan penelitian.
- Blunder : Kesalahan mendasar dalam proses pemetaan yang pada umumnya disebabkan oleh faktor manusia. Kesalahan seperti ini juga disebut sebagai *gross error* atau *mistake*.
- Bolt Anchor : Tambatan yang dipasang pada lubang bor.
- Bottom to Top : Arah pemetaan dari dalam gua menuju luar.
- Boulder : Runtuhan batuan berukuran besar.
- Bridge : Pegangan yang berfungsi untuk menjinjing total station.
- Calcite Disk : Suatu jenis ornamen langka dengan bentuk seperti piringan.
- Canopy : Ornamen flowstone yang tumbuh menggantung hingga menyerupai kerudung.
- Cauli flower : Bentuk gua dengan wujud menyerupai bunga kol.

- Cave Depth : Jarak vertikal antara stasiun survei terendah dan tertinggi di dalam gua.
- Cave Diving : Kegiatan menyelam di dalam gua.
- Cave Length : Panjang lorong yang sebenarnya.
- Cave Survey : Pemetaan dan pengukuran fisik gua dan lingkungannya.
- CE : (*Continues explored*) Lorong di mana pemetaan berakhir, namun penelusuran masih terus dilanjutkan.
- Center of Passage Survey : Pemilihan jalur survei yang melalui titik-titik stasiun di sekitar tengah lorong.
- Centering : Proses penempatan alat ukur, agar berada tepat di atas titik penanda stasiun.
- Centerline : Garis imajiner antara dua titik stasiun pengukuran.
- Chamber : Ruang tertutup yang luas. Dalam speleologi, istilah ini digunakan secara relatif untuk menunjukkan suatu bagian lorong yang lebar atau luas secara mencolok melebihi bagian lorong pada umumnya.
- Climb : Lorong, jurang, atau air terjun vertikal atau hampir vertikal yang cukup dalam, namun masih dapat dipanjat tanpa bantuan alat pengaman.
- Column : Ornamen yang memiliki bentuk seperti pilar. Ornamen ini terbentuk oleh bersatunya stalagtit dan stalagmit.
- Continues Small : Suatu bagian lorong yang menyempit sehingga tidak dapat lagi ditelusuri.
- Cross Section : Sayatan melintang.
- CS. : (*Continues small*) Suatu bagian lorong yang menyempit sehingga tidak dapat lagi ditelusuri.

- CUE. : (*Continues unexplored*) Lorong yang belum sempat ditelusuri dan dipetakan.
- Currentmeter : Alat pengukur kecepatan arus air.
- Cutaway Block Diagram : Peta tiga dimensi yang dapat memberi gambaran tentang kondisi di dalam lorong gua, dan kondisi permukaan tanah di atas lorong.
- Deadband : Kesalahan acak dan disebabkan oleh adanya friksi antara bantalan dial dan ujung pivot yang berperan sebagai poros dial.
- Depth Gauge : Alat pengukur kedalaman air.
- Descriptor : Anggota tim survei yang bertugas mencatat semua hasil pengukuran pada buku catatan, serta merekam detail lorong dalam bentuk sketsa.
- Desimal : Persepuluhan, satu satuan derajat dibagi menjadi satuan yang lebih kecil dengan faktor pembagi adalah bilangan sepuluh dan kelipatannya.
- Deviasi : Suatu bentuk variasi lintasan untuk menjauhkan tali dari friksi (gesekan) dengan dinding gua.
- Dial : Lempengan logam.
- Dilution Gauging : Mengukur konsentrasi agen pelacak pada saat zat tersebut telah sepenuhnya bercampur dengan aliran air.
- Draughtsman : Orang yang menggambar peta. Istilah lainnya adalah kartografer.
- Drip Line : Bidang vertikal di mana mulai terdapat atap gua.
- Drop Shadow : Bayangan jatuh yang ditampilkan pada sebuah peta tiga dimensi.

Eccentricity Error	: Kesalahan yang terjadi pada saat proses produksi alat, yaitu penempatan poros dial tidak tepat berada pada pusat lingkaran kompas.
Electric Conductivity Meter	: Alat yang dipergunakan untuk membaca kemampuan air dalam meneruskan gelombang listrik.
Elevasi	: Beda ketinggian antara dua titik.
Entrance	: Mulut gua.
Erosional Pothole	: Lubang berupa pothole berukuran kecil yang terbentuk oleh erosi pada lantai gua.
Esophoria	: Gangguan penglihatan yang terjadi apabila sudut pandang kedua mata saling mendekat.
Exophoria	: Gangguan penglihatan yang terjadi apabila sudut pandang mata kanan dan mata kiri saling menjauh.
Extended Elevation	: Peta tampak samping yang ditampilkan dengan menarik seluruh panjang lorong ke satu arah.
Fault (sesar)	: Satuan rekahan pada batuan yang telah mengalami pergeseran sehingga terjadi perpindahan.
Ferromagnetic Metal	: Logam yang dapat memengaruhi medan magnet.
Firn	: Salju yang tidak segera mencair dan menjadi padat.
Fixed Station	: Titik stasiun yang berada pada suatu tempat di lorong gua yang dapat ditandai dengan jelas seperti ornamen, lubang atau cacat batuan pada lantai, dinding, atau atap gua.
Flake	: Serpihan.

- Floating Station : Stasiun yang berada di suatu tempat di atas fixed station, berada pada ketinggian mata shooter.
- Flowstone : Ornamen yang terbentuk oleh mineral karbonat yang terbawa oleh aliran air dan mengendap di lantai atau dinding gua.
- Flute : Jejak pada lantai, dinding dan atap gua yang yang ditinggalkan oleh proses erosi dan korosi air.
- Fore and Backsight : Metode pengukuran di mana setiap stasiun survei diukur dari dua arah, depan dan belakang. Metode ini hanya dilakukan untuk mencapai tingkat akurasi maksimal.
- Forward Method : Metode pengukuran di mana *shooter* selalu berada di belakang, dan stationer selalu berada di depan. Juga disebut sebagai *Foresight*.
- Gordyn : Nama lainnya adalah sinter curtains. Ornamen ini tumbuh sebagai hasil pengendapan mineral karbonat pada dinding dan atap gua. Sesuai namanya, gordyn tumbuh menyerupai lembaran-lembaran kain korden, menggantung, tipis, dan berlipat-lipat.
- Goursdam : Dam alami berbentuk seperti teras-teras sawah dengan posisi melintang pada suatu aliran air, juga disebut sebagai sinter pools.
- GPS Geodetik : Perangkat GPS yang memiliki akurasi sangat tinggi.
- Grade : Tingkat akurasi pemetaan gua yang ditentukan oleh teknik yang diterapkan, keterampilan *surveyor* dan juga performa alat-alat ukur yang dipergunakan untuk mengumpulkan data.

Graphicy	: Kemampuan yang memungkinkan seseorang untuk langsung menangkap ide-ide tentang bagaimana tempat-tempat saling berhubungan dalam ruang, tanpa memerlukan langkah-langkah perantara yang lamban dan merepotkan sebagaimana bahasa.
Guano	: Kotoran kelelawar dan burung.
Guideline	: Tali pemandu dalam kegiatan <i>cave diving</i> .
Heliktit	: Ornamen yang tumbuh pada atap atau dinding gua dengan bentuk tidak beraturan. Arah tumbuhnya yang unik disebabkan oleh adanya dua faktor yang saling mendominasi. Faktor pertama adalah gaya tarik Bumi yang mengarahkan tetesan air dan mineral untuk tumbuh lurus ke bawah, dan faktor kedua adalah proses kristalisasi yang menyebabkan mineral tumbuh ke berbagai arah.
Heterophoria	: Gangguan penglihatan berupa ketidaksesuaian posisi kedua bola mata secara horizontal.
Hidrologi	: Ilmu yang mempelajari pergerakan, penyebaran, serta pengelolaan air.
Hydrolevelling	: Pengukuran beda tinggi antara dua stasiun dengan memanfaatkan tekanan air.
Hyperphoria	: Gangguan penglihatan yang terjadi apabila kedua bola mata tidak bersesuaian arah dalam bidang vertikal.
Inclined Target Error	: Kesalahan target miring yang diakibatkan oleh pembidikan kompas pada suatu target yang berada pada inklinasi (kemiringan) dengan sudut besar.

- Inherent Internal error : Kesalahan internal yang bersifat inheren yang diakibatkan oleh ketidaksempurnaan individual pada tiap kompas.
- Internal Pitch : Lorong vertikal di dalam gua.
- Interseksi : Teknik pengukuran yang digunakan untuk menentukan arah dan jarak suatu titik tanpa harus melakukan pengukuran langsung ke titik tersebut. Teknik ini dilakukan dengan memanfaatkan perpotongan azimuth pengukuran dari dua stasiun survei.
- Jurus : Garis yang dibentuk dari perpotongan bidang planar dengan bidang horizontal ditinjau dari arah utara.
- Kalibrasi : Perbandingan nilai pengukuran antara suatu alat ukur dengan alat ukur standar untuk mengetahui akurasinya.
- Karren : Alur-alur yang ditinggalkan oleh air pada batuan. Ia terdapat baik di dalam gua maupun di luar gua. Dalam bahasa Perancis bentukan ini disebut lapiés dan berukuran mulai dari beberapa milimeter hingga lebih dari satu meter.
- Kekar : Rekahan dalam batuan yang tidak, atau sedikit sekali mengalami pergeseran.
- Kekar Mendatar : Kekar yang terbentuk dengan sudut sempit terhadap arah gaya tarikan.
- Kekar Tegak : Kekar yang terbentuk dengan arah tegak lurus dari arah gaya tarikan.
- Kelas Pemetaan Gua : Tingkat akurasi pemetaan gua dalam merekam dimensi lorong.

- Kemiringan : Derajat yang dibentuk antara bidang planar dan bidang horizontal yang arahnya tegak lurus dari garis lurus.
- Kesalahan Eksperimental : Kesalahan yang disebabkan oleh *surveyor* yang terlalu memaksakan akurasi pengukuran melebihi kemampuan yang dimiliki oleh alat ukur yang dipergunakannya.
- Klinometer : Inclinometer, alat pengukur sudut vertikal (inklinasi/kemiringan).
- Kompas Bidik : Kompas yang memiliki seperangkat alat bidik yang dapat dipergunakan untuk mendapatkan angka azimut dengan cara membidik objek serta angka yang tertera di dalam kompas.
- Kompas Orientasi : Kompas yang dipergunakan untuk mengarahkan lembar peta.
- Kompas : Alat untuk mengetahui azimut.
- Koordinat Kartesian : Sistem koordinat di mana setiap titik ditentukan berdasar sepasang angka koordinat yang merupakan jarak dari titik tersebut dari dua sumbu yang berpotongan tegak lurus.
- Koordinat Polar : Sistem koordinat dua dimensi, di mana tiap titik yang berada pada suatu bidang ditentukan berdasar jarak dari titik acuan, serta berdasar sudut dari arah acuan.
- Laser Distometer : Juga disebut sebagai laser rangefinder atau laser telemeter, adalah alat yang memanfaatkan sinar laser untuk mengukur jarak dari jauh.
- Laser Plummet : Perangkat untuk melakukan centering alat yang berupa pemancar sinar laser.

- Laser Scanner : Alat berupa sensor aktif yang memanfaatkan sinar laser untuk merekam objek di sekitarnya dengan kecepatan kerja serta kerapatan data yang sangat tinggi.
- Leapfrog Method : Metode pengukuran di mana antara shooter dan stationer selalu berganti posisi depan dan belakang.
- Levelling : Teknik menempatkan alat ukur agar dapat berdiri tegak.
- Liquid Damped Capsule : Wadah berisi cairan tertentu sebagai media apung bagi lempeng magnetis kompas.
- Litologi : Ilmu yang mempelajari batuan.
- Loop Closure Error : Akumulasi kesalahan pengukuran dalam suatu survei yang membentuk poligon tertutup.
- Main Survey Point : Titik stasiun utama.
- Map Length : Disebut juga sebagai plan length, total horizontal length, dan true horizontal length. Angka panjang peta atau map length diperoleh dari penjumlahan jarak datar (L).
- Marker : Penanda titik stasiun.
- Maze Cave System : Sistem gua dengan banyak percabangan yang membentuk suatu labirin.
- Metode Tandem : Metode pengukuran pitch dalam yang dilakukan oleh dua orang dengan memanjat satu lintasan tali secara berurutan.
- Metode Triangulasi : Metode pengukuran kedalaman pitch dengan menghitung sudut vertikal dan jarak miring antara stasiun pengamat dengan stasiun sasaran yang berada tepat di bawah pitch.
- Microwave : Gelombang renik

Moonmilk	: Ornamen yang tumbuh di atap dan dinding gua. Memiliki bentuk seperti lelehan susu.
Mudcrack	: Lumpur kering yang membentuk rekahan-rekahan pada lantai gua.
Natural Anchor	: Tambatan alami tempat tali dipasang.
Natural Bridge	: Lengkungan batuan alami dengan bentuk menyerupai jembatan. Biasanya merupakan sisa dari suatu lorong gua.
Nivo	: Alat yang dipergunakan untuk menentukan kedataran.
North Alignment Error	: Kesalahan yang disebabkan oleh ketidaksesuaian antara bacaan jarum kompas dengan jalur pembidikan optis ketika diarahkan ke utara magnet.
Odometer	: <i>revolution counter</i> .
Offset	: Metode pengukuran chamber yang memiliki dimensi memanjang. Pada metode ini, pengambilan data dilakukan dengan menggunakan titik-titik stasiun di tengah lorong. Masing-masing titik stasiun memiliki dua substasiun, satu di dinding kiri, dan satu di dinding kanan.
Optical Plummet	: Perangkat untuk melakukan centering alat yang berupa lensa dan prisma yang terpasang pada bagian bawah alat ukur.
Ordinat	: Angka yang menunjukkan posisi suatu titik pada sumbu y.
Outline	: Garis luar
Paleoflow	: Arah aliran purba. Arah aliran pada masa silam yang meninggalkan jejak pada dinding atau lantai gua.
Panjang Lotal	: <i>Survey length</i> , <i>cave length</i> , dan <i>map length</i> .

- Pictograph : Peninggalan arkeologi berupa lukisan pada dinding atau atap gua. Istilah lainnya adalah petroglyph.
- Pilar : Batuan yang tersisa dari suatu proses pelarutan yang berdiri dari lantai hingga atap gua.
- Pit caving : Penelusuran lorong gua vertikal.
- Pitch : Lorong, jurang, atau air terjun vertikal atau hampir vertikal yang cukup dalam, sehingga dibutuhkan teknik khusus untuk melaluinya. Istilah yang terdengar serupa adalah pit, yang berarti Suatu lubang dalam, biasanya berbentuk bundar, dengan dinding vertikal atau hampir vertikal (Field, 1999). Bagi kedua fitur di atas, dapat dipergunakan satu simbol yang sama. Angka di belakang inisial P. menunjukkan kedalaman pitch tersebut.
- Pitch : Lorong, jurang, atau air terjun vertikal yang cukup dalam sehingga dibutuhkan teknik khusus untuk melaluinya.
- Plan Surveying : Pengukuran tanah dengan berbagai macam variasinya kegiatan mengumpulkan data yang terdiri dari dua komponen, yaitu sudut dan jarak.
- Plane Table : Alat menggambar peta yang berupa alas gambar datar.
- Pointilize : Teknik gambar dilakukan dengan membubuhkan titik-titik pada bagian dari objek gambar yang gelapkan.
- Poligon Survei : Rangkaian dari beberapa segmen membentuk suatu jalur survei. Istilah lainnya adalah series, string, branch, dan traverse.

- Poligon Terbuka : Jalur pengukuran yang ujung-ujungnya tidak saling bertemu, disebut juga sebagai *open traverse*.
- Poligon Tertutup : Jalur pengukuran yang ujung-ujungnya saling bertemu. Istilah lainnya adalah *loop* atau *closed traverse*.
- Poligon Tertutup : Metode pengukuran chamber dilakukan melalui titik-titik stasiun yang mengelilingi chamber.
- Pothole : Gua vertikal dengan dasar lorong lebih luas daripada mulutnya.
- Projected Elevation : Peta tampak samping yang ditampilkan dengan memproyeksikan elevasi terhadap salah satu sumbu horizontal.
- Protractor : Busur derajat.
- Radial : Metode pengukuran chamber dengan menggunakan satu titik stasiun pada bagian tengah chamber, serta beberapa titik stasiun yang berada di pinggir chamber.
- Random Error : Kesalahan acak. Kesalahan-kesalahan kecil yang terjadi pada saat berlangsungnya proses pemetaan. Juga diistilahkan sebagai *accidental error*, *irregular error*, dan *erratic error*.
- Rangefinder : Juga disebut sebagai telemeter, atau rangefinder telemeter, adalah alat yang dapat mengukur jarak dari jauh.
- Raw data : Data mentah adalah variabel-variabel asli hasil pengukuran yang meliputi identitas stasiun pengukuran, identitas target, tinggi alat pada stasiun pengukuran, tinggi target, sudut horizontal, sudut vertikal, jarak miring, serta kode target.

Reconnaissance	: Survei awal.
Reflectorless EDM	: Fitur yang dimiliki oleh total station untuk dapat mengukur jarak tanpa bantuan reflector.
Rivalry Error	: Kesalahan pengukuran yang disebabkan oleh pembacaan kompas dengan dua mata terbuka.
Roll Meter	: Pita ukur.
Roofhooks	: Gantungan atap.
Rope	: Lorong, jurang, atau air terjun vertikal atau hampir vertikal yang cukup dalam, dan dapat dilalui dengan tingkat kesulitan antara pitch dan climb, yaitu dengan bantuan seutas tali untuk berpegangan.
Scallop	: Cekungan-cekungan yang terbentuk oleh aliran air pada lantai dan dinding gua.
Sexagesimal	: Perenampuluhan, membagi satu satuan derajat ke dalam 60 satuan menit, dan satu satuan menit menjadi 60 satuan detik. Satuan terakhir lebih lanjut dibagi secara desimal.
Shading	: Menampilkan kesan bayangan.
Shale	: Batuan sedimen klastis yang terbentuk dari campuran serpihan mineral lempung dan fragmen mineral lain berukuran kecil.
Shooter	: Anggota tim survei yang bertugas membidik sasaran dan membaca instrumen-instrumen pengukuran.
Shooter	: Anggota tim survei yang bertugas mengukur azimuth, kemiringan, serta jarak.

- Sighting Error : Kesalahan pembacaan yang bersifat acak dengan angka kesalahan yang sangat kecil, yaitu antara 0,1 hingga 0,2°. Kesalahan seperti ini dapat disebabkan oleh berbagai hal, seperti getaran dan pergerakan otot dada dan diafragma, penerangan target yang tidak berada tepat di atas stasiun target, atau kompas yang tidak berada tepat di atas stasiun pengukuran.
- Sink : Air menghilang.
- Sinkhole : Cekungan atau lubang di permukaan tanah yang terbentuk oleh erosi atau runtuhnya permukaan tanah.
- Siphon : Lorong penuh air yang memiliki variasi inklinasi sehingga jalurnya berbentuk menyerupai huruf “U”.
- Sistem Imperial : Juga disebut sebagai unit Imperial, British Imperial, serta Exchequer Standards of 1826. Merupakan satuan Panjang yang terdiri dari inch, hand, foot, yard, dan lain sebagainya.
- Sistem Metrik : Satuan pengukuran yang berpedoman pada satu standar tertentu. Satuan-satuan yang lebih kecil dan lebih besar diperoleh dengan pembagian serta pengalian bilangan sepuluh dari standar tersebut. Satuan standar pengukuran panjang pada sistem ini adalah meter.
- Skala Fraksis : Cara menyatakan skalan peta dengan membuat tanda pembagian antara angka penyebut dan angka pembilang.
- Skala Grafis : Cara menyatakan skala peta dengan grafik yang dapat menyesuaikan dengan perubahan ukuran peta.

- Skala Persen : Cara menyatakan besar sudut dengan menggunakan perbandingan jarak datar dan jarak vertikal.
- Skala Peta : Perbandingan antara ukuran sebenarnya dengan ukuran di dalam peta.
- Skala Verbal : Cara menyatakan skala peta dengan kalimat. Contoh skala verbal adalah 1 cm = 10 meter.
- Sketcher : Penggambar sketsa.
- Sling : Tali atau semacamnya yang dipergunakan untuk membuat tambatan.
- Slope : Lereng.
- Soda Straw : Nama lain dari ornamen ini adalah *calcite straw* atau *drinking straw*. Dinamakan demikian karena bentuk dan ukurannya menyerupai sedotan minuman.
- Solo Caving : Penelusuran gua yang dilakukan seorang diri.
- Solo Survey : Pemetaan gua yang dilakukan seorang diri.
- Solution Pockets : Lubang pada atap lorong yang disebabkan oleh aktivitas air. Nama lainnya adalah ceiling pockets.
- Speleologi : Ilmu yang mempelajari gua dan lingkungannya.
- Speleothem : Bentukkan di dalam gua yang disebabkan oleh adanya aktivitas sedimentasi dan kristalisasi. Secara umum mereka termasuk ke dalam golongan sedimen kimiawi. Juga disebut sebagai ornamen gua.
- Spike : Batuan runcing.
- Spring : Munculan air.

- Stalagmit : Bentukan berupa kerucut yang berdiri pada lantai gua. Stalagmit terbentuk di lantai gua oleh materi karbonat yang menetes terbawa air dari stalagtit yang berada di atasnya.
- Stalagtit : Bentukan yang paling sering dijumpai di dalam gua kapur. Ia berbentuk seperti kerucut yang menggantung pada atap gua. Diameter dan panjang bentukan ini bermacam-macam, mulai dari yang dapat diukur dalam satuan sentimeter hingga yang berukuran panjang beberapa meter.
- Stasiun Nol : Titik stasiun yang berada pada posisi yang dianggap dapat mewakili posisi mulut gua, disebut juga sebagai stasiun datum.
- Stasiun Survei : Suatu titik pada lorong gua yang digunakan selama proses pengumpulan data survei.
- Station to Station Survey : Pemilihan jalur survei yang dilakukan dengan menempatkan alat ukur tepat pada titik fixed station.
- Stationer : Anggota tim survei yang bertugas sebagai sasaran bidik bagi shooter.
- Subordinate Survey Point : Titik stasiun bawahan.
- Sudut Deklinasi : Sudut yang terbentuk dari selisih antara arah utara sebenarnya (*true north*) dengan arah utara magnet (*magnetic north*).
- Sump : Bagian dari lorong gua yang seluruhnya tertutup air.
- Survei Nonmagnetis : Survei khusus di mana proses pengukuran sudut horizontal dilakukan tanpa tergantung oleh medan magnet bumi.

- Survey Leg : Garis lurus imajiner antara dua titik stasiun pengukuran. Cave surveyor Amerika menyebutnya sebagai segment.
- Survey Length : Panjang keseluruhan yang merupakan penjumlahan jarak miring atau jarak sebenarnya (D) dari seluruh survey leg.
- Surveyor : Orang yang melakukan survey.
- Systematic Error : Kesalahan sistematis. Kesalahan yang bersifat konstan dan konsisten pada sepanjang jalur survei.
- Takimetri : Pengukuran untuk menentukan posisi suatu objek dengan menggunakan jarak.
- Teknik Wiremesh : Cara memberi kesan tiga dimensi dengan menggunakan kontur dari dua sumbu yang saling menyilang.
- Teodolit : Alat pengukuran teliti untuk mengukur sudut horizontal, sudut vertical, serta jarak. Sebutan lainnya adalah takimeter (tachymeter atau tacheometer).
- Tilt Sensor : Sensor kemiringan yang dapat memperingatkan *surveyor*, atau bahkan menghentikan kerja alat apabila ia mendeteksi bahwa posisi alat ukur sudah melewati toleransi kemiringan.
- Titik Ikat : Titik yang berfungsi sebagai pengikat antara pengukuran saat ini dengan pengukuran berikutnya.
- Top to Bottom : Arah pemetaan dari luar gua menuju bagian dalam gua.
- Topofil : Alat pengukur jarak yang bekerja dengan menggunakan gulungan benang dan odometer atau revolution counter.

Total Station	: Instrumen stasiun-kotah, atau disebut juga takimeter elektronik
Transverse Section	: Beberapa <i>cross section</i> yang ditampilkan sebagai satu kesatuan. Disebut juga sebagai <i>composite cross section</i> .
Tribrach	: Perangkat tambahan yang diperlukan untuk mengatur kedataran alat dan sebagai dudukan bagi alat ukur agar dapat terpasang pada tripod.
Trilaterasi	: Metode survei di mana Panjang sisi-sisi segitiga diukur, biasanya menggunakan alat elektronik, yang hasilnya dipergunakan untuk menghitung besar sudut.
Tripod	: Kaki tiga yang dipergunakan untuk mendudukan alat ukur.
Utara Grid	: Selisih antara utara sebenarnya dengan utara yang tergambar pada garis-garis grid peta sebagai akibat dari proyeksi peta.
Utara Magnet	: Arah utara yang mengacu pada kutub utara magnet.
Utara Sebenarnya	: Arah utara yang mengacu pada kutub utara bumi.
Velocity-Area Techniques	: Teknik kecepatan-luasan.
Vernier (Skala Vernier)	: Bantuan visual untuk melakukan bacaan ukuran akurat di antara graduasi pada dua garis lurus dengan menggunakan interpolasi mekanis.
Vertical Entrance	: Mulut gua yang berupa lorong vertikal.
Water Tracing	: Teknik pelacakan air.

- World Heritage : (Warisan dunia) Suatu landmark atau wilayah yang dilindungi secara hukum oleh suatu konvensi internasional, dan diatur oleh UNESCO.
- Zenit : Titik yang berada tepat di atas kita.

# Daftar Singkatan dan Akronim

ACY	Arisan Caving Yogyakarta
ASC	Acintyaçûnyatâ Speleological Club
Bakosurtanal	Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional
BCRA	British Cave Research Association
BIG	Badan Informasi Geospasial
BMG	Badan Meteorologi dan Geofisika
BSEE	British Speleological Expedition to Ethiopia
CSG	BCRA Cave Surveying Group
EDMI	Reflectorless Electronic Distance Instrument
GCMP	General Conference on Weights and Measures
GPS	Global Positioning System
Hikespi	Himpunan Kegiatan Speleologi Indonesia
IUS	International Union of Speleology
LEKER OLD SG	Lembar Kerja Olah Data Survei Gua
LIPI	Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
LRUD	left, right, up, down
NSS	National Speleological Society
PBB	Persatuan Bangsa-Bangsa
PDA	Personal Digital Assistance
Puslit Arkenas	Pusat Penelitian dan Pengembangan Arkeologi Nasional
PVC	PolyVinyl Chloride

Reflectorless EDM	Reflectorless Electronic Distance Measuring
UIS	Union Internationale de Speéléologie
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## Biografi Penulis



Penulis lahir di Ambarawa pada tanggal 2 November 1973. Mulai mengenal kegiatan alam bebas sejak berada di bangku SMA, namun baru melakukan kegiatan penelusuran gua ketika bergabung dengan Kelompok Pecinta Alam dan Lingkungan Hidup (KPALH) Setrajana, Fisipol UGM sejak tahun 1992. Kegiatan penelusuran gua semakin banyak penulis lakukan setelah bergabung dengan Acintyaçûnyatâ Speleological Club Yogyakarta pada tahun 1995.

Seiring dengan aktivitas penelusuran gua di berbagai daerah karst di pulau Jawa, penulis juga berkesempatan untuk menyusun berbagai materi pemetaan gua bagi berbagai organisasi pecinta alam, klub speleologi, serta instansi pemerintah. Materi-materi inilah yang kemudian menjadi bahan baku bagi buku “Stasiun Nol: Teknik-Teknik Pemetaan dan Survei Hidrologi Gua” yang disusun selama dua tahun hingga akhirnya terbit pada tahun 2005.

Setelah terbitnya buku pertama, penulis tetap aktif dalam kegiatan penelusuran gua, termasuk dalam berbagai kegiatan penelitian, eksplorasi dan ekspedisi di luar Jawa, di antaranya di provinsi Nusa Tenggara Timur, Kalimantan Timur, Sumatera Selatan serta Papua Barat. Penulis dapat dihubungi melalui [erlangga\\_asc@yahoo.ca](mailto:erlangga_asc@yahoo.ca) (e-mail), Erlangga Esa Laksmana (facebook), Erlangga Esa Laksmana (instagram).



Buku ini tidak diperjualbelikan.

# STASIUN NOL:

TEKNIK-TEKNIK PEMETAAN DAN SURVEI HIDROLOGI GUA

**G**ua merupakan lubang alami di bawah tanah yang dapat dimasuki manusia dan sangat rentan terhadap perubahan yang dapat mengakibatkan kerusakan ekosistem. Seseorang yang ingin melakukan kegiatan pemetaan gua perlu mempelajari teknik-teknik pemetaan gua, memiliki pengetahuan yang memadai tentang kondisi lingkungan gua, memiliki cukup pengetahuan dan keterampilan untuk dapat melakukan penelusuran gua secara aman, baik bagi dirinya sendiri, bagi kelompoknya, maupun bagi lingkungan gua dan para penghuninya serta potensi bahaya yang mungkin dihadapi.

Buku *Stasiun Nol: Teknik-Teknik Pemetaan dan Survei Hidrologi Gua* ini merupakan sebuah dokumentasi pemetaan gua yang dihasilkan oleh para penggiat speleologi dan penelusuran gua Indonesia yang telah mendedikasikan ilmu, tenaga dan waktu yang tidak sedikit hingga gua tersebut dapat dimanfaatkan secara luas.

Membaca buku ini akan membawa Anda untuk mempelajari aktivitas penjelajah gua termasuk proses pembuatannya, struktur, fisik terutama di Indonesia. Buku ini dapat menjadi sarana tepat bagi masyarakat untuk mendalami teknik-teknik pemetaan serta survei hidrologi sehingga para pembaca dapat mempraktikkan membuat peta gua dengan format standar maupun tiga dimensi secara manual.

Selamat Membaca!



Diterbitkan oleh:  
**Penerbit BRIN, anggota Ikapi**  
**Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah**  
Gedung BJ Habibie, Jln. M.H. Thamrin No. 8,  
Kb. Sirih, Kec. Menteng, Kola Jakarta Pusat,  
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340  
Whatsapp: 0811-8612-369  
E-mail: [penerbit@brin.go.id](mailto:penerbit@brin.go.id)  
Website: [penerbit.brin.go.id](http://penerbit.brin.go.id)

DOI: 10.55981/brin.532



ISBN 978-623-8052-19-6



9 786238 105219 6

buku ini