

SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS

***Konsep dan aplikasinya dalam analisis
geomorfologi kuantitatif***

Edisi 1

Emi Sukiyah



SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS

*Konsep dan aplikasinya dalam analisis
geomorfologi kuantitatif*

SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS

*Konsep dan aplikasinya dalam analisis
geomorfologi kuantitatif*

Emi Sukiyah



2017

Copyright @2017, Emi Sukiyah

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang
Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian
atau seluruh isi buku tanpa izin tertulis dari Penerbit

Edisi 1 Cetakan ke-2, 2018
Diterbitkan oleh Unpad Press
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km 21 Bandung 45363
Telp. (022) 84288812, Fax: (022) 84288896
e-mail: press@unpad.ac.id / pressunpad@gmail.com
<http://press.unpad.ac.id>
Anggota IKAPI dan APPTI

Editor: Nana Sulaksana dan Edy Sunardi
Tata Letak: Emi Sukiyah
Desainer Sampul: Eza Nurfadli

Keterangan gambar sampul:
Tampilan abstrak G.Gede - G.Pangrango
dilihat dari lembah Sungai Cisadane

Perpustakaan Nasional: Katalog Dalam Terbitan (KDT)

Emi Sukiyah
Sistem Informasi Geografis
Konsep dan aplikasinya dalam analisis geomorfologi kuantitatif;
Penulis, Emi Sukiyah; Penyunting, Nana Sulaksana dan Edy Sunardi;
Edisi 1, Cetakan 2- Bandung; Unpad Press, 2018
xxvi, 296; 21 cm

ISBN 978-602-439-239-0

I. Judul

II. Emi Sukiyah



PRAKATA

Teknologi pengolahan data spasial semakin berkembang. Berawal dari kebutuhan akan alat (*tool*) yang dapat mendukung pengolahan data spasial secara cepat dan efisien, kini beragam perangkat lunak pendukung tersedia, baik yang sederhana maupun yang canggih. Semuanya ditujukan untuk kemudahan bagi pengguna dalam pengelolaan data spasial beserta informasinya.

Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan sistem yang memadukan antara data grafis dan informasi yang terikat koordinat geografis. Proses pencarian suatu objek bisa dilakukan melalui dua arah, yaitu melalui objek grafis pada jendela peta (*map window*) atau melalui jendela atribut (*browser window*). Kemampuan sistem ini menawarkan kemudahan bagi penggunanya dalam pengelolaan data. Objek grafis yang “tersembunyi” karena terlalu kecil dan bertampalan dengan objek grafis lainnya bisa ditemukan bila pencarian dilakukan melalui jendela atribut.

Buku ini memberikan informasi mengenai geomorfologi secara kuantitatif, konsep dasar SIG, serta aplikasi untuk pengelolaan data spasial maupun analisis data. Khusus untuk aplikasi SIG, data didasarkan atas hasil riset yang dilakukan oleh penulis dan kawan-kawan di Fakultas Teknik Geologi UNPAD. Konsisten dalam penggunaan *tool* SIG untuk analisis geo-spasial memberikan “warna” tersendiri dalam setiap hasil riset yang penulis lakukan. Data hasil riset

tersimpan dengan baik dan memudahkan penulis bila akan memanfaatkannya untuk keperluan riset selanjutnya juga untuk bahan penulisan buku ini. Semoga karya ini dapat bermanfaat bagi dokumentasi keilmuan dan dapat menjadi inspirasi bagi para pengguna SIG.

Bandung, September 2017

Emi Sukiyah



DAFTAR ISI

	Halaman
PRAKATA	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Deskripsi Singkat	2
1.3. Tujuan Pembelajaran	2
1.4. Materi Pembahasan	3
BAB 2 GEOMORFOLOGI KUANTITATIF	5
2.1. Sejarah dan Perkembangan Geomorfologi Kuantitatif	5
2.2. Morfometri Lereng	11
2.2.1. Definisi Lereng	11
2.2.2. Faktor Pembentuk, Perhitungan, dan Klasifikasi Lereng	13
2.2.3. Hipsometri Lereng	20
2.3. Morfometri Daerah Aliran Sungai (DAS)	22
2.3.1. Konsep Dasar Morfometri DAS	22
2.3.2. Aspek Morfometri DAS	23
2.3.2.1. Pola Pengaliran	24

	2.3.2.2. Orde Sungai	43
	2.3.2.3. Luas dan Bentuk DAS	46
	2.3.2.4. Tekstur, Kerapatan, dan Frekuensi Pengaliran	49
	2.3.2.5. Rasio Cabang Sungai	51
	2.3.2.6. Gradien Sungai	52
2.4.	Morfometri Bendungan, Waduk, Danau, dan Rawa	54
2.4.1.	Definisi	54
2.4.2.	Aspek Morfometri Waduk dan Danau	62
2.4.3.	Pendangkalan Waduk	67
2.4.3.1.	Perhitungan Pendangkalan Waduk Secara Hidrologi	68
2.4.3.2.	Perhitungan Pendangkalan Waduk Secara Geomorfologi Kuantitatif	69
2.4.3.3.	Perhitungan Tingkat Sedimentasi Berdasarkan Fungsi Erosi	70
2.4.4.	Desain Penelitian yang Terkait dengan waduk.....	72
2.5.	Morfotektonik	73
2.6.	Erosi	82
2.7.	Mini-Mikro Hidro	87
BAB 3	SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (SIG)	91
3.1.	Sejarah dan Perkembangan SIG	91
3.2.	Definisi dan Konsep Dasar SIG	95
3.3.	Komponen SIG	100
3.3.1.	Data	100
3.3.2.	Perangkat Keras	101
3.3.3.	Perangkat Lunak	103
3.3.4.	Tenaga Pelaksana	104

	3.3.5. Sistem	105
	3.4. Struktur Data	105
	3.4.1. DLG	106
	3.4.2. GBF atau DIME	106
	3.4.3. GIRAS	106
	3.4.4. GRID	106
	3.5. Proyeksi Peta dan Sistem Koordinat	108
	3.5.1. Definisi Proyeksi Peta	109
	3.5.2. Klasifikasi Proyeksi Peta	111
	3.5.3. Penerapan Proyeksi Peta Pada Kartografi	114
	3.5.4. Koordinat Geografi	117
	3.5.5. Proyeksi Peta di Indonesia	118
	3.6. Ragam Peta	122
BAB 4	PANDUAN PENGGUNAAN PERANGKAT LUNAK SIG ...	133
	4.1. Perangkat Lunak MapInfo	134
	4.2. File Data	136
	4.2.1. File Data MapInfo for windows	137
	4.2.2. File Data bukan Mapinfo for windows	139
	4.3. Format Data MapInfo	140
	4.4. Menu MapInfo	143
	4.5. Tahapan Pembuatan Peta Digital Menggunakan MapInfo	145
BAB 5	APLIKASI SIG	161
	5.1. Perhitungan Kemiringan Lereng	161
	5.2. Analisis Spasial.....	166
	5.2.1. Overlay Peta Secara Geografis	166
	5.2.2. Aplikasi Analisis Spasial Dalam Pengembangan Wilayah	173
	5.3. Aplikasi Hasil Analisis Morfometri – Morfotektonik DAS Menggunakan SIG	177

5.3.1. Aplikasi Sistem Informasi Geografis Dalam Penetapan Kawasan Berpotensi Banjir di Kabupaten Bandung Bagian Selatan	178
5.3.2. Analisis kelar untuk deteksi sesar aktif di Daerah Ciparay Bandung bagian selatan Provinsi Jawa Barat	189
5.3.3. Morfometri Bentangalam Vulkanik Kuarter di Cekungan Bandung Bagian Selatan dan Implikasinya Terhadap Distribusi Daerah Banjir	197
5.3.4. Metode Grid Sederhana dalam Aplikasi SIG untuk Deliniasi Zona Erosi dan Banjir	209
5.3.5. Morfometri Daerah Aliran Sungai pada Bentangalam Vulkanik Kuarter Terdeformasi	216
5.3.6. Model Erosi Bentangalam Vulkanik Kuarter	222
5.3.7. Energi terbarukan dan Pengembangan Wilayah	232
5.3.8. Analisis Morfotektonik Terkait Erosi dan Banjir Cisangkuy	257
DAFTAR PUSTAKA	271
GLOSARIUM	281
INDEKS	291



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Perbukitan dengan kemiringan lereng bervariasi di wilayah Bantarujeg, Majalengka, Jawa Barat	11
Gambar 2.2. Pegunungan di wilayah perbatasan Tangerang-Bogor dengan latar belakang G.Gede, Jawa Barat (Foto: Eza Nurfadli)	12
Gambar 2.3. Lembah Cijoho di wilayah Majalaya, Bandung selatan, Jawa Barat	12
Gambar 2.4. Skema proses eksogen yang dapat menentukan bentuk dan kemiringan lereng	13
Gambar 2.5. Skema proses pelapukan dan produknya yang dapat mempengaruhi bentuk-bentuk lereng (modifikasi dari Buckman & Bready, 1969)	14
Gambar 2.6. Skema pembagian tipe-tipe pengangkutan material berdasarkan kecepatan dan energi pergerakannya	15
Gambar 2.7. Tipe longsor dengan bidang gelincir melengkung mengakibatkan bentuk lereng sirkular; (a) model pergerakan longsor (Petley, 2009) dan (b) longsor di wilayah Ciparay Bandung selatan tahun 2010	16

Gambar 2.8.	Hubungan antara proses eksogen dengan iklim dan kemiringan lereng (Anonim, 1999)	16
Gambar 2.9.	Perhitungan kemiringan lereng menggunakan rumus dan metode grid serta variabel yang diperlukan (Elyes, 1968; dalam Van Zuidam, 1983; dan Sukiyah dkk, 2007)	17
Gambar 2.10.	Diagram blok menunjukkan variasi bentuk, panjang, dan kemiringan lereng di kawasan hulu S. Citarum, Bandung Selatan (Sukiyah, 2009)	19
Gambar 2.11.	Kenampakan lereng G.Kareumbi – G.Kerenceng dilihat dari jalan Cicalengka – Curug Cinulang, Kabupaten Bandung, Jawa Barat	20
Gambar 2.12.	Ilustrasi metode pembuatan kurva hipsometri (Pike & Wilson, 1971)	21
Gambar 2.13.	Hipsometri Lereng di daerah Curugagung dan sekitarnya, Kabupaten Subang (Sukiyah, 1993)	21
Gambar 2.14.	Batas sub-DAS Citarum Hulu di wilayah Bandung Selatan (Sukiyah, 2009)	22
Gambar 2.15.	Pola pengaliran dasar: <i>dendritic, parallel, trellis, rectangular, radial, annular, multi-basinal, dan contorted</i> (Howard, 1967)	25
Gambar 2.16.	Modifikasi pola dendritik: <i>subdendritic, pinnate, anastomotic, dan distributary</i> (Howard, 1967)	27
Gambar 2.17.	Modifikasi pola paralel: <i>subparallel dan collinear</i> (Howard, 1967)	27

Gambar 2.18.	Modifikasi pola trellis: <i>directional trellis</i> , <i>recurved trellis</i> , <i>fault trellis</i> , dan <i>joint trellis</i> (Howard, 1967)	29
Gambar 2.19.	Pola <i>complex</i> , <i>compound</i> , dan <i>palimpsest</i> ...	33
Gambar 2.20.	Berbagai pola pengaliran dan asosiasi batuan (McGraw-Hill, 2003)	34
Gambar 2.21.	Pola-pola anomali, diantaranya: A, B, C, G (Amazon basin); E (Kent County, Texas); D, F, J (Louisiana); K (Louisiana); I (East Africa); H, L (contoh umum) (Howard, 1967)	40
Gambar 2.22.	Penetapan orde segmen sungai menggunakan metode Horton (a) dan Strahler (b)	43
Gambar 2.23.	Penetapan orde segmen sungai menggunakan metode Shreve (1967)	44
Gambar 2.24.	Ilustrasi penetapan orde sungai berdasarkan metode segmentasi. Tampak sungai orde 1 (18 segmen), orde 2 (10 segmen), orde 3 (6 segmen), dan orde 4 (1 segmen)	45
Gambar 2.25.	Beragam bentuk DAS yang terdapat di kawasan hulu S.Citarum, paralel (a), kompleks (b), kipas (c), bulu burung (d,e) ...	46
Gambar 2.26.	DAS Cijoho di wilayah Wangisagara, Majalaya, Kabupaten Bandung	47
Gambar 2.27.	DAS Cipandak, DAS Cikandang, serta DAS Cikaingan (Sukiyah dkk, 2012a)	47
Gambar 2.28.	Cara pengukuran variabel dan perhitungan lebar DAS	48
Gambar 2.29.	Penaksiran 85 – 10 <i>slope factor</i> dan profil <i>curvature- index</i>	52

Gambar 2.30.	Ilustrasi pengukuran indeks gradien sungai (modifikasi dari Keller & Pinter, 1996; digambar ulang oleh Herry Riswandi)	53
Gambar 2.31.	Waduk Saguling (A), Waduk Cirata (B), dan Waduk Jatiluhur (C) yang dibangun pada alur S. Citarum di Jawa Barat (http://www.google.co.id)	57
Gambar 2.32.	(A) Waduk Jatigede sebelum tergenang (atas), membendung S.Cimanuk di wilayah Jatigede Sumedang Jawa Barat (foto: Emi Sukiyah); (B) Waduk Jatigede setelah tergenang (https://www.google.co.id).....	58
Gambar 2.33.	Danau Toba di Sumatera Utara	59
Gambar 2.34.	Telaga Pengilon di kawasan Pegunungan Dieng, Jawa Tengah (Anonim, 2015)	62
Gambar 2.35.	Ilustrasi pengukuran luas danau atau waduk dengan metode segitiga	64
Gambar 2.36.	Pengukuran luas danau atau waduk menggunakan metode Simpson	65
Gambar 2.37.	Ilustrasi pengukuran indeks geomorfologi: (a) Smf dan (b) Vf (Bull, 2007)	76
Gambar 2.38.	Bentukan lahan berkaitan dengan sesar aktif strike slip (USGS, 2006; modifikasi dari Wesson etall., 1975; dalam Keller & Pinter, 1996)	79
Gambar 2.39.	Sesar Cipandak berimpit dengan S.Cipandak, membentuk gawir dan lembah sempit, Jawa Barat Selatan (Sukiyah dkk, 2016)	81
Gambar 2.40.	Fenomena morfotektonik DAS Cikandang di wilayah Garut Selatan, Jawa Barat (Sukiyah dkk, 2015)	81

Gambar 2.41.	Ilustrasi erosi percikan dan erosi permukaan	82
Gambar 2.42.	A.Erosi selokan dan B.Erosi alur (El-Swaify <i>et al</i> , 1982)	83
Gambar 2.43.	Rangkaian pembangkit listrik mikrohidro (http://images.google.co.id)	89
Gambar 2.44.	Komponen-komponen pembangkit listrik mikro hidro (http://www.w3.org/1999/xhtml)	89
Gambar 3.1.	Berbagai layanan informasi berbasis SIG dikelola oleh BIG	94
Gambar 3.2.	Konsep Dasar Sistem Informasi Geografis ...	95
Gambar 3.3.	Konsep <i>overlay</i> data dalam SIG	96
Gambar 3.4.	Konfigurasi umum SIG- <i>Workstation</i>	99
Gambar 3.5.	Komponen utama pendukung SIG	102
Gambar 3.6.	Konsep proyeksi permukaan bumi dengan penyesuaian skala	110
Gambar 3.7.	Tipe proyeksi berdasarkan bidang proyeksi, (a) proyeksi azimuth (b) proyeksi kerucut (c) proyeksi silinder	112
Gambar 3.8.	Beberapa kenampakan tipe proyeksi berdasarkan posisi sumbu simetri dan bidang proyeksi (modifikasi dari http://geoexpose.blogspot.com dan https://www.google.co.id)	113
Gambar 3.9.	Kenampakan garis-garis lintang (<i>latitude</i>) dan bujur (<i>longitude</i>) pada bola bumi (http://www.statcan.gc.ca/)	117
Gambar 3.10.	Contoh peta indeks RBI skala 1:25.000 (http://www.bakosurtanal.go.id)	123
Gambar 3.11.	Peta RBI lembar Pangalengan	124
Gambar 3.12.	Sebagian Peta Rupa Bumi Lembar Pangalengan beserta keterangan (legenda)	125

Gambar 3.13.	Sebagian Peta Rupa Bumi Lembar Pangalengan dalam format digital	125
Gambar 3.14.	Peta Geologi skala 1:100.000 beserta legendanya	128
Gambar 3.15.	Legenda peta geologi memberikan informasi umur dan korelasi formasi batuan serta deskripsi batuan	128
Gambar 3.16.	Penampang geologi, peta indeks, dan keterangan lainnya dalam Peta Geologi	129
Gambar 3.17.	Contoh peta tematik lainnya	130
Gambar 3.18.	Peta seismotektonik Indonesia (Soehaimi dkk., 2004)	131
Gambar 4.1.	Salah satu program komputer untuk editing file workspace	138
Gambar 4.2.	Menu utama dan sub menu dalam MapInfo Professional Version 11.00 Release Build 15	145
Gambar 4.3.	Tahapan input data digital	146
Gambar 4.4.	Contoh proses editing	149
Gambar 4.5.	Proses modifikasi struktur data	150
Gambar 4.6.	Pemilihan simbol skala grafis dapat menggunakan fasilitas tipe garis pada perangkat lunak SIG	152
Gambar 4.7.	Beragam pilihan model dan ukuran simbol arah utara pada perangkat lunak SIG	152
Gambar 4.8.	Diagram deklinasi arah utara terhadap utara magnetik	153
Gambar 4.9.	Contoh tata letak (layout) peta potensi air tanah untuk skala 1:100.000 atau skala yang lebih besar (SNI 13-7121-2005)	155
Gambar 4.10.	Menu yang digunakan untuk menyusun layout peta	155

Gambar 4.11.	Pengaturan layout peta menggunakan menu pada perangkat lunak SIG	156
Gambar 4.12.	Membuat bingkai untuk legenda peta	156
Gambar 4.13.	Contoh beberapa indeks peta dalam Peta Geologi Regional skala 1:100.000	157
Gambar 4.14.	Pengaturan layout pencetakan peta hasil analisis	158
Gambar 5.1.	Tahap awal pemilahan formula perhitungan kemiringan lereng dengan satuan %	162
Gambar 5.2.	Proses perhitungan kemiringan lereng menggunakan perangkat lunak MapInfo	164
Gambar 5.3.	Proses perhitungan kemiringan lereng lebih lanjut	165
Gambar 5.4.	Pemilihan menu Query untuk menampilkan area dengan kemiringan lereng landai	167
Gambar 5.5.	Area yang dipilih yaitu lereng landai ditandai oleh warna hitam pada browser dan warna menyala yang dapat diubah merah	167
Gambar 5.6.	<i>Layer control</i> menunjukkan <i>file</i> yang memuat struktur geologi siap <i>edit</i>	169
Gambar 5.7.	Window untuk penetapan kriteria <i>buffer</i> (kiri) dan hasil <i>buffering</i> dengan radius 2 km dari sesar berarah hampir utara – selatan	169
Gambar 5.8.	Penggunaan menu <i>erase</i> untuk menghapus objek grafis formasi batuan yang berada di dalam zona <i>buffer</i>	170
Gambar 5.9.	Penggunaan menu <i>combine</i> untuk menggabungkan formasi batuan yang memiliki tekstur kasar	171

Gambar 5.10.	Menu <i>split</i> untuk memotong S. Cisangkuy menjadi dua segmen di batas formasi batuan Qmt dan Ql	172
Gambar 5.11.	Lokasi penelitian di wilayah Cekungan Bandung bagian selatan	178
Gambar 5.12.	Peta jaringan sungai di wilayah Kab. Bandung bagian selatan	182
Gambar 5.13.	Peta penyebaran kawasan banjir di Kabupaten Bandung bagian selatan	187
Gambar 5.14.	Lokasi penelitian di wilayah Ciparay	189
Gambar 5.15.	Kenampakan kawasan pemukiman yang berkembang di sekitar lembah (a) Gunung Bukitcula dan (b) Gunung Pasir Nini (di foto Januari 2005)	190
Gambar 5.16.	Ilustrasi geologi daerah penelitian. Qda (endapan danau dan aluvium) berumur Holosen-Resen, Qmt (tuf dari Gunungapi Malabar-Tilu) berumur Plistosen akhir, Qwb (lava andesit Waringin-Bedil/Malabar tua) berumur Plistosen awal (alzwar dkk., 1992)	192
Gambar 5.17.	Ilustrasi bentangalam Daerah Ciparay dalam bentuk diagram blok	193
Gambar 5.18.	Pola diagram <i>scatter</i> arah azimuth segmen sungai (atas) dan azimuth kekar (bawah)	195
Gambar 5.19.	Kekar merusak jalan yang dibangun pada tahun 1992 di lereng Gunung Bukitcula (di foto Januari 2005)	196
Gambar 5.20.	Sesar aktif memotong jalan utama di perkampungan Barugbug (difoto Januari 2005)	197
Gambar 5.21.	Sub DAS Citarum bagian hulu dalam cekungan Bandung (LCLUC, 2001)	199

Gambar 5.22.	Bentangalam vulkanik di Sub-DAS Cirasta (dari arah timur laut). (A) tekstur kasar, (B) tekstur agak kasar, dan (C) lembah sungai).. 203
Gambar 5.23.	Grafik hubungan antara kumulatif panjang segmen sungai dan orde sungai 203
Gambar 5.24.	Grafik hubungan antara proporsi jumlah segmen sungai (v1) dan jumlah panjang sungai (v2) terhadap orde sungai pada wilayah rawan banjir di sub-DAS Cirasta 204
Gambar 5.25.	Grafik hubungan antara proporsi jumlah segmen sungai (v1) dan jumlah panjang sungai (v2) terhadap orde sungai pada wilayah berpotensi banjir di sub-DAS Cirasta 204
Gambar 5.26.	Grafik hubungan antara proporsi jumlah segmen sungai (v1) dan jumlah panjang sungai (v2) terhadap orde sungai pada wilayah probabilitas banjir kecil di sub-DAS Cirasta 205
Gambar 5.27.	Grafik hubungan antara proporsi jumlah segmen sungai (v1) dan panjang sungai (v2) terhadap orde sungai pada wilayah bebas banjir di sub-DAS Cirasta 205
Gambar 5.28.	Peta distribusi daerah banjir di sub-DAS Cirasta 208
Gambar 5.29.	Tahapan analisis geo-spasial menggunakan SIG 211
Gambar 5.30.	Peta zona erosi kawasan Cekungan Bandung 213
Gambar 5.31.	Peta distribusi daerah banjir di kawasan Cekungan Bandung 215
Gambar 5.32.	Lokasi penelitian di kawasan hulu S.Citarum 216
Gambar 5.33.	Ilustrasi pola DTA di kawasan hulu S. Citarum 218

Gambar 5.34.	Pola grafik azimuth kelurusan morfologi dan segmen sungai di DAS Barugbug, Cijoho, Cihejo, dan Cigalugah	221
Gambar 5.35.	Elevasi di Jawa Barat Selatan	235
Gambar 5.36	Cagar alam di Jawa Barat Selatan	235
Gambar 5.37.	Gawir sesar G. Subang (kiri) dan Gawir sesar di sekitar lembah S. Cipandak di Naringgul, Kawasan Cianjur Selatan	236
Gambar 5.38	Korelasi satuan batuan Cianjur bagian selatan (Koesmono dkk., 1996)	236
Gambar 5.39.	Endapan piroklasik (Qtv) tersingkap di hulu S. Cipandak (atas) dan Batupasir Formasi Bentang di Desa Panglayungan di kawasan pantai Sindangbarang-Cidaun (bawah).....	237
Gambar 5.40.	Gumuk-gumuk pasir di sepanjang pantai Cidaun wilayah Cianjur Selatan yang banyak mengandung pasir besi	237
Gambar 5.41.	Korelasi satuan batuan yang terdapat di wilayah Garut bagian selatan (Alzwar dkk., 1992)	238
Gambar 5.42.	Indikasi struktur geologi pada singkapan lava (Formasi Jampang) yang tersingkap di perbatasan Garut-Tasikmalaya bagian selatan	238
Gambar 5.43.	Korelasi satuan batuan di wilayah Tasikmalaya bagian selatan (Supriatna dkk., 1992)	239
Gambar 5.44.	Episentrum gempa di wilayah Indonesia (Soehaimi dkk., 2004)	240
Gambar 5.45.	Distribusi DAS di wilayah Jawa Barat Selatan	242

Gambar 5.46	Air terjun di wilayah Tasikmalaya bagian selatan	244
Gambar 5.47.	Air terjun di Neglasari Kabupaten Garut (a,b), air terjun pada gawir sesar di lembah S. Cipandak bagian hulu (c) dan air terjun di antara jalur Cibeber-Campaka Kabupaten Cianjur (d)	244
Gambar 5.48.	Curug Cikante di Kabupaten Sukabumi	245
Gambar 5.49.	Distribusi potensi energi listrik di Jawa Barat bagian selatan (sudradjat dkk., 2009)	249
Gambar 5.50.	Zonasi kawasan pengembangan di Jawa Barat Selatan (Sudradjat dkk., 2009)	255
Gambar 5.51.	Rencana strategi pengembangan kawasan di Jawa Barat (Anonim, 2016)	256
Gambar 5.52.	Sub-DAS Cisangkuy di wilayah Bandung selatan	258
Gambar 5.53.	Kenampakan kawasan Cekungan Bandung pada citra Landsat ETM+ tahun 2001. (1) kawasan hutan, (2) kawasan budidaya (ladang, perkebunan, dll.), (3) persawahan dan lahan lembab-basah, (4) permukiman, perkantoran, dan industri (Sukiyah, 2009) ...	261
Gambar 5.54.	(a) Gawir kompleks G.Wayang-Windu (Pangalengan) sebagai indikasi sesar aktif di kawasan hulu DAS Cisangkuy. (b) Lembah Patrol sebagai indikasi sesar aktif Ciwidey-Patrol-Wangisagara, yang melintas di hilir DAS Cisangkuy	262
Gambar 5.55.	Distribusi erosi di Sub-DAS Cisangkuy dan keberadaan sesar aktif, warna relatif lebih gelap menunjukkan tingkat erosi yang lebih tinggi	265

Gambar 5.56.	Grafik korelasi antara tingkat aktivitas tektonik dan besaran erosi rata-rata, persamaan $y = 458,86x + 230,61$ dan $r = 0,25$	266
Gambar 5.57.	Zona rawan banjir di wilayah Sub-DAS Cisangkuy	268
Gambar 5.58.	Grafik korelasi antara erosi dan luas zona banjir, (a) korelasi positif $y = 44,321x - 16,161$ dan $r = 0,75$, (b) korelasi positif $y = 25,441x - 17,343$ dengan $r = 0,92$	269
Gambar 5.59.	Rumah warga sering terlanda banjir 1,5-2 meter di bantaran S.Cisangkuy, Baleendah (atas). Muara S.Cisangkuy di S.Citarum, Dayeuhkolot (bawah)	270



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Klasifikasi kemiringan lereng menurut Van Zuidam (1983)	18
Tabel 2.2. Klasifikasi kemiringan lereng menurut Mader & Remson dalam Howard & Remson (1978)	18
Tabel 2.3. Klasifikasi tekstur bentangalam berdasarkan kerapatan pengaliran (Dd) pada bentangalam vulkanik Kuarter (Sukiyah, 2009)	50
Tabel 2.4. Karakteristik danau atau waduk berdasarkan perbandingan antara kedalaman maksimum dan akar luas permukaan	63
Tabel 2.5. Nilai kekasapan Manning n dalam $Q = (1/n)(A/R^2/3S^{1/2})$ dan koefisien Chezy C^* dalam $V = C \sqrt{R/S}$ yang khas	71
Tabel 2.6. Beberapa kriteria morfotektonik dan referensinya (Doornkamp, 1986)	74
Tabel 2.7. Klasifikasi derajat aktivitas tektonik berdasarkan indeks sinusitas muka gunung (Doornkamp, 1986)	75
Tabel 2.8. Klasifikasi derajat aktivitas tektonik berdasarkan V_f	78

Tabel 2.9.	Klasifikasi aktivitas sesar berdasarkan umur kejadian (Keller & Pinter, 1996)	80
Tabel 2.10.	Koreksi koefisien erosi beragam penggunaan lahan dan jenis tanah (Sukiyah, 2009)	85
Tabel 3.1.	Keuntungan dan kerugian penggunaan format data vektor dan raster (Burrough, 1986)	107
Tabel 3.2.	Penyajian garis grid, <i>graticule</i> dan garis tepi pada beberapa skala peta	116
Tabel 3.3.	Proyeksi polyeder	119
Tabel 3.4.	Proyeksi Mercator	120
Tabel 3.5.	Proyeksi UTM	121
Tabel 4.1.	File data MapInfo for windows	137
Tabel 4.2.	File data bukan MapInfo for windows	140
Tabel 4.3.	Perbandingan jenis field data	141
Tabel 5.1.	Menu operasi fungsi geografis	168
Tabel 5.2.	Penilaian aspek litologi di wilayah Bandung bagian selatan	184
Tabel 5.3.	Penilaian aspek <i>landuse</i> di wilayah Bandung selatan	185
Tabel 5.4.	Penilaian aspek curah hujan di wilayah Bandung selatan	185
Tabel 5.5.	Penilaian aspek kemiringan lereng di wilayah Bandung selatan	185
Tabel 5.6.	Penilaian aspek orde sungai di wilayah Bandung selatan	186
Tabel 5.7.	Hasil perhitungan batas kelas dengan metode pola distribusi normal	187

Tabel 5.8.	Hasil uji normalitas distribusi data arah azimuth kekar dan segmen sungai	194
Tabel 5.9.	Hasil uji beda menunjukkan bahwa pola sungai tidak berbeda dengan pola kekar	194
Tabel 5.10.	Morfometri sub-DAS Cirasta	202
Tabel 5.11.	Orde sungai dalam setiap zona banjir di sub-DAS Cirasta	209
Tabel 5.12.	Karakteristik morfometri DAS Cijoho, DAS Cihejo, DAS Barugbug, dan DAS Cigalugah	220
Tabel 5.13.	Hasil uji normalitas distribusi data azimuth kelurusan dan segmen sungai di DAS Cijoho, DAS Cihejo, DAS Burugbug, DAS Cigalugah	221
Tabel 5.14.	Hasil uji beda antara pola sungai dan pola kelurusan	222
Tabel 5.15.	Intensitas curah hujan dan indeks erosivitas di Kawasan hulu S.Citarum	225
Tabel 5.16.	Nilai erodibilitas tanah di kawasan hulu S. Citarum	226
Tabel 5.17.	Indeks panjang dan kemiringan lereng (LS) berdasarkan kemiringan lereng (Departemen Kehutanan, 1986)	227
Tabel 5.18.	Indeks penggunaan dan pengolahan lahan (Departemen Kehutanan, 1985)	227
Tabel 5.19.	Hasil pengukuran erosi secara langsung dan hasil perhitungan USLE di Cekungan Bandung bagian selatan (Sukiyah, 2009)	228
Tabel 5.20.	Homogenitas varians dan hasil pengujian hipotesis antara $k [MH]$ dan $k [CH]$ hasil pelapukan batuan vulkanik berumur Kuartar	231

Tabel 5.21.	Validasi USLE untuk bentangalam vulkanik berumur Kuartar di daerah Tropis (Sukiyah, 2009)	231
Tabel 5.22.	Potensi energi listrik tenaga mini hidro dan mikro hidro di wilayah Jawa Barat bagian selatan (Sudradjat dkk., 2009)	246
Tabel 5.23.	Distribusi jumlah orde sungai di Sub-DAS Cisangkuy	263
Tabel 5.24.	Nilai rasio cabang sungai (Rb) di Sub-DAS Cisangkuy	263
Tabel 5.25.	Distribusi besaran erosi di Sub-DAS Cisangkuy ...	264
Tabel 5.26.	Distribusi zona banjir di Sub-DAS Cisangkuy	267



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kajian geomorfologi bukan saja meliputi bidang statis, yang hanya mempelajari bentuk-bentuk permukaan bumi, melainkan ilmu yang dinamis sehingga dapat meramalkan kejadian alam sebagai hasil interpolasi. Pendekatan analisis secara kualitatif harus didukung oleh data kuantitatif yang memadai. Oleh karena itu, diperlukan suatu alat analisis (*tool*) untuk dapat mendukung proses tersebut. Penggunaan komputer dan perangkat lunak merupakan suatu keharusan di abad milenium yang berlanjut kepada abad pembangunan berkelanjutan.

Buku ini sebagai bahan referensi bagi mahasiswa, peneliti, dan masyarakat umum yang tertarik untuk mendalami geomorfologi secara kuantitatif, khususnya berkaitan dengan analisis data secara spasial. Banyak buku atau publikasi yang mudah diakses dan dapat dijadikan referensi, tetapi pada umumnya tidak tercakup dalam satu buku khusus. Pembahasan disusun secara sistematis dan mudah dipahami oleh pengguna. Secara garis besar buku ini membahas landasan teori tentang geomorfologi kuantitatif, konsep dasar Sistem Informasi Geografis (SIG), panduan perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG), serta aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk analisis data geomorfologi kuantitatif.

1.2 Deskripsi Singkat

Buku “Sistem Informasi Geografis: Konsep dan aplikasinya dalam analisis geomorfologi kuantitatif” merupakan salah satu buku referensi yang dapat dipergunakan untuk memahami geomorfologi secara kuantitatif. Buku ini membahas tentang parameter kuantitatif dalam geomorfologi, Sistem Informasi Geografis (SIG) sebagai alat untuk analisis, analisis data menggunakan perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG), serta aplikasinya dalam beragam pekerjaan praktis.

Kompetensi penggunaan komputer untuk analisis data kuantitatif berbasis spasial diperlukan sebelum mempelajari materi dalam buku ini. Aplikasi hasil analisis juga dibahas dalam buku ini berdasarkan hasil riset yang telah dilakukan oleh penulis, sejak berpuluh tahun lalu. Objek riset pada umumnya dilakukan di wilayah Indonesia, terutama di Pulau Jawa.

1.3 Tujuan Pembelajaran

Tujuan pembelajaran yang ingin dicapai setelah menyelesaikan buku ini adalah pembaca diharapkan mampu untuk:

- 1) Memahami parameter kuantitatif dalam geomorfologi;
- 2) Memahami konsep dasar Sistem Informasi Geografis (SIG);
- 3) Menggunakan perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk analisis data;
- 4) Menganalisis secara kuantitatif bentuk dan ukuran bentang alam, proses geomorfologi dan akibat serta dampak yang terjadi;
- 5) Membuat interpretasi dan pemerian interaksi antara bentuk bentangalam dengan karakteristik geomorfologi dan geologi yang mendukungnya;
- 6) Memanfaatkan hasil analisis tersebut untuk kepentingan praktis, misalnya dalam perencanaan tata ruang dan pengembangan wilayah, pengelolaan sumberdaya alam dan lingkungan, tanah dan air.

1.4 Materi Pembahasan

Materi yang dibahas dalam buku ini terbagi dalam 5 (lima) bab, meliputi Pendahuluan, Geomorfologi Kuantitatif, Sistem Informasi Geografis (SIG), Panduan Sistem Informasi Geografis (SIG), dan Aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG). Masing-masing dikemukakan secara sistematis sehingga mudah dipahami.

Bab 1 membahas pendahuluan yang mencakup latar belakang penyusunan buku ajar, deskripsi singkat buku ajar, tujuan pembelajaran, serta materi pembahasan. Bab 2 membahas tentang geomorfologi kuantitatif yang dibahas secara garis besar sebagai pengantar sebelum membahas analisis data menggunakan perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG). Materi yang dibahas dalam bab geomorfologi kuantitatif mencakup morfometri lereng, morfometri Daerah Aliran Sungai (DAS), morfometri waduk, morfotektonik, erosi, dan mini-mikro hidro.

Pembahasan tentang Sistem Informasi Geografis (SIG) ditampilkan dalam Bab 3, mencakup sejarah dan perkembangan Sistem Informasi Geografis (SIG), definisi dan konsep Sistem Informasi Geografis (SIG), komponen Sistem Informasi Geografis (SIG), struktur data, proyeksi peta dan sistem koordinat, serta ragam peta. Dalam Bab 4 ditampilkan tentang panduan penggunaan salah satu perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG). Pembahasan dalam Bab 4 meliputi perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG), input data, perbaikan (*editing*) data, analisis spasial, pengelolaan data dan tata letak (*layout*) peta.

Aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG) dibahas dalam Bab 5. Pembahasan dalam bab ini mencakup penyusunan peta tematik, perhitungan kemiringan lereng, perhitungan erosi, analisis morfomeri DAS, Analisis kawasan rawan erosi, Analisis kawasan rawan banjir, Eksplorasi energi terbarukan (mikro-mini hidro).

BAB 2

GEOMORFOLOGI KUANTITATIF

Perkembangan geomorfologi kuantitatif tidak dapat dipisahkan dari perkembangan ilmu geologi, khususnya geomorfologi. Beberapa ahli yang telah melakukan riset dan turut andil dalam kemunculan beberapa konsep berkaitan dengan ilmu kebumihan dikemukakan pada bab ini. Materi yang dibahas dalam bab ini meliputi:

- (1) Sejarah dan perkembangan geomorfologi kuantitatif
- (2) Morfometri lereng
- (3) Morfometri Daerah Aliran Sungai (DAS)
- (4) Morfometri waduk atau danau
- (5) Morfotektonik
- (6) Erosi dan sedimentasi
- (7) Mini-Mikro hidro

2.1 Sejarah dan Perkembangan Geomorfologi Kuantitatif

Pengetahuan tentang geomorfologi, sebagaimana juga dengan ilmu-ilmu yang lain, dimulai dengan munculnya ahli-ahli filsafat Yunani dan Romawi (Thornbury, 1969). Herodotus (485–425 SM) yang dianggap sebagai “bapak sejarah” dikenal pula mempunyai pemikiran tentang geologi. Diantaranya tentang perubahan muka air laut, salah satu gejala geomorfologi yang diperhatikan di lembah Sungai Nil di negara Mesir. Herodotus bahkan menyatakan bahwa Mesir adalah hadiah dari sungai (*Egypt is the gift of the river*). Kemudian banyak pula ahli filsafat lainnya yang menyinggung tentang geomorfologi.

Beberapa ahli filsafat diantaranya adalah Aristoteles (384 – 322 SM), Strabo (54 SM – 25 M), dan Seneca (? SM – 65 M). Aristoteles mengamati asal muasal mata air. Air yang mengalir keluar dari mata air berasal dari air hujan yang mengalami perkolasi masuk ke bawah permukaan tanah, air yang terbentuk di bumi oleh proses kondensasi udara, dan air yang berasal dari kondensasi uap yang belum jelas asalnya. Dalam penelitian tersebut Aristoteles juga mengamati dan memberikan pernyataan-pernyataan berkaitan dengan sungai. Strabo melakukan penelitian tentang gempa bumi dan aktivitas vulkanik. Konsep tentang perkembangan aluvium sungai dan delta. Ketertarikan Seneca pada masalah kejadian gempa bumi yang bersifat lokal dan konsep aliran sungai yang membentuk lembah. Dinyatakan pula bahwa ada keterkaitan antara gempa bumi dan deformasi kerak bumi. Ketiganya pada akhirnya menerangkan gejala-gejala alam sebagai suatu kutukan Tuhan atau dikenal pula dengan nama Teori Malapetaka.

Berabad-abad kemudian, konsep ini sedikit demi sedikit berubah. Konsep geomorfologi modern salah satunya dicetuskan oleh Avicenna atau Ibnu Sina (980-1037 M) ilmuwan dari Arab. Ibnu Sina menyatakan bahwa pegunungan dapat dikelompokkan dalam 2 (dua) kelas, yaitu produk dari pengangkatan (*uplifting of ground*), misalnya pada kasus gempa bumi, dan produk dari gerakan air dan angin yang membentuk lembah pada batuan bersifat lunak. Pada masa itu, konsep erosi mulai dikenal. Kini konsep awal tersebut dikenal sebagai erosi, transportasi material oleh angin (*corrasion*), pelapukan, dan *peneplanation*. Masyarakat mulai mengenal filsafat katatrofisma, yang mengatakan bahwa semua gejala alam itu sebagai akibat pembentukan dan kerusakan yang relatif terjadi dengan tiba-tiba sehingga menyebabkan perubahan bentuk muka bumi.

James Hutton (1726-1797), berlatar belakang pendidikan kedokteran namun berminat pada ilmu pengetahuan alam. Selain itu, James Hutton juga penemu proses kimia untuk pembuatan amoniak

dan menjadi pengusaha, kemudian menjadi tuan tanah (*gentleman farmer*) di tempat kelahirannya dekat Edinburg, Scotlandia. James Hutton melakukan penelitian lapangan di sekitar Edinburg. Penelitian ditekankan pada pengamatan lapangan hubungan antar batuan, pengamatan hubungan batuan kristalin dengan batuan sekitarnya, pengamatan vulkanisme serta pembentukan batuan efusif khususnya basal. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, selanjutnya muncul konsep *unconformity* yang ditafsirkan dengan adanya daur geologi dan konsep intrusi serta magmatisme.

James Hutton juga melakukan pengamatan erosi, pembentukan bentangalam, dan sedimentasi serta proses-proses geologi yang memerlukan waktu lama, sehingga mencetuskan uniformitarianisme dan permukaan bumi yang terus menerus berubah. Konsep tersebut dituangkan dalam buku *Theory of the Earth*. James Hutton dianggap sebagai pelopor ilmu geologi modern dengan meletakkan prinsip-prinsip dasar ilmu geologi, dan konsepnya disebut sebagai teori uniformitarianisme. Teori tersebut terkenal dengan dalilnya yang menyatakan bahwa “hari ini adalah kunci dari kejadian pada masa lampau” atau istilah dalam Bahasa Inggris adalah *the present is the key to the past*.

Lamarck (1744-1829), memulai kariernya sebagai militer, kemudian belajar ilmu kedokteran. Selanjutnya tertarik pada ilmu pengetahuan alam, khususnya botani dan menjadi kurator herbarium di kebun raya milik kerajaan. Lamarck banyak melakukan penelitian, khususnya sistematika dan deskripsi semua tumbuhan liar di Perancis yang telah dipublikasikan dalam “*Flore Francaise*” pada tahun 1776. Karya tersebut mengantarkannya mencapai kedudukan sebagai Professor Administratur dalam bidang Zoologi. Lamarck juga tertarik untuk melakukan penelitian tentang ilmu kebunian. Dalam rangka mempelajari moluska, dikorelasikan fosil di cekungan Paris dengan yang masih hidup untuk mendapatkan gambaran yang lebih luas tentang binatang invertebrata. Lamarck adalah pencetus paleontologi

invertebrata yang telah mengemukakan pendapat mengenai evolusi organik sebelum Darwin. Teorinya yang terkenal adalah penjelasan leher panjang binatang jerapah karena adaptasi terhadap perubahan tumbuhan sebagai makanannya yang semakin tinggi. Dalam hal proses geologi, Lamarck lebih mengutamakan peranan air sebagai agen perubahan muka bumi yang utama, menekankan pentingnya erosi, denudasi yang membentuk lembah-lembah sehingga terbentuk pegunungan, dan yang mengakibatkan perpindahan cekungan lautan, sebagaimana dinyatakan dalam buku berjudul "Hydrogeologie". Dalam hal ini, Lamarck menganut proses evolusi muka bumi yang membutuhkan waktu sangat lama, sebagai mana halnya disadari oleh James Hutton. Namun Lamarck menolak adanya proses-proses bawah permukaan seperti tektonik. Sumbangan lain terhadap ilmu geologi adalah mengenai proses diagenesa atau litifikasi serta pelapukan sebagai proses pembentukan material lempung.

Pada masa sekarang geomorfologi bukan hanya mempelajari bentuk-bentuk muka bumi, tetapi juga merupakan ilmu yang dinamis. Kajian geomorfologi dapat meramalkan kejadian alam sebagai hasil interpolasi berdasarkan data yang tersedia. Selain itu, pemerian bentuk muka bumi dapat dinyatakan dengan besaran-besaran matematika yang dikenal dengan nama geomorfologi kuantitatif. Strahler (1954, 1957) dapat dianggap sebagai pemuka yang membuat analisis pengaliran secara matematika.

Beragam hasil penyelidikan geomorfologi di Indonesia dapat dijumpai, terutama yang ditulis oleh ahli-ahli dari Negeri Belanda pada zaman sebelum Perang Dunia II (Sudradjat, 1975). Karya geomorfologi yang patut dikemukakan adalah penyelidikan geomorfologi Pulau Jawa oleh Pannekoek (1949). Sesudah Perang Dunia II, ahli-ahli geologi dari Belanda banyak pula yang menulis tentang geomorfologi Indonesia, salah satunya adalah Verstappen yang banyak menulis buku. Di antara karyanya adalah *Remote Sensing in Geomorphology* ditulis tahun 1977

dan *Applied Geomorphology: Geomorphological Surveys for Environmental Development* yang ditulis pada tahun 1983.

Pike (1995) menggolongkan geomorfologi kuantitatif sebagai geomorfometri. Geomorfometri (*geomorphometry*) adalah ilmu kuantifikasi dan analisis dari permukaan bumi. Geomorfometri pada umumnya digunakan sebagai alat bantu dalam memahami karakteristik suatu wilayah, diantaranya terkait dengan aktivitas tektonik.

Aspek geomorfometrik telah diteliti oleh beberapa peneliti terdahulu, diantaranya Horton (1945), Hammond (1964), Verstappen dan van Zuidam (1968). Metode geomorfologi kuantitatif pada awal perkembangannya mengklasifikasikan bentuk muka bumi berdasarkan angka (numerik), seperti beda tinggi, kemiringan lereng (*slope*) dan sistem drainase. Semuanya diperoleh dari analisis peta topografi.

Sejak 1970-an, analisis geomorfologi kuantitatif telah berkembang pesat dengan dukungan teknologi. Analisis kuantitatif dalam geomorfologi diperoleh melalui analisis secara digital suatu wilayah (*digital terrain*) dalam bentuk *Digital elevation Model* (DEM), *Geographic Digital Elevation Model* (GDEM), *Digital Terrain Model* (DTM), dan sebagainya.

Hingga saat ini, kemajuan penting telah dicapai dalam meningkatkan akurasi dengan mengembangkan algoritma baru dan perangkat lunak (*software*) pengolah untuk menghitung morfometri pada data sistem penginderaan jauh yang diperoleh dari satelit dan radar. Diantaranya algoritma terkenal yang dikembangkan oleh Douglas dan Peucker (1975), Heerdegen dan Beran (1982), Zevenbergen dan Thorne (1987), Costa-Cabral dan Burges (1994) dan Tarboton (1997). Collins (1981) telah mengembangkan algoritma untuk memperoleh data kuantitatif, peta topografi dan tematik dari DTM. Algoritma ini dapat digunakan untuk mengenali bentuk bumi seperti puncak bukit, Daerah Aliran Sungai (DAS), dan kemiringan lereng.

Geomorfologi kuantitatif mengutamakan pendekatan kuantitatif (numerik) dalam analisis data yang terkait dengan geomorfologi. Geomorfologi merupakan salah satu aspek yang dipelajari dalam kurikulum pendidikan geologi. Selama ini pendekatan eksploratif-deskriptif lebih banyak dilakukan untuk menjelaskan fenomena geologi. Seiring dengan kemajuan teknologi, di mana sebagian besar aspek yang dikaji memerlukan penjelasan yang akurat, maka diperlukan kajian secara kuantitatif.

Bentangalam merupakan fenomena geologi yang mudah ditelusuri keberadaannya. Karakteristik bentangalam, dalam batas-batas tertentu mencerminkan keberadaan fenomena geologi bawah permukaan. Misalnya, pola pengaliran rektangular mencerminkan bahwa kawasan tersebut dikontrol oleh tektonik. Bila analisis geomorfologi dilengkapi dengan pendekatan kuantitatif, diharapkan hasil analisis geomorfologi akan lebih akurat.

Adapun beberapa aktivitas di bidang geologi yang dapat didukung oleh hasil analisis geomorfologi secara kuantitatif diantaranya adalah:

- 1) Penentuan arah dan posisi obyek geologi;
- 2) Memperkirakan jenis batuan secara lebih detil berdasarkan analisis peta topografi;
- 3) Eksplorasi sumber daya mineral;
- 4) Eksplorasi sumber daya energi;
- 5) Eksplorasi sumber daya air;
- 6) Penetapan keberadaan sesar-sesar aktif dan memperkirakan tingkat aktivitasnya;
- 7) Perhitungan material yang terbawa oleh aliran air dan sedimentasinya untuk memperkirakan umur pemanfaatan waduk;

- 8) Kajian paleogeomorfologi untuk memperoleh kejelasan potensi sumberdaya geologi yang terbentuk pada suatu masa;
- 9) Pemilihan lokasi strategis untuk pertahanan militer (Geo-militer).

2.2 Morfometri Lereng

2.2.1 Definisi Lereng

Istilah lereng (*slope*) dalam *Dictionary of Geology & Mineralogy* (McGraw-Hill, 2003) didefinisikan sebagai *the inclined surface of any part of the earth's surface* atau dapat diartikan sebagai "permukaan yang doyong atau miring di berbagai bagian permukaan bumi". Definisi lereng dalam kamus bahasa Indonesia (Yulius dkk., 1984) adalah daratan yang landai di wilayah pegunungan. Strahler & Strahler (1984) dalam bukunya yang berjudul *Elements of Physical Geography*, mendefinisikan lereng sebagai bagian dari permukaan daratan yang membentuk kemiringan terhadap posisi horisontal.



Gambar 2.1. Perbukitan dengan kemiringan lereng bervariasi di wilayah Bantarujeg, Majalengka, Jawa Barat



Gambar 2.2. Pegunungan di wilayah perbatasan Tangerang-Bogor dengan latar belakang G.Gede, Jawa Barat (Foto: Eza Nurfadli)

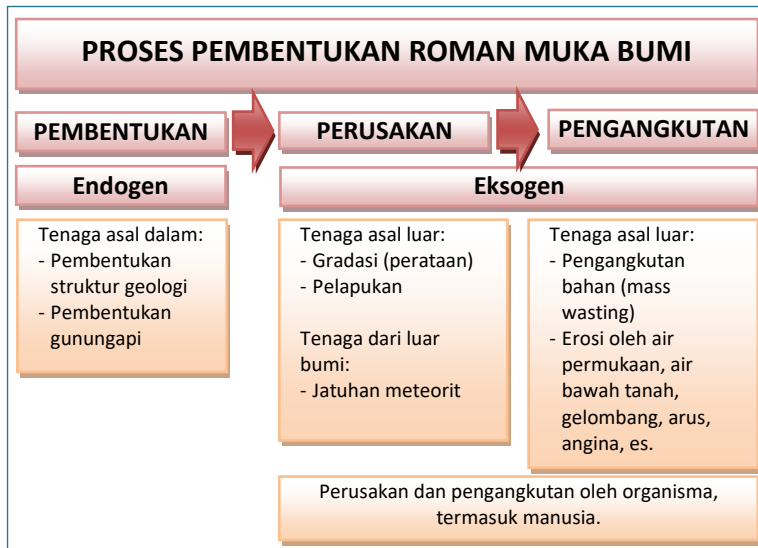


Gambar 2.3. Lembah Cijoho di wilayah Majalaya, Bandung selatan, Jawa Barat

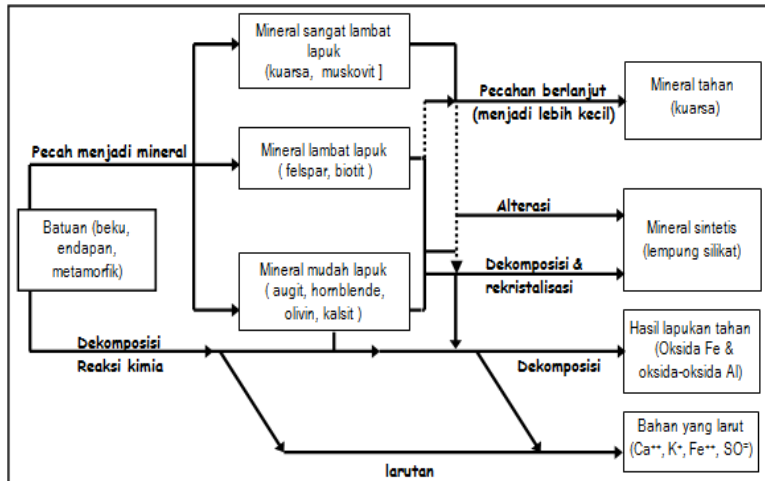
Penyebutan istilah lereng sering diikuti oleh kata perbukitan (*hill slopes*), pegunungan (*mountain slopes*), atau tepi lembah (*valley-side slopes*) untuk menyatakan permukaan bumi berkemiringan yang membentang dari puncak hingga dasar di kedua sisi lembah. Gambar 2.1, 2.2. dan 2.3 menunjukkan perbedaan objek perbukitan, pegunungan, dan tepi lembah.

2.2.2 Faktor Pembentuk, Perhitungan, dan Klasifikasi Lereng

Lereng adalah kenampakan permukaan bumi yang disebabkan oleh beda tinggi. Apabila beda tinggi pada dua tempat yang berbeda dibandingkan dengan jarak lurus mendatar maka akan diperoleh besarnya kemiringan lereng. Lereng merupakan permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang horisontal.



Gambar 2.4. Skema proses eksogen yang dapat menentukan bentuk dan kemiringan lereng



Gambar 2.5. Skema proses pelapukan dan produknya yang dapat mempengaruhi bentuk-bentuk lereng (modifikasi dari Buckman & Bready, 1969)

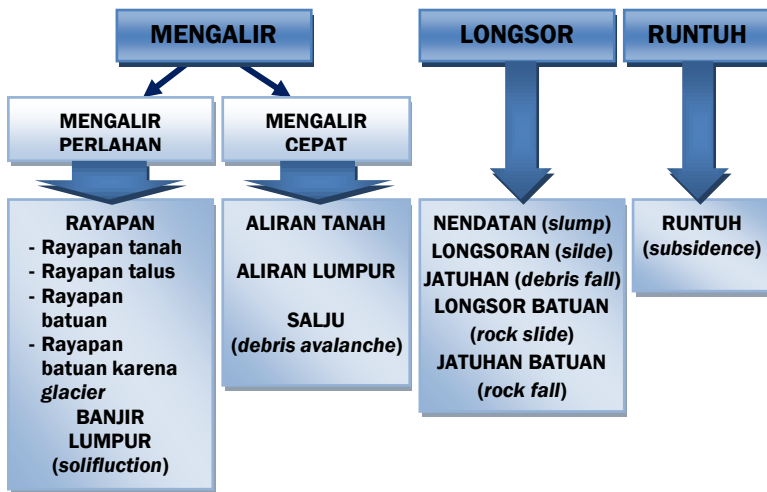
Lereng dapat terbentuk secara alamiah karena proses geologi atau karena dibuat oleh manusia. Lereng yang terbentuk secara alamiah misalnya lereng bukit dan tebing sungai. Sedangkan lereng buatan manusia akan terbentuk diantaranya akibat penggalian dan timbunan untuk membuat jalan raya, jalan kereta api, bendungan, tanggul sungai, kanal, serta kegiatan tambang terbuka.

Bentuk lereng akan dipengaruhi oleh proses eksogen yang berlangsung di permukaan bumi. Proses eksogen didefinisikan sebagai perubahan-perubahan, baik secara fisik maupun kimiawi yang dialami permukaan bumi akibat energi yang berasal dari luar bumi. Proses erosi, pengangkutan material (Gambar 2.4) dan pelapukan (Gambar 2.5) merupakan contoh proses eksogen. Pengangkutan material hasil proses pelapukan oleh agen-agen tertentu, misalnya air, angin, salju, dan sebagainya. Berbagai tipe pengangkutan material di antaranya

dapat dikelompokkan sebagai aliran, longsoran, dan runtuh (Gambar 2.6, 2.7, 2.8).

Lereng dapat diklasifikasikan berdasarkan kemiringan, bentuk, dan panjang segmennya. Variasi kemiringan lereng, bentuk lereng, dan panjang segmen lereng dikontrol oleh berbagai faktor, diantaranya adalah:

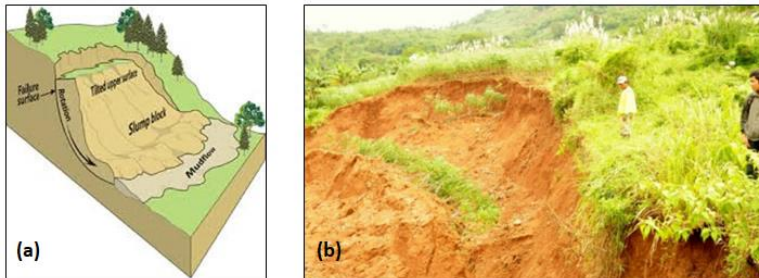
- Material penyusun, baik berupa batuan maupun tanah;
- Proses tektonik;
- Proses vulkanisma;
- Proses denudasi; dan
- Aktivitas kehidupan (manusia)



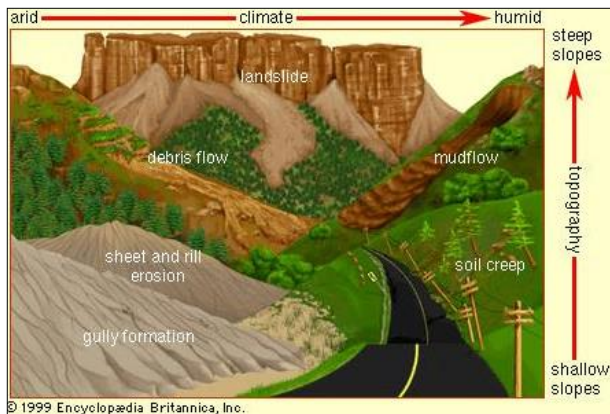
Gambar 2.6. Skema pembagian tipe-tipe pengangkutan material berdasarkan kecepatan dan energi pergerakannya

Lereng yang tersusun oleh material bersifat padu dan keras pada umumnya akan memiliki kemiringan lereng yang relatif curam. Sebaliknya, material yang lunak atau bersifat lepas akan membentuk

lereng yang relatif lebih landai. Perselingan antara batuan bersifat keras dan lunak yang menyusun tubuh lereng, akan tercermin oleh variasi kemiringan lereng yang tersegmentasi. Semakin tinggi kemiringan perlapisan batumannya (*dip*), maka segmentasi kemiringan lereng akan semakin rapat atau pendek.



Gambar 2.7. Tipe longsor dengan bidang gelincir lengkung mengakibatkan bentuk lereng sirkular; (a) model pergerakan longsor (Petley, 2009) dan (b) longsor di Ciparay Bandung selatan tahun 2010.



Gambar 2.8. Hubungan antara proses eksogen dengan iklim dan kemiringan lereng (Anonim, 1999)

$$\frac{(n-1) \times Ci}{\sqrt{2a^2}} \times 100\%$$

Keterangan

n = jumlah kontur yang memotong diagonal jaring

Ci = Interval kontur (meter)

A = Panjang jaring (meter)

Gambar 2.9. Perhitungan kemiringan lereng menggunakan rumus dan metode grid serta variabel yang diperlukan (Elyes, 1968; dalam Van Zuidam, 1983; dan Sukiyah dkk, 2007)

Kemiringan lereng dapat dihitung menggunakan berbagai rumus. Salah satu rumus yang sering digunakan adalah formula (2.1) dari Elyes (1968; dalam van Zuidam, 1983) dilakukan pada media peta topografi. Variabel yang diperlukan untuk perhitungan ini terdiri atas diagonal jaring (*grid*), jumlah kontur yang memotong diagonal jaring, interval kontur (meter), serta panjang jaring (meter). Hasil perkalian dan pembagian di antara variabel-variabel tersebut selanjutnya dikalikan dengan 100% (Gambar 2.9).

$$S = \frac{(n-1) \times Ci}{\sqrt{2a^2}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan n = Jumlah kontur yang memotong diagonal jaring
 Ci = Interval kontur (meter)
 a = Panjang jaring (meter)
 S = Kemiringan lereng (%)

Hasil perhitungan kemiringan lereng selanjutnya diklasifikasikan menjadi beberapa kelas sesuai dengan acuan yang digunakan. Ada beberapa klasifikasi kemiringan lereng, di antaranya menurut Van Zuidam (1983) dan Howard & Remson (1978), seperti ditunjukkan oleh Tabel 2.1 dan 2.2. Klasifikasi yang pertama lebih bersifat umum, sedangkan klasifikasi yang ke dua ditujukan untuk perencanaan penataan ruang dan pembangunan infrastruktur.

Tabel 2.1. Klasifikasi kemiringan lereng menurut Van Zuidam (1983)

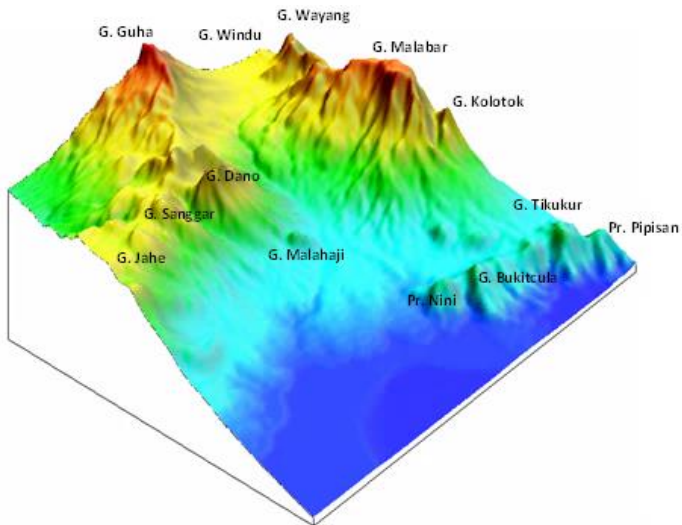
Kemiringan lereng		Penamaan	
%	derajat (°)		
0 - 2	0 - 2	<i>flat / almost flat</i>	datar / hampir datar
2 - 7	2 - 4	<i>gently sloping</i>	agak landai
7 - 15	4 - 8	<i>sloping</i>	landai
15 - 30	8 - 16	<i>moderately steep</i>	agak curam
30 - 70	16 - 35	<i>steep</i>	curam
70 - 140	35 - 55	<i>very steep</i>	sangat curam
> 140	> 55	<i>extremely steep</i>	sangat curam sekali

Tabel 2.2. Klasifikasi kemiringan lereng menurut Mader & Remson dalam Howard & Remson (1978)

Slope degree (% or °)		Name
0 - 5%	0 - 3°	<i>almost level</i>
5 - 15%	3 - 9°	<i>moderately sloping</i>
15 - 30%	9 - 17°	<i>too steep for most cultivation</i>
30 - 50%	17 - 27°	<i>high-rise apartments clusters and large-lot residences appropriate</i>
>50%	> 27°	<i>generally too steep for real estate development</i>

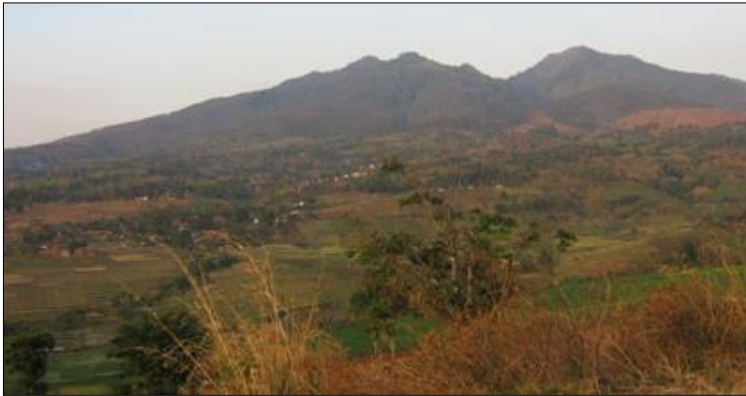
Bentuk permukaan lereng dapat dikelompokkan dalam cembung, cekung, lurus, dan kompleks. Berdasarkan ketidakteraturan (*irregularity*), permukaan lereng juga dapat dibedakan menjadi rata atau halus (*smooth*) dan tidak beraturan (*irregular*). Lereng sebagai suatu unit morfografi juga dapat diklasifikasikan berdasarkan panjang segmennya, yaitu (van Zuidam & van Zuidam-Cancelado, 1978):

- 1) Sangat pendek jika panjang segmen lereng kurang dari 15 m
- 2) Pendek jika panjang segmen lereng di antara 15 hingga 50 m
- 3) Agak panjang (menengah) jika panjang segmen lereng antara 50 hingga 250 m
- 4) Panjang jika panjang segmen lereng di antara 250 hingga 500 m
- 5) Sangat panjang jika panjang segmen lereng lebih dari 500 m



Gambar 2.10. Diagram blok menunjukkan variasi bentuk, panjang, dan kemiringan lereng di kawasan hulu S. Citarum, Bandung Selatan (Sukiyah, 2009)

Dalam aspek morfometri, lereng merupakan salah satu unsur dari suatu bentang alam (*landscape*) dengan berbagai karakteristik relief kemiringan (Gambar 2.10 dan 2.11). Stabilitas lereng sangat tergantung pada massa batuan yang membentuknya dan kondisi iklim di sekitarnya. Dengan kata lain jenis batuan dan struktur geologi dapat mempengaruhi kestabilan lereng.



Gambar 2.11. Kenampakan lereng G. Kareumbi – G. Kerenceng dilihat dari jalan Cicalengka - Curug Cinulang, Kabupaten Bandung, Jawa Barat

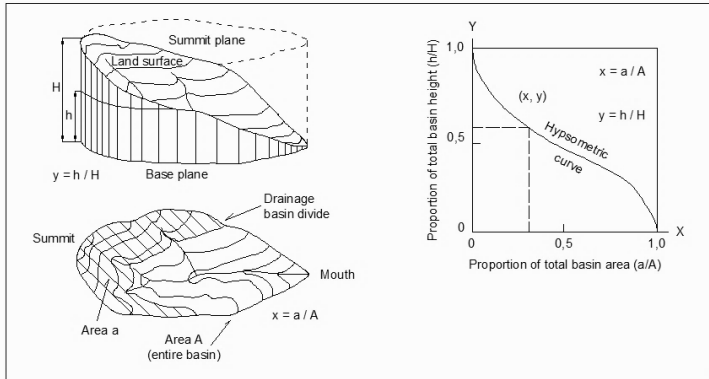
2.2.3 Hipsometri Lereng

Distribusi elevasi yang membentang pada suatu daratan dapat digambarkan dalam bentuk kurva hipsometri. Kurva tersebut dibentuk dari perhitungan proporsi tinggi DAS total terhadap proporsi luas DAS total. Bentuk kurva hipsometri diperoleh berdasarkan persamaan integral hipsometri (H_i). Hipsometri lereng dibuat untuk mengetahui tingkat perkembangan suatu DAS (Pike dan Wilson 1971).

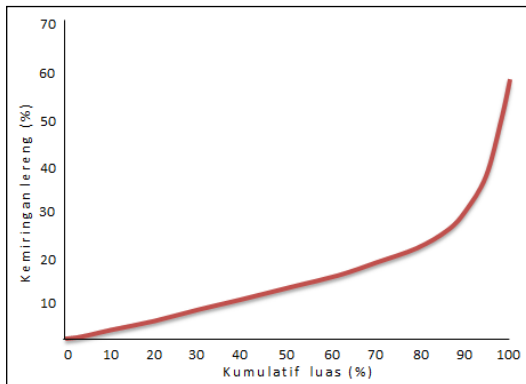
Integral hipsometri dihitung dari selisih antara elevasi rata-rata (H_{mean}) dan elevasi minimum (H_{min}), dibagi dengan selisih antara elevasi maksimum (H_{max}) dan elevasi minimum (H_{min}) seperti ditampilkan

dalam persamaan 2.2. Cara perhitungan diilustrasikan dalam Gambar 2.12.

$$Hi = \frac{H_{mean} - H_{min}}{H_{max} - H_{min}} \dots\dots\dots 2.2$$



Gambar 2.12. Ilustrasi metode pembuatan kurva hipsometri (Pike & Wilson, 1971)



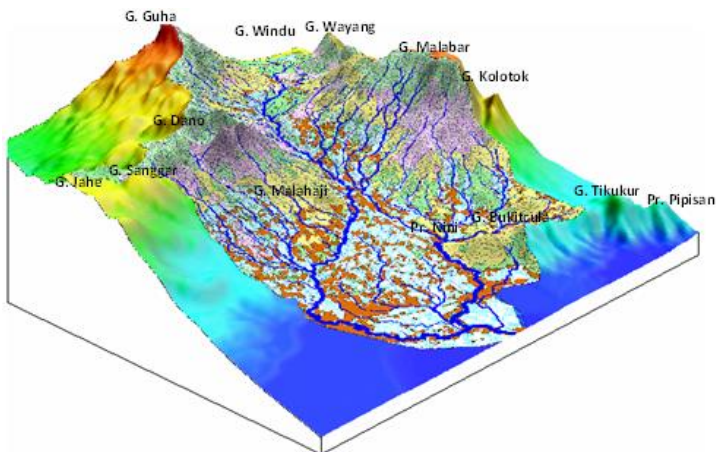
Gambar 2.13. Hipsometri lereng di daerah Curugagung dan sekitarnya, Kabupaten Subang (Sukiyah, 1993)

Sukiyah (1993) telah membuat grafik hipsometri lereng untuk analisis tingkat erosi dan perkembangan suatu DAS di Daerah Curugagung dan sekitarnya Kabupaten Subang Provinsi Jawa Barat. Berdasarkan grafik hipsometri tersebut diketahui bahwa perkembangan geomorfologi tergolong masih muda dan sedang menuju ke stadium dewasa (Gambar 2.13).

2.3 Morfometri Daerah Aliran Sungai (DAS)

2.3.1 Konsep Dasar Morfometri DAS

Konsep dasar morfometri adalah bahwa suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan suatu sistem terbuka yang cenderung memiliki dinamikanya sendiri. Dalam sistem terbuka akan terjadi suatu proses pemasukan dan pengeluaran materi dan energi sesuai dengan kemampuan sistem tersebut. Sistem pada DAS akan mentransfer energi untuk menjaga agar proses yang terjadi terus berlangsung dengan seimbang (Strahler, 1954).



Gambar 2.14. Batas sub-DAS Citarum Hulu di wilayah Bandung Selatan (Sukiyah, 2009)

Batas cekungan pengaliran atau basin merupakan batas masuknya air hujan dalam basin (Gambar 2.14). Selanjutnya, air hujan bergerak meninggalkan basin melalui mulut basin dengan membawa serta material-material yang terdapat didalamnya. Dalam kasus tersebut energi potensial berubah menjadi energi kinetik yang mengakibatkan erosi dan gerakan material berlangsung lama, berevolusi membentuk suatu kesan topografi tertentu. Jika sistem dalam DAS terganggu akibat perubahan iklim atau geologi maka akan terjadi penyesuaian dengan cepat geometri basin sehingga terbentuk sistem keseimbangan baru (Horton, 1932; dalam Horton, 1945).

2.3.2 Aspek Morfometri DAS

Morfometri didefinisikan sebagai aspek kuantitatif suatu bentuk lahan (van Zuidam, 1983). Mengacu pada definisi tersebut maka morfometri DAS dapat diartikan sebagai aspek kuantitatif DAS atau parameter karakteristik DAS yang dapat diukur dan dihitung.

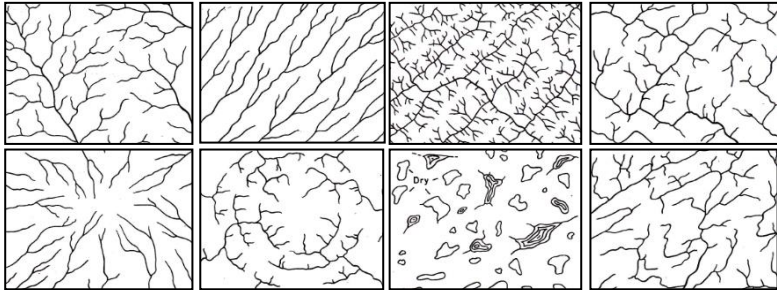
Aspek morfometri DAS dikelompokkan ke dalam empat kategori (Morisawa, 1959), yaitu aspek panjang atau ukuran, aspek luas atau bentuk, aspek relief dan aspek non dimensi. Aspek panjang dapat dinyatakan dalam satuan meter (m) atau kilometer (km), meliputi panjang sungai, keliling atau perimeter basin, panjang dan lebar maksimum basin, panjang aliran limpasan dan panjang ke pusat gravitasi DAS. Aspek luas atau bentuk meliputi luas basin yang dinyatakan dalam satuan m^2 atau km^2 . Bentuk DAS, kerapatan alur dan kerapatan sungai tidak dinyatakan dalam satuan. Aspek relief meliputi kekasaran DAS, kemiringan lereng atau gradien dan kemiringan dasar sungai. Aspek relief memberikan penilaian bentuk-bentuk suatu DAS yang dapat dilihat secara horizontal atau melalui penampang melintang. Aspek non dimensi meliputi orde sungai, rasio cabang sungai, rasio cabang sungai rata-rata, dan pola alur sungai.

2.3.2.1 Pola pengaliran

Pola pengaliran (*drainage pattern*) adalah desain yang terbentuk oleh sekumpulan saluran pengaliran dalam suatu kawasan terlepas dari apakah mereka sebagai sungai-sungai permanen atau bukan. Pola sungai (*stream pattern*) adalah desain yang terbentuk oleh saluran pengaliran tunggal.

Howard (1967) telah membagi pola pengaliran dalam beberapa kelompok yaitu pola dasar (*basic patterns*), pola dasar yang dimodifikasi (*modified basic patterns*) dan pola *complex-compound-palimpsest*. Masing-masing kelompok pola pengaliran terdiri atas beberapa pola pengaliran. Baik pola pengaliran dasar maupun modifikasi telah dijelaskan (Zernitz, 1932; dalam Howard, 1967). Namun demikian ada penambahan variasi pengaliran. Pola pengaliran dasar adalah pola pengaliran yang karakteristiknya dapat dibedakan dengan pola dasar lainnya. Pola pengaliran modifikasi berbeda dari tipe pola dasar dalam beberapa aspek regional. Contohnya jarak yang saling menutup (*close spacing*) dari anak-anak sungai yang sejajar berukuran kecil (*small parallel tributaries*) dalam pola *pinnate-dendritic* atau orientasi tertentu dari anak-anak sungai yang lebih panjang dalam pola *directional-trellis*. Keragaman pengaliran (*drainage varieties*) berbeda dengan pola pengaliran dasar dan modifikasi dalam detil internal (*internal details*). Keragaman adalah sekumpulan dan aplikasi dari nama-nama bersifat individu yang tidak praktis. Dalam pengertian global, pola-pola dasar, pola-pola modifikasi, keragaman pola mungkin mirip dengan genus (*genera*), spesies, dan varitas dari klasifikasi terkait dengan biota.

Sebagian besar pola-pola dasar dikontrol oleh struktur regional. Zernitz (1932; dalam Howard, 1967) telah mengklasifikasikan sebagai pola-pola berikut: dendritik, sejajar (*parallel*), tangga (*trellis*), rectangular, radial, dan *annular* (Gambar 2.15). Dua pola lainnya, *multi-basinal* dan *concorded* juga dikelompokkan dalam pola dasar.



Gambar 2.15. Pola pengaliran dasar: *dendritic*, *parallel*, *trellis*, *rectangular*, *radial*, *annular*, *multi-basinal*, dan *contorted* (Howard, 1967)

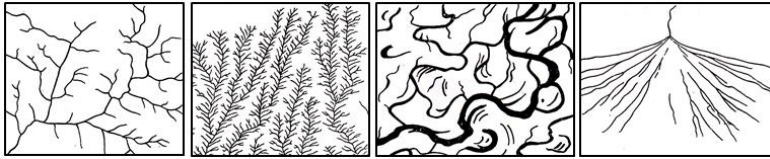
Pola-pola dasar modifikasi, walaupun kadang-kadang dikenal sebagai salah satu dari tipe dasar namun berbeda dalam karakteristik tertentu. Contoh, derajat kesejajaran dari sungai-sungai utama dalam wilayah pengaliran dendritik yang secara umum merupakan fungsi dari kemiringan regional. Pada kemencongan yang berbeda, kemungkinan peralihan dari pola dendritik ke paralel. Tipe peralihan juga dapat dihasilkan oleh perubahan waktu. Perubahan menuju kesejajaran dapat dihasilkan dari peningkatan keterjalan lereng yang progresif. Karakteristik *trellis* dapat muncul dalam pola dendritik sebagai perubahan posisi dari batuan yang tertutup menjadi tersingkap di permukaan. Peralihan di antara seluruh tipe tampaknya selalu memungkinkan.

Modifikasi pola dendritik terdiri atas pola pengaliran sebagai berikut (Gambar 2.16):

- 1) Subdendritik, pola ini berbeda dari tipe dendritik hanya dalam bentuknya yang kurang sempurna. Penyimpangan-penyimpangan kemungkinan berkaitan dengan kontrol regional bersifat sekunder, diantaranya struktur geologi atau topografi. Pada

cekungan Amazon yang telah dipelajari oleh Howard (1965; dalam Howard, 1967), pola dendritik disebabkan oleh ketidaksesuaian lapisan, berubah wujud menjadi pola *trellis* oleh penyesuaian anak-anak sungai terhadap arah perlapisan formasi di bagian bawah. Sepanjang hilir S.Yellow-Stone di Montana bagian timur, pengaliran dendritik berangsur berkembang menjadi *trellis* yang khas dipengaruhi oleh sistem yang miskin kekar (*poorly expressed joints*).

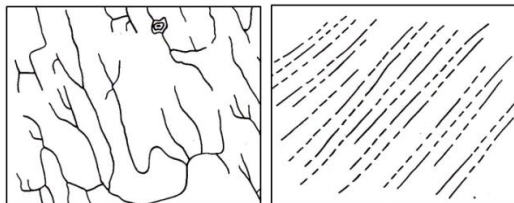
- 2) *Pinnate*, pola ini dicirikan oleh banyak celah yang saling menutup, anak-anak sungai hampir sejajar memasuki sungai-sungai besar pada sudut yang tajam. Pengaliran memiliki penampakan mirip bulu atau daun. Pola berkembang paling baik pada tekstur halus. Material mengalami erosi dengan mudah. Tekstur halus pada material mengakibatkan celah yang saling menutup dari anak-anak sungai kecil. Sisi-sisi lembah yang terjal merupakan penyebab aliran anak-anak sungai menjadi hampir sejajar. Pada beberapa lereng *solifluction* di Arctic, pola sungai ini hampir menoreh lereng landai dan meluas ke puncak batas air. *Solifluction* adalah gerakan bertahap dari tanah basah atau bahan lain ke bagian bawah lereng, terutama bila lapisan tanah bagian bawah (*subsoil*) yang beku bertindak sebagai penghalang untuk perkolasi air.
- 3) *Anastomotik*, pola ini dicirikan oleh jaringan saluran yang saling bersambungan (*interlocking channel*), paya, berteluk (*bayous*), dan danau tapal kuda. Pola ini ditemukan di dataran banjir, delta, dan daerah pasang surut. Keragaman pola antara lain *reticular* (Parvis, 1955; dalam Howard, 1967) dan *reticulate* (Whitehouse, 1944; dalam Howard, 1967).
- 4) *Distributary*, merupakan pola percabangan yang ditemukan di daerah aluvial dan delta. Pola ini mirip pola dendritik kecuali bahwa anak-anak sungai yang semula tersebar (*diverge*) selanjutnya menyatu atau memusat (*converge*) di sungai utama.



Gambar 2.16. Modifikasi pola dendritik: *subdendritic*, *pinnate*, *anastomotic*, dan *distributary* (Howard, 1967)

Modifikasi pola *parallel* terdiri atas (Gambar 2.17):

- i) *Subparallel*, pola ini menunjukkan kesejajaran yang kurang sempurna dibandingkan pola dasarnya. Jika hanya terkait dengan lereng, pola yang terbentuk mirip cabang-cabang pohon. Sebaliknya, jika terkait kontrol struktur geologi yang lemah akibat perlapisan terganggu oleh erosi yang relatif seragam, maka ada kesejajaran secukupnya antar segmen dari sungai-sungai utama dan anak-anak sungainya terhadap kontrol batuan dasar. Namun demikian, sungai-sungai pada umumnya menyimpang dari unsur struktur geologi. Sungai-sungai memanjang tidak menerus sepanjang arah perlapisan sebagaimana pola *trellis*.
- ii) *Collinear* dicirikan oleh sungai-sungai sejajar dan lurus, baik yang tidak tersingkap maupun yang tersingkap kembali (Zernitz, 1932; dalam Howard, 1967). Pola tersebut ditemukan di daerah bubungan pasir dan material lepas yang linier.

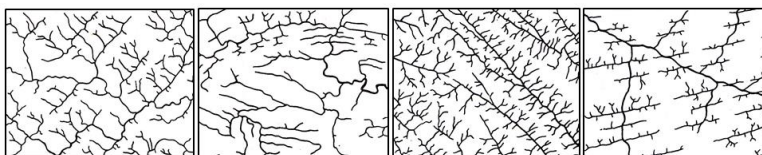


Gambar 2.17. Modifikasi pola paralel: *subparallel* dan *collinear* (Howard, 1967)

Modifikasi pola *trellis* adalah sebagai berikut (Gambar 2.18):

- a) *Subtrellis* berbeda dengan tipe *trellis* hanya dalam derajat kemenerusan dan kesejajaran pengaliran yang dominan. Perbedaan antara *subtrellis* dan *subparallel* merupakan penilaian secara umum.
- b) *Directional trellis* diberikan untuk modifikasi pola *trellis* dalam mana anak-anak sungai menuju panjang sungai *subsequent* yang konsisten lebih panjang pada satu sisi lembah daripada lainnya. Pola pada umumnya ditemukan di daerah terlipat yang memiliki *dip* landai, tetapi juga terjadi pada lereng landai dengan punggungan yang sejajar.
- c) *Recurved trellis*, modifikasi pola *trellis* dalam mana pola secara keseluruhan membentuk kurva mengelilingi ujung lipatan (*plunging fold*). Hal ini menjadi lebih sistematis dan rapi, biasanya dalam skala yang lebih besar dibandingkan pola terpilin (*contorted*) pada bentangalam metamorfik. Perbandingan panjang anak-anak sungai pada sisi sungai subsekuen yang bengkok, terutama di ujung lipatan, biasanya ada perbedaan antara antiklin dan sinklin menghujam. Arah arus anak sungai yang lebih panjang biasanya menandai arah kemiringan lapisan batuan (*dip*).
- d) *Fault trellis* telah dikaji oleh Dake & Brown (1925; dalam Howard, 1967) untuk perselingan *graben* dan *horst* atau rangkaian celah yang sejajar. Hal ini diuraikan sebagai ruang yang saling bersambungan (*closely space*) lebih sedikit dibandingkan pola *trellis* pada lapisan yang terlipat dengan kecenderungan ke arah pengaliran dendritik di antara sesar-sesar. Putaran sudut menganan juga sedikit umum. Di lembar San Mateo, di selatan San Fransisco, California, sungai-sungai dikontrol oleh sesar, walaupun jelas *parallel*, setempat menyimpang, memusat, cabang dan segmen antar sungai yang lebih luas menunjukkan dendritik, radial, atau pola pengaliran lainnya.

- e). *Joint trellis* merupakan pola *trellis* kekar kedua, dicirikan oleh ukuran yang pendek, sungai-sungai *parallel* yang luar biasa lurus, mungkin terkait dengan kesejajaran kekar-kekar, walaupun dapat pula mencakup sesar-sesar. Contoh yang baik ditemukan di Zion Park, Utah. Pola *trellis* terkekarkan berbeda dengan pola rektangular dalam hal kepemilikan satu unit yang didominasi oleh sungai-sungai sejajar.



Gambar 2.18. Modifikasi pola *trellis*: *directional trellis*, *recurved trellis*, *fault trellis*, dan *joint trellis* (Howard, 1967)

Modifikasi pola rektangular adalah pola *angulate*. Pola ini dicirikan oleh sejumlah kelokan bersudut tajam dan anak-anak sungai yang bercabang. Pada umumnya pola ini ditemukan di daerah yang memiliki kumpulan kekar menindih tatanan rektangular. Mungkin ada dua sistem rektangular yang saling menindih dengan orientasi berbeda. Penjajaran pengaliran dengan jelas mengindikasikan satu sistem rektangular dengan unsur beroorientasi agak utara-selatan dan timur-barat, dan sistem yang lain berorientasi timurlaut-baratdaya dan baratlaut-tenggara.

Contoh adanya kontrol kekar ditemukan di French Guiana. Beberapa tatanan kekar-kekar yang berhubungan memberikan suatu pola geometris untuk pengaliran dan topografi. Pola ini telah dikenalkan sebagai "sarang lebah" (*honeycomb*) oleh Zonneveld dkk (1952; dalam Howard, 1967). Pola geometrik lainnya, pada skala yang lebih kecil ditemukan di daerah *permafrost*. Baji - baji es mencair

di sekitar tepi butiran tanah. Pola ini yang terbaik diuraikan sebagai poligonal.

Centripetal merupakan modifikasi dari pola radial. Pola ini dimodifikasi dari pola radial dalam mana sungai-sungai mengalir menuju pusat depresi. Pola ini biasanya berasosiasi dengan kawah, kaldera, dan beragam depresi yang luas.

Pada prinsipnya pola multibasinal terjadi dalam daerah erosi dan pengendapan glasial, erosi dan pengendapan karena angin, pelarutan, dan *permafrost*. Pola ini juga ditemukan di daerah vulkanik aktif dan daerah longsor. Ada banyak modifikasi pola, bahkan dalam daerah yang sama. Di daerah bersalju, mayoritas depresi mungkin besar atau kecil, celah yang saling bersambungan atau tersebar secara luas, dan pengaliran dapat menunjukkan sejumlah variasi pengintegrasian. Di daerah berpasir, sejumlah depresi menampilkan keragaman dalam bentuk dan ukuran sesuai dengan karakteristik bukit-bukit pasir di mana mereka terbentuk, dan dapat juga menampilkan sejumlah tertentu pengaliran yang terintegrasi. Pola ini selanjutnya saling menutup menyerupai pola pengaliran di daerah morainal.

Pada daerah vulkanik, depresi termasuk kawah dan kaldera, lembah-lembah yang terbenjung lava, *interflow basins*, gua atau terowongan lava yang runtuh. Dalam banyak lapangan lava, penurunan besar yang tampak pada peta topografi lebih sedikit dibandingkan daerah morainal atau berpasir. Di daerah longsor, penurunan-penurunan ditemukan di belakang blok runtuh yang terputar, dalam kawasan yang porak poranda akibat longsor, atau di mana pengaliran terhalang. Pola multibasinal ini biasanya mencakup daerah yang kecil.

Pola multibasinal jarang muncul dengan sendirinya baik proses maupun material. Pola terbentuk oleh proses yang berbeda mungkin juga mirip. Suatu daerah *outwash* di Minnesota digambarkan oleh Cooper (1935; dalam Howard, 1967) sangat mirip untuk bentangalam

cekungan pelarutan (*solution-pan*) yang merupakan bagian dari Florida. Pola multibasinal dalam daerah moraine, bukit-bukit pasir, batugamping, aliran lava terbaru, tanah longsor, dan *permafrost* dapat menyerupai satu sama lain.

Beberapa terminologi genetika telah diusulkan untuk variasi pola multibasinal, diantaranya pola *glacially disturbed*, *deranged*, *kettle hole*, *swallow hole*, *karst*, dll. Jika ada keraguan untuk genesis, pola sebagai acuan terbaik hanya multibasinal. Pola multibasinal dapat terjadi sebagai akibat:

- (1) Depresi yang berkisar dari lubang kecil yang tepinya terjal, banyak diantaranya berupa lingkaran, membesar, dalam, hingga berupa cekungan-cekungan seperti lembah yang tidak beraturan;
- (2) Beberapa lajur depresi; dan
- (3) Sungai-sungai yang menghilang kemudian muncul kembali, dikenal sebagai suatu *swallow-hole* atau pola karst.

Pola multibasinal juga dapat berasosiasi dengan kehadiran lelehan bunga es (*permafrost*), sebagai *polygonal ground and beaded drainage*, mungkin ditunjukkan sebagai *thermokarst* (Muller, 1943; dalam Howard, 1967). Parvis (1950; dalam Howard, 1967) menyarankan nama *elongate bay* untuk pola multibasinal dalam mana depresi cukup luas, bentuk elip, dan paralel. Pola ditemukan di dataran pantai dan daerah delta yang telah memiliki beragam sifat akibat benturan meteorit, pelarutan, segmentasi laguna pada posisi yang lebih tinggi dari laut, dan pada lahan bersalju yang telah mencair. Istilah deskriptif *elongate bay* sesuai untuk pola ini.

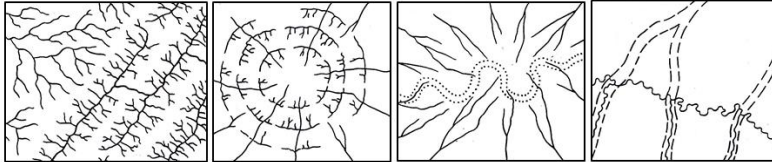
Zernitz (1932; dalam Howard, 1967) mengusulkan istilah kompleks untuk sekumpulan pola yang tidak sama sebagai refleksi kontrol struktur geologi yang berbeda di daerah terkekarkan. Parvis (1950; dalam Howard, 1967) mengusulkan istilah *anomalous* untuk pola-pola kompleks yang ditemukan di kawasan bermaterial dan topografi berbeda. Istilah kompleks dan *anomalous* sudah diterapkan

untuk situasi yang sebagian serupa dan sebagian lagi berlainan. Oleh karena istilah kompleks diprioritaskan, seharusnya ditetapkan dengan lingkungannya yang diperbesar meliputi semua pola yang mewakili suatu kumpulan pola berdampingan yang berlainan dalam kaitan dengan struktur, material, dan atau perbedaan dalam topografi. Pola yang kontras berkaitan dengan perbedaan corak struktural. Contoh, perbedaan pola yang disebabkan oleh perbedaan topografi pada material serupa adalah pola multibasinal morena dan pengaliran subparalel dari topografi Drumlin.

Istilah *compound* diterapkan oleh D.W. Johnson untuk pengaliran yang terdiri dari dua atau lebih pola sejenis dalam kawasan sama. Contohnya kombinasi dari pola radial dan anular yang dicirikan oleh banyak kubah. Pola multibasinal dan dendritik secara umum dipertautkan dalam kawasan dimana sungai-sungai sudah memotong lembah menjadi formasi yang relatif tidak dapat larut di bawah lubang pelarutan suatu formasi batugamping. Depresi dibatasi penutup batugamping yang membatasi antar sungai. Suatu kombinasi pola yang serupa diakibatkan oleh pengintegrasian sebagian pengaliran di daerah morena.

Pola *palimpsest*, suatu pengaliran yang dikalahkan berumur lebih tua atau bentuk pola sungai sebagai latar belakang untuk pola sekarang. Contoh di dataran pantai bagian barat Taiwan, pola pengaliran saat ini adalah radial. Sedikit kelihatan melalui persawahan adalah suatu saluran berkelok-kelok yang kehadirannya ditandai oleh ukuran sawah yang lebih kecil. Saluran berkelok hadir memotong topografi yang rendah membesar ke arah puncaknya. Dengan jelas, topografi tinggi tidaklah disajikan ketika sungai berkelok-kelok yang tampak telah diblokkan oleh munculnya objek lengkung pada pengaliran radial yang kini hadir. Kondisi ini menunjukkan deformasi aktif lain hadir di dataran pantai, sebagai indikasi ketidakstabilan P.Taiwan secara keseluruhan, atau tatanan berbeda di atas topografi tinggi yang terpendam, atau justru keduanya. Contoh di Indonesia

terdapat di S.Citarum yang dibayangi oleh pola lama aliran S.Cimeta di wilayah Padalarang, Kabupaten Bandung Barat.

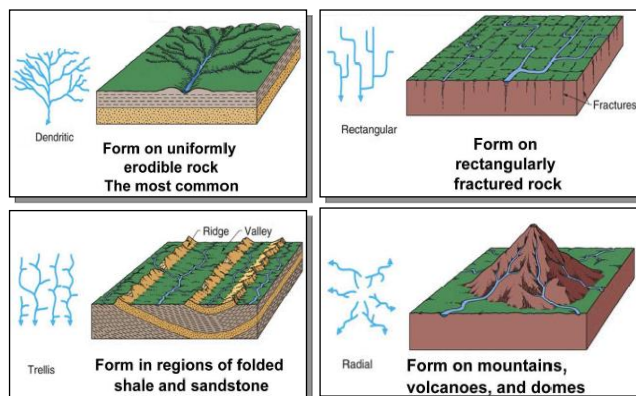


Gambar 2.19. Pola *complex*, *compound*, dan *palimpsest*

Ada beberapa pola pengaliran yang memasukkan jejak-jejak yang lebih tua, tetapi tidak seperti pola yang khas untuk *palimpsest*. Sisa-sisa alur sungai asli biasanya banyak ditemukan di daerah dengan aktivitas angin dan glasial, gangguan yang kompleks, pensesaran dan pembelokan terbaru.

Keragaman pola berbeda dari pola dasar dan pola modifikasi dalam perincian internal. Pola-pola tersebut pada umumnya menyediakan informasi geologi yang penuh manfaat. Perbedaan regional, seperti kontras kepadatan pengaliran, bukan mencirikan variasi. Suatu pola dendritik dapat diharapkan ditemukan di serpih dibanding dalam batupasir, dan pola *trellis* pada batuan sedimen yang berlapis lebih halus dibandingkan pada perlapisan sedimen yang tebal.

Pola pengaliran dapat bertekstur halus, menengah atau kasar. Perbedaan pola dalam tekstur dapat mencirikan variasi. Oleh karena itu, pola dendritik dalam suatu daerah di mana perlapisan batupasir tebal dan horisontal serta serpih tersingkap di lereng dapat menampilkan tekstur kasar dalam batupasir dan tekstur lebih halus dalam serpih. Pola tersebut berzona secara tekstural (*texturally zoned*).



Gambar 2.20. Berbagai pola pengaliran dan asosiasi batumannya
(McGraw-Hill, 2003)

Variasi lain pola dendritik, banyak sungai secara konsisten semakin dekat menuju satu sisi lembah. Dalam lembar Leaven (Kansas-Missouri), sungai-sungai biasanya berarah barat atau timur pada lereng selatan yang lebih curam menyayat ke arah utara. Pola dendritik terutama pada batuan sedimen berlapis horisontal atau berkemiringan. Batuan kristalin memiliki tingkat ketahanan yang seragam, tetapi lembah asimetri memberikan gangguan tambahan seperti kemiringan landai berarah selatan, pergerakan aktif, atau perbedaan derajat erosi pada lereng-lereng lembah berkaitan dengan arah singkapan. Bahwa asimetri bukanlah berkaitan dengan pembelokan sungai sebagai hasil perputaran terestrial. Faktanya lereng yang curam pada sisi kiri beberapa sungai dan pada sisi kanan bagian lainnya.

Variasi lain dari pola dendritik, khususnya untuk daerah yang tersusun oleh btuan granitik, menampilkan sejumlah kurva mirip sabit (*sicklelike curves*). Kondisi ini sebagai hasil pembelokan sungai-sungai di sekitar tubuh granit yang relatif tidak terkekarkan (masif) atau

batuan yang resisten. Variasi yang dapat diperbandingkan ditemukan pada setiap pola dasar maupun pola modifikasi. Studi seksama yang berawal dari pola regional dapat mengungkapkan informasi berharga yang tak terduga. Analisis variasi pengaliran dan anomali pengaliran menghadirkan tantangan unik bagi geolog.

Tekstur pengaliran mengacu pada jarak relatif garis-garis pengaliran tanpa memperhatikan pemilikan sungai-sungai perenial. Istilah halus, menengah, dan kasar biasanya digunakan dalam arti relatif untuk menandai jarak. Tekstur halus muncul bila ada tingkat percabangan tinggi garis-garis pengaliran sebagai hasil suatu jaringan padat yang menyertakan banyak sekali sungai kecil. Tekstur halus khas untuk lempung, serpih, lanau, dan material lain yang kedap air. Tekstur kasar, ditunjukkan oleh tingkat percabangan yang kecil, sungai-sungai relatif lebih panjang, lembah-lembah terpisah jauh. Tekstur kasar khas untuk material *permeable* misalnya pasir, kerikil, dan batuan yang lapuk menjadi fragmen kasar. Tekstur menengah berada di antara kedua hal ekstrim tersebut.

Penggunaan terminologi *textural* tanpa klarifikasi adalah tidak bijaksana, tidak hanya pemahaman tiap orang berbeda tetapi disebabkan pula oleh variasi tekstur yang terkait dengan skala. Klasifikasi telah dibuat untuk menyatakan tekstur secara kuantitatif berdasarkan jumlah (frekuensi sungai) dan total panjang (kepadatan pengaliran) garis-garis pengaliran per unit luas (Horton, 1945; Smith, 1950; Howard, 1967; Sukiyah, 2009). Determinasi secara kuantitatif dari tekstur melibatkan prosedur dan memerlukan banyak waktu dan tenaga, menghasilkan derajat akurasi yang lebih baik untuk penyelesaian geologi. Tekstur pengaliran dipengaruhi oleh:

- 1) Faktor-faktor yang dikendalikan oleh iklim seperti jumlah dan distribusi presipitasi, vegetasi, dan *permafrost*;
- 2) Karakteristik batuan, mencakup tekstur dan ukuran fragmen yang dihasilkan oleh proses pelapukan;

- 3) Kapasitas infiltrasi;
- 4) Topografi; serta
- 5) Tahapan dan jumlah siklus erosi.

Secara lokal, faktor-faktor iklim, topografi, tahapan dan jumlah siklus erosi mungkin dianggap tetap, sedemikian sehingga variasi tekstur dapat menyatakan perbedaan karakteristik batuan dan kapasitas infiltrasi.

Pada sedimen lepas, tekstur pengaliran terkait secara langsung dengan ukuran butir. Pada lereng yang sama, sungai-sungai kecil dapat dengan mudah menggerakkan partikel lempung dan lanau sehingga saluran-saluran kecil berkembang. Sementara itu, pada sungai yang lebih besar partikel halus terakumulasi dalam basin yang lebih besar, diperlukan energi yang lebih besar untuk memindahkan pasir dan kerikil. Selanjutnya, saluran-saluran jadi terpisah lebih lebar. Schumm (1956) melaporkan, suatu daerah pengaliran minimum tertentu diperlukan untuk memelihara suatu saluran sungai pada daerah dengan litologi yang seragam dan struktur yang sederhana. Ia menyatakan secara kuantitatif sebagai pemeliharaan saluran yang konstan, yang mana secara aktual mencerminkan tekstur.

Di daerah berbatuan keras, ukuran fragmen yang tertransportasi merupakan faktor yang menentukan. Pergerakan blok berukuran besar biasanya memerlukan arus lebih besar dibanding arus yang diperlukan untuk memindahkan fragmen berukuran kecil, jika tidak ada gradien sungai yang signifikan. Tekstur pengaliran di daerah batuan granit, dapat terbentang dari halus dalam zona terkekarkan yang bersambungan dan kasar dalam mana kekar-kekar terpisah secara lebar. Pada lereng yang sangat landai dalam iklim lembab, pelapukan cukup intensif dapat menghasilkan tanah bertekstur halus dengan mengabaikan sumber tipe batuan. Reruntuhan bertekstur halus, biasanya mempengaruhi tekstur hanya pada bagian dari sistem pengaliran yang tidak tererosi sampai selubung permukaan.

Kapasitas infiltrasi, tingkat di mana air meresap ke dalam tanah, tergantung pada besarnya derajat permeabilitas. Endapan pasir dan kerikil sebagai hasil dari pengkekanan bersifat *permeable*, siap menyerap presipitasi. Pada umumnya mempunyai sedikit sungai di permukaan dan ditampilkan sebagai tekstur pengaliran kasar. Pola lebih halus pada lereng yang terjal, di mana percepatan aliran menghasilkan pengurangan infiltrasi dan aliran permukaan yang lebih besar. Lempung dengan kapasitas infiltrasi yang rendah, memiliki sejumlah besar aliran permukaan dan jaringan pengaliran permukaan yang padat.

Vegetasi dengan akar penyerapnya mengalasi tanah, memperlambat aliran permukaan dan mengurangi perkembangan sungai-sungai kecil. Oleh karena itu, tekstur pengaliran di daerah beriklim lembab pada umumnya lebih kasar pada lereng bervegetasi lebat daripada pada lereng yang tandus.

Beberapa endapan kerikil menampilkan tekstur pengaliran menengah atau bahkan halus. Kerikil seperti itu mungkin memiliki kandungan “bahan halus” yang tinggi, yaitu material yang dapat mengurangi permeabilitas. Kemungkinan lain terdapat pada lereng terjal, sebagai teras lereng yang curam atau lereng dengan *dip* tinggi di mana percepatan aliran yang besar cukup untuk mengontrol aliran permukaan. Tekstur pengaliran dapat bervariasi dalam batas-batas pola pengaliran tunggal tergantung pada tersingkapnya batuan secara alami. Kecenderungan di alam, batas antara zona tekstural seharusnya dapat membantu dalam korelasi unit-unit batuan dari suatu cekungan pengaliran.

Penerapan istilah untuk pola-pola pengaliran bersifat menjelaskan keberadaanya dan kebanyakan pola sudah dikenal dengan baik. Beberapa pola sungai secara tersendiri menunjukkan karakteristik pola pengaliran secara keseluruhan dan disebut dengan nama yang sama (Johnson, 1932; dalam Howard, 1967). Oleh karena itu, sebuah sungai yang tampak berkelok membentuk sudut, dapat

disebut sebagai rektangular; bila sudut yang lain tajam maka disebut *angulate*; dan bila sudut memutar dikenal sebagai *contorted*. Implikasi geologi dari pola sungai ini bersesuaian dengan pola pengaliran.

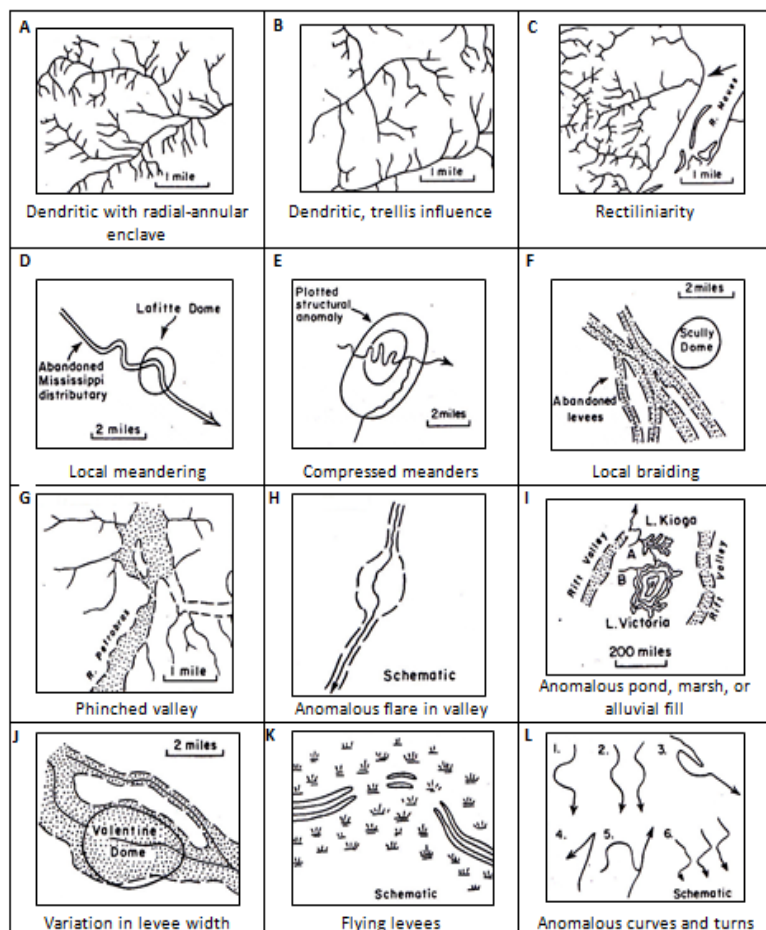
Perbedaan lain pola sungai adalah pola yang tidak teratur dicirikan oleh kehadiran kontrol struktur atau topografi. Pola *rectilinear* dengan jangkauan lurus yang tidak normal, pada umumnya mengindikasikan kontrol struktur. Pola *meandering* mengindikasikan kemampuan bagian sungai untuk melakukan muatan dasar yang tersedia (Leopold and Wolman, 1957; dalam Howard, 1967); dan pola menganyam mengindikasikan ketidakmampuan dalam mengelola muatan dasar. Pengontrol *meandering* dan *braided* diperkirakan karena ada perbedaan secara lokal dalam tekstur material yang masuk ke dalam sungai dan dapat mencirikan keragaman material. Sungai-sungai yang bermeander tidak sempurna (*misfit meandering streams*) dalam mana ukuran kelokan-kelokan tidak sesuai dengan sodetan kelokan tersebut atau limpasan dataran banjir, kemungkinan adanya perubahan iklim atau geologi. Pola sabit (*sickle*) menampilkan beberapa kurva lengkung dan merupakan hal umum dalam daerah dengan batuan dasar plutonik dan migmatit. Pola *barbed* mengindikasikan kerusakan yang lain atau kehadiran kekar-kekar, sesar atau lapisan batuan yang lemah cenderung miring memotong bagian sungai. Istilah “beaded” telah diterapkan untuk sungai-sungai sepanjang subarctic yang hadir dengan interval tidak teratur. Rangkaian bendungan memberikan pola tiruan, seperti halnya pada skala yang lebih besar, pada rangkaian danau-danau es.

Pola *spatulate*, yang dapat dimasukkan dalam *beaded*, tetapi cukup untuk membedakan keabsahan secara terpisah. Pada intinya, ini terdiri atas bagian lembah yang berubah menjadi lebar dan memanjang. Pola ditunjukkan oleh beberapa lembah, misalnya Aragva, saluran di selatan Caucasus di Rusia bagian selatan. Aragva dan sungai-sungai intermitennya melalui batuan sedimen berumur Kapur yang lemah dan resisten (Renngarten, 1937; dalam Howard, 1967). Sungai-

sungai yang terbatas berjajar, di mana batuan karbonat yang lebih resisten dari Kapur Atas berkurang ke arah sungai dalam lembah sinklin, tetapi berkelok dalam jangkauan yang terbuka lebar di bagian yang lebih lemah. Sandy-argillaceous merupakan sedimen berumur Kapur yang lebih bawah sebagai inti antiklin. Barisan dan jangkauan memiliki rentang dari 0,5 – 2 mil atau lebih. Pola yang umum ditemukan dalam lipatan terbuka, dengan lebar segmen memanjang terjadi pada interval yang seragam sepanjang lembah.

Pola *spatulate* lainnya mungkin tidak punya arti struktural. Pola *spatulate* ditunjukkan oleh Sungai Missouri di Montana bagian timur dan Dakota Utara bagian barat berasal dari *glacial* (Howard, 1958; dalam Howard, 1967). Celah Missouri memiliki lebar mencapai 1 mil; daerah yang terkontaminasi lebarnya dapat melebihi 4 mil. Batas-batas segmen menghadirkan alur tepi es yang memotong batas-batas terdahulu, sedangkan segmen yang memanjang dan lebar menghadirkan bagian-bagian dari lembah-lembah *pra glacial*. Pola tidak teratur dalam mana segmen-segmen yang lebar diwariskan, berasal dari pola yang cenderung berlawanan untuk muka es. Segmen yang lebar tersebut sangat bervariasi dalam orientasi dan distribusi yang tidak teratur sepanjang lembah sekarang.

Anomali dalam pola pengaliran dan pola sungai secara tersendiri telah menjadi bahasan yang menarik. Hal ini memiliki arti penting tertentu di daerah pedataran. Analisis pola pengaliran dapat menyediakan kunci untuk jejak-jejak struktur yang tidak terdeteksi oleh metode lain.



Gambar 2.21. Pola-pola anomali, diantaranya: A,B,C, G (Amazon basin); E (Kent County, Texas); D, F, J (Louisiana); K (Louisiana); I (East Africa); H, L (contoh umum) (Howard, 1967)

Anomali pengaliran dapat dijelaskan sebagai penyimpangan lokal dari pola pengaliran regional dan pola sungai yang di tempat lain selaras dengan struktur regional atau topografi yang dikenal. Pola yang dapat diharapkan sebagai norma (DeBlieux, 1949; dalam Howard, 1967), dan penyimpangan adalah anomali. Pergantian dari bagian lembah yang lebar dan batas-batas menyempit sepanjang sungai-sungai melintang di daerah dengan struktur terdiri atas batuan resisten dan terlipat lemah merupakan sesuatu yang normal, sebagai mana mirip sabit melengkung dalam daerah granit. Bagaimanapun juga, dalam banyak lingkungan geologi lainnya fenomena ini merupakan anomali. Istilah anomali dianjurkan untuk penyimpangan topografi atau struktural setempat. Banyak pola-pola gabungan, contohnya wilayah kecil dari suatu pola dalam pola yang lain, dibanding dua pola bersebelahan dalam skala yang sama. Suatu ilustrasi kejadian lokal dari pola anular dan radial dalam pola dendritik secara regional. Variasi dan modifikasi pola juga melibatkan sejumlah anomali. Contoh kesejajaran setempat dari sungai-sungai dalam pola dendritik. Banyak anomali dapat dipetakan sepanjang sungai.

Rectilinearity memiliki ciri-ciri berukuran panjang, segmen sungai merupakan garis lurus, terutama sekali jika memotong sejajar membagi segmen lurus sungai-sungai lainnya. Hal ini dianggap suatu anomali jika pola regional adalah selain dari rektangular, *angulate* atau *fault-trellis*. Fenomena ini mengindikasikan suatu retakan, vein, atau dike yang mudah tererosi.

Pola anomali lainnya adalah jalinan alur yang terlokalisasi dan kasar (*abrupt and localized braiding*), kasar dan setempat menampilkan kelokan (*abrupt and localized appearance of meanders*). Deblieux (1949; dalam Howard, 1967) telah menguraikan suatu anomali sungai yang menarik di ladang minyak Lafitte di Jefferson Parish, sekitar 15 mil selatan New Orleans. Saluran S.Mississippi ditinggalkan terlantar tersebar relatif lurus dan sederhana untuk beberapa mil ke hulu dan ke arah muara dari kubah garam Lafitte.

Pada kubah, dua kurva mirip meander hadir. Gangguan pola normal kemungkinan berkaitan dengan pengurangan gradien sungai di bagian hulu disebabkan oleh kehadiran kubah sepanjang alurnya.

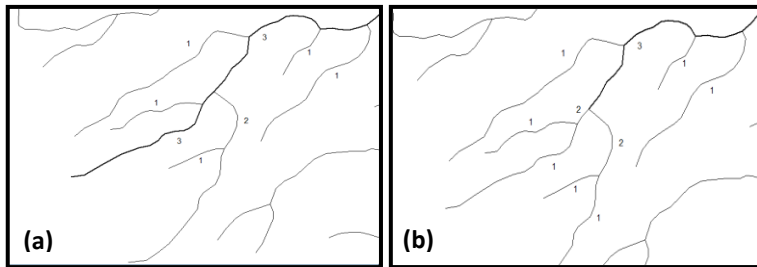
Kelokan-kelokan tertekan (*compressed meanders*) – DeBlieux dan Shepherd (1951; dalam Howard, 1967) telah menjelaskan pola sungai dalam mana beberapa kelokan dari suatu rangkaian berlanjut dan tampak mengalami tekanan, termampatkan, dan tertoreh. Anomali sepanjang Double Mountain Fork dari S.Brazos di Kent County, Texas. Pada lokasi suatu anomali struktural ditunjukkan. Tidak ada penjelasan anomali yang dikemukakan. Mc Kenzie Creek, anak sungai berasal dari selatan, menampilkan suatu kurva aneh yang kelihatannya dipengaruhi oleh kubah.

DeBlieux (1949; dalam Howard, 1967) melaporkan tampilan jalinan alur secara lokal dan kasar di kubah garam Scully dalam sebaran yang terlantar dari Bayou Lafourche, kira-kira 30 mil barat daya New Orleans. Jalinan alur biasanya menandai adanya ketidak-mampuan arus sungai untuk mengangkut muatan dasarnya (Leopold dan Wolman; dalam Howard, 1967). Ketidak-mampuan dapat diakibatkan oleh adanya beban yang lebih kasar secara lokal dibanding kemampuan arus sungai untuk menanganinya, hilangnya volume akibat peningkatan setempat di bawah aliran, kehilangan kecepatan akibat penurunan gradien (mungkin oleh kemunculan struktur), atau beberapa faktor geologi dan hidrologi lainnya.

Jalinan alur mengakibatkan perataan gradien (DeBlieux; dalam Howard, 1967). Kehadiran anomali serupa pada sungai yang berdekatan dapat menggambarkan deliniasi zona berperilaku ganjil dan memberikan informasi penyebabnya. Hubungan perkelokan dan pola menganyam memberikan deliniasi batas-batas formasi. Fenomena yang sama ditandai oleh variasi yang lebih sulit dipisahkan pola sungainya (Tator, 1954; dalam Howard, 1967), seperti variasi berzona dalam kepadatan pengaliran dalam pola pengaliran lainnya.

2.3.2.2 Orde Sungai

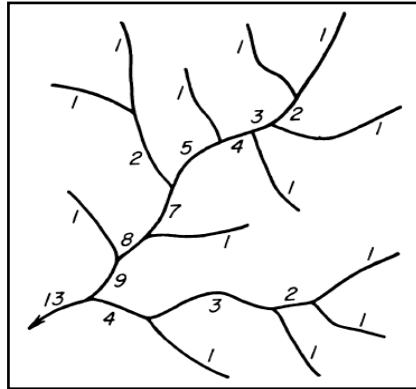
Ada beberapa metode dalam penetapan orde aliran, diantaranya metode Horton (1945), metode Strahler (1954), dan metode Shreve (1967). Dalam metode Horton (Gambar 2.22, a) tampak bahwa sungai orde 1 berawal dari mata air dan berakhir pada pertemuan dengan sungai berikutnya. Segmen sungai orde 1 bila bertemu dengan orde 1 lagi maka akan menjadi sungai orde yang lebih tinggi. Di bagian akhir penetapan orde dievaluasi kembali. Alur sungai menggunakan orde tertinggi yang telah ditetapkan sebelumnya.



Gambar 2.22. Penetapan orde segmen sungai menggunakan metode Horton (a) dan Strahler (b)

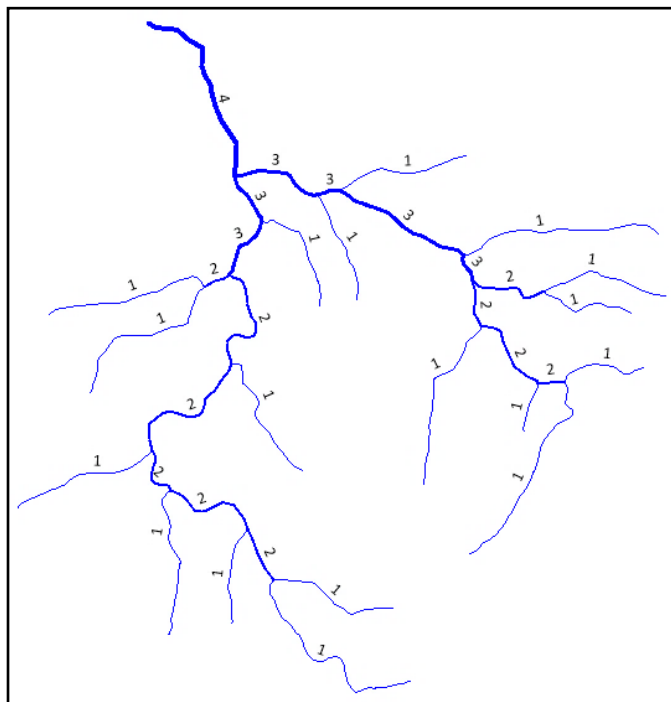
Berbeda dengan metode Horton, penetapan orde metode Strahler (Gambar 2.22,b) lebih rinci. Setiap orde mencerminkan segmen sungainya. Sungai orde 1 bertemu dengan sungai orde 1 akan menjadi orde 2. Sungai orde 2 bertemu dengan sungai orde 2 menjadi sungai orde 3, dan seterusnya. Namun, bila sungai orde 2 bertemu dengan sungai berorde 1 maka orde sungai tetap. Demikian seterusnya, jadi orde sungai akan tetap jika bertemu segmen sungai yang ordenya lebih rendah. Sementara itu, metode Shreve menetapkan orde sungai lebih rinci lagi. Setiap cabang sungai dianggap sangat penting. Orde 1 dengan orde 1 menjadi orde 2, orde 2 bertemu

dengan orde 1 menjadi orde 3, dan seterusnya. Tampak terjadi penjumlahan orde setiap bertemu percabangan (Gambar 2.23).



Gambar 2.23. Penetapan orde segmen sungai menggunakan metode Shreve (1967)

Sukiyah dan Mulyono (2007), Sukiyah (2009), Sukiyah dkk (2010), Sudradjat dkk (2010), Sukiyah dkk (2012a), Sukiyah dkk (2012b), Sulaksana dkk (2013), Sukiyah dan Sjafrudin (2014), Sukiyah dkk (2015), dan Sukiyah dkk (2016) memodifikasi cara pemberian orde segmen sungai dari Strahler (1954). Pada metode ini, jika orde 1 bertemu dengan orde 1 menjadi orde 2, orde 2 bertemu dengan orde 2 menjadi orde 3, dan seterusnya. Jika orde yang lebih rendah memotong segmen sungai yang ordenya lebih tinggi, maka orde sungai yang lebih tinggi tidak berubah tetapi terbagi menjadi 2 segmen. Jika ada 2 segmen sungai berorde lebih rendah yang memotong, maka orde yang dipotong terbagi menjadi 3 segmen, dan seterusnya. Hal ini yang membedakan dengan sistem orde sungai dari Strahler (1954) seperti tampak pada Gambar 2.24.



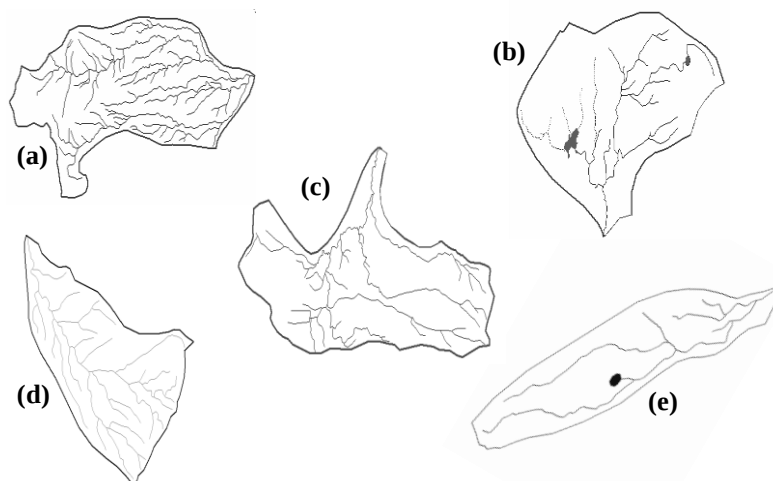
Gambar 2.24. Ilustrasi penetapan orde sungai berdasarkan metode segmentasi. Tampak sungai orde 1 (18 segmen), orde 2 (10 segmen), orde 3 (6 segmen), dan orde 4 (1 segmen).

Metode segmentasi dalam penetapan orde sungai lebih mendekati pada alasan secara geologi. Dimana, retakan-retakan yang muncul di permukaan lambat laun akan berkembang menjadi sungai. Retakan-retakan tersebut biasanya berasosiasi dengan kekar-kekar, bidang sesar dan unsur struktur geologi lainnya. Semakin banyak suatu orde sungai tersegmentasi, maka semakin tinggi intensitas tektoniknya, dibandingkan orde sungai yang sedikit tersegmentasi.

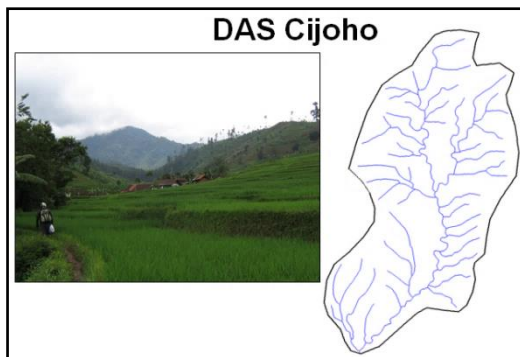
Penetapan orde untuk setiap segmen sungai sangat penting. Di samping untuk penilaian secara kualitatif yang dapat menunjukkan perkembangan sungai, juga penting dan harus dilakukan sebelum melakukan analisis kuantitatif yang lebih rinci.

2.3.2.3 Luas dan Bentuk DAS

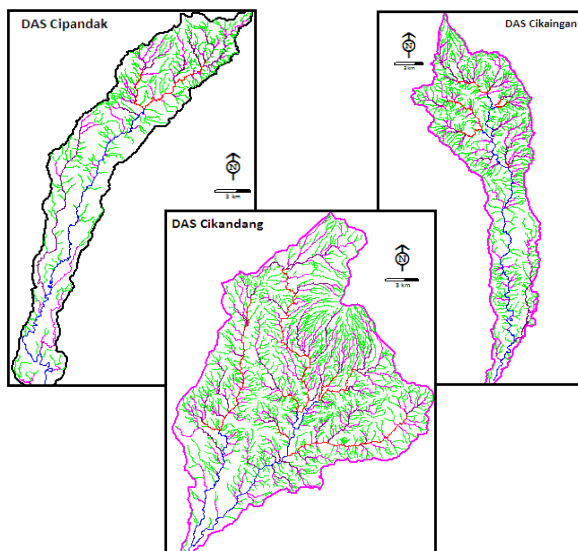
Sosrodarsono dan Takeda (1987) membagi bentuk DAS dalam 4 kategori, yaitu bentuk bulu burung, bentuk menyebar menyerupai kipas atau lingkaran (radial), bentuk sejajar (paralel) dan bentuk kompleks. Masing-masing bentuk DAS variasinya juga beragam (Gambar 2.25, 2.26, dan 2.27).



Gambar 2.25. Beragam bentuk DAS yang terdapat di kawasan hulu S.Citarum, paralel (a), kompleks (b), kipas (c), bulu burung (d,e)



Gambar 2.26. DAS Cijoho di wilayah Wangisagara, Majalaya, Kabupaten Bandung.



Gambar 2.27. DAS Cipandak, DAS Cikandang, serta DAS Cikaingan di wilayah Jawa Barat Selatan (Sukiyah dkk, 2012a).

Pada Gambar 2.27 tampak DAS Cipandak berbentuk bulu burung di perbatasan wilayah Cianjur-Garut selatan. DAS Cikandang yang terdapat di wilayah Garut selatan berbentuk sangat kompleks dengan variasi pola pengaliran yang beragam. Sedangkan DAS Cikaingan di perbatasan Garut-Tasikmalaya selatan menunjukkan bentuk bulu burung yang unik (Sukiyah dkk, 2012a).

Lebar suatu DAS dapat diukur menggunakan alat ukur pada media peta topografi. Di samping itu, perhitungan lebar DAS dapat pula menggunakan rumus seperti ditampilkan dalam formula (2.3). Cara perolehan variabel terkait dengan perhitungan lebar maksimum DAS ditampilkan dalam Gambar 2.26. Satuan tiap variabel dibuat setara dalam sistem MKS.

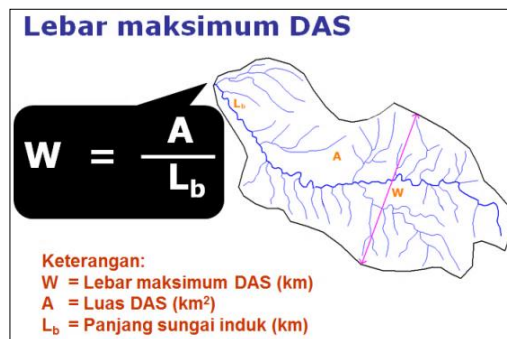
$$W = \frac{A}{L_b} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan

W = Lebar maksimum DAS (km)

A = Luas DAS (km²)

L_b = Panjang sungai induk (km)



Gambar 2.28. Cara pengukuran variabel dan perhitungan lebar DAS

Bentuk DAS dapat dinilai, baik secara deskriptif melalui bentuk visual maupun secara numerik dengan pendekatan kuantitatif. Penilaian bentuk DAS secara kuantitatif menggunakan formula (2.4) sebagai berikut:

$$F = \frac{A}{L^2} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dengan F = koefisien corak, A = luas DAS (km²), dan L=panjang sungai utama (km). Makin besar harga koefisien corak (F), maka semakin luas daerah pengaliran tersebut.

2.3.2.4 Tekstur, Kerapatan, dan Frekuensi Pengaliran

Tekstur pengaliran (*drainage texture*) merupakan jarak rata-rata relatif antar alur pengaliran. Tekstur pengaliran dapat dikelompokkan menjadi 3 kelas, yaitu:

- 1) Tektur kasar, di mana aliran sungai relatif jarang, infiltrasi air tinggi, *run off* rendah, porositas batuan bagus;
- 2) Tekstur sedang, dicirikan oleh aliran sungai relatif agak rapat, infiltrasi air sedang, *run off* sedang, porositas batuan sedang;
- 3) Tekstur halus, dicerminkan oleh aliran relatif rapat, infiltrasi air rendah, *run off* tinggi, porositas batuan buruk.

Pengaliran juga dapat dianalisis melalui variabel kerapatan pengaliran, frekuensi, dan beragam rasio terhadap segmen sungai orde tertentu. Kerapatan pengaliran (*drainage density*) merupakan perbandingan antara panjang total segmen sungai terhadap suatu luasan tertentu. Semakin besar nilai kerapatan pengaliran, maka semakin banyak aliran di permukaan. Batuan bersifat kedap pada kedalaman tertentu. Penyebab lainnya adalah adanya kontrol tektonik pada suatu wilayah. Semakin kuat kontrol tektonik, maka batuan mengalami deformasi sehingga menjadi mudah retak dan tergerus

oleh aliran permukaan membentuk alur-alur sungai. Perhitungan kerapatan pengaliran menggunakan formula berikut ini:

$$D_d = \frac{\sum L}{A} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan D_d = Kerapatan alur (km/km^2), $\sum L$ = Panjang sungai kumulatif (km) dan A = Luas basin (km^2).

Nilai kerapatan pengaliran dapat dikelompokkan agar mudah untuk interpretasi. Klasifikasi tekstur bentangalam berdasarkan kerapatan pengaliran (D_d) pada bentangalam vulkanik berumur Kuartar (Sukiyah, 2009) ditampilkan dalam Tabel 2.3. Klasifikasi tersebut diperoleh berdasarkan hasil penelitian di wilayah Citarum bagian hulu, Bandung Selatan, Jawa Barat.

Tabel 2.3. Klasifikasi tekstur bentangalam berdasarkan kerapatan pengaliran (D_d) pada bentangalam vulkanik Kuartar (Sukiyah, 2009)

No	Tekstur	D_d (km/km^2)
1	Sangat kasar	0,00 s/d 1,37
2	Kasar	1,38 s/d 2,75
3	Sedang	2,76 s/d 4,13
4	Agak halus	4,14 s/d 5,51
5	Halus	5,52 s/d 6,89
6	Sangat halus	6,90 s/d 8,27

Lynsley dkk (1975) menyatakan bahwa jika nilai kepadatan aliran lebih kecil dari 1 mil/mil² atau setara dengan 0,62 km/km^2 , maka DAS akan mengalami penggenangan. Sedangkan jika nilai kerapatan aliran lebih besar dari 5 mil/mil² atau setara dengan 3,10 km/km^2 , maka DAS sering mengalami kekeringan.

Pendekatan kuantitatif lainnya dalam analisis geomorfologi adalah perhitungan panjang sungai rata-rata untuk sungai orde ke u. Nilai tersebut diperoleh dengan cara membagi jumlah panjang sungai orde ke u dengan jumlah segmen sungai, seperti ditampilkan dalam formula (2.6).

$$\overline{L}_u = \frac{\sum L_u}{N_u} \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan $\overline{L}_u$ = Panjang sungai rata-rata orde u (km), $\sum L_u$ = Jumlah panjang sungai orde u (km), dan N_u = Jumlah segmen sungai.

Panjang segmen sungai rata-rata orde tertentu juga dapat dibandingkan terhadap panjang sungai rata-rata orde sungai yang setingkat lebih tinggi. Rumus perhitungan perbandingan panjang sungai (R_L) ditampilkan dalam formula (2.7).

$$R_L = \frac{\overline{L}_u}{\overline{L}_{u+1}} \dots\dots\dots (2.7)$$

dengan $\overline{L}_u$ = Panjang sungai rata-rata orde u (km), $\overline{L}_{u+1}$ = Panjang sungai rata-rata orde setingkat lebih tinggi (km), dan R_L = Perbandingan panjang sungai.

2.3.2.5 Rasio Cabang Sungai

Tingkat percabangan sungai (*bifurcation ratio* = R_b) didefinisikan sebagai nisbah jumlah sungai orde ke u terhadap jumlah sungai orde ke u+1. Rumus perhitungan ditampilkan dalam formula (2.8). Berdasarkan hasil perhitungan di berbagai wilayah, para ahli geomorfologi selanjutnya menyimpulkan bahwa variabel ini dapat digunakan untuk mengetahui ada tidaknya kontrol tektonik. Serta memperkirakan seberapa jauh pengaruhnya. Bila $R_b < 3$ atau $R_b > 5$, maka daerah aliran sungai tersebut tidak normal (Verstappen, 1983), kemungkinan dikontrol oleh tektonik.

$$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}} \dots\dots\dots (2.8)$$

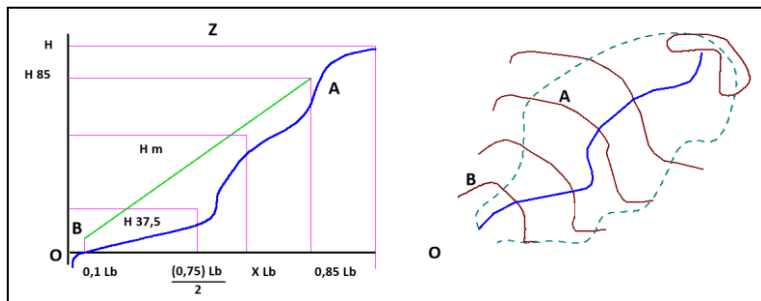
dengan R_b = rasio cabang sungai, N_u = jumlah segmen sungai orde ke u , dan N_{u+1} = jumlah sungai orde ke $u+1$.

2.3.2.6 Gradien Sungai

Gradien sungai merupakan kurva yang memperlihatkan hubungan antara jarak dan permukaan dasar sungai. Bila penelitian dilakukan dari hulu hingga ke muara maka akan dihasilkan profil sungai. Salah satu cara menghitung gradien sungai rata – rata adalah dengan *slope factor* yang dikembangkan oleh Benson (1962; dalam King, 1975) yaitu dengan menghitung lereng alur sungai antara 10% dan 85% jarak dari outlet seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.29.

Pada gambar tersebut tampak bahwa jarak $O - Z = L_b$ adalah panjang sungai utama. $OB = (0,1)L_b$ dan $OA = (0,85)L_b$, maka gradien sungai adalah:

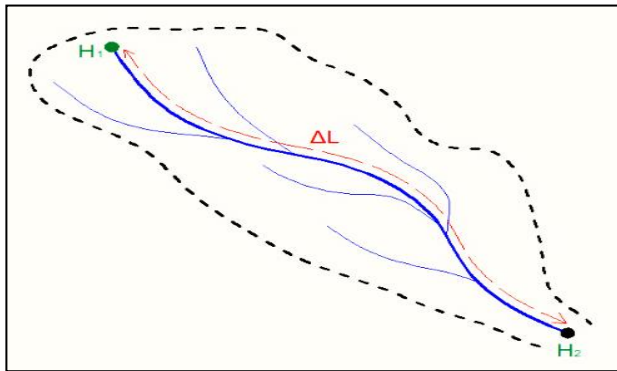
$$Su = (H_{85} - H_{10}) / (0,75)L_b \dots\dots\dots (2.9)$$



Gambar 2.29. Penaksiran 85 – 10 *slope factor* dan profil *curvature-index*

Keller & Pinter (1996) merumuskan nilai indeks gradien sungai (SL) untuk menilai karakter suatu alur sungai. SL diperoleh dari perkalian total panjang sungai (L) dengan gradien sungai (perbandingan beda elevasi dari titik yang dihitung (ΔH) dengan panjang sungai hingga titik dihitung (ΔL)). Berikut adalah persamaan untuk perhitungan indeks gradien sungai (Gambar 2.30):

$$SL = (\Delta H / \Delta L) \times L \dots\dots\dots (2.10)$$



Gambar 2.30. Ilustrasi pengukuran indeks gradien sungai (modifikasi dari Keller & Pinter, 1996; digambar ulang oleh Herry Riswandi)

Di bagian hulu penampang melintang sungai akan berbentuk V, di bagian tengah berbentuk U, dan di hilir bentuk trapezoid (bagian yang lurus) dan segitiga (pada bagian tikungan). Pada umumnya bentuk penampang melintang sungai antara bentuk persegi panjang dan segitiga. Bila A = luas penampang melintang, b = lebar, $h_{\max}$ = dalam / ketinggian air maksimum, maka:

$$A = c \times b \times h_{\max} \dots\dots\dots (2.11)$$

c merupakan koefisien bentuk penampang melintang. Bila c = 1 bentuk persegi panjang, c = 1/2 bentuk segitiga dan c = 2/3 bentuk parabola.

2.4 Morfometri Bendungan, Waduk, Danau, dan Rawa

2.4.1 Definisi

Bendungan merupakan bangunan yang dimaksudkan untuk mendapatkan tandon air sebanyak – banyaknya, guna dimanfaatkan bagi suatu keperluan yang direncanakan. Misalnya irigasi, pesawahan, pembangkit tenaga listrik, perikanan darat, air minum dan industri, navigasi, penyegar udara, penampung banjir, pengendalian banjir, pertahanan dan sebagainya. Perlu dibedakan antara bendungan (*dam*) dan bendung (*weir*). Bendungan mempunyai fungsi sebagai waduk dengan tandon air yang cukup besar, sedangkan bendung berfungsi meninggikan dan meratakan tinggi air sungai, atau menyimpangkan arah arus sungai. Bendungan disebut *high dam* jika ketinggiannya lebih dari 30 m dan *low dam* jika kurang dari 30 m.

Bendungan dapat diklasifikasikan menurut kegunaannya, perencanaan hidraulik, serta material yang digunakan. Klasifikasi menurut kegunaannya adalah:

- a. tandon air
- b. pengelak atau pelimpahan air
- c. penahan air

Bendungan tandon air dimaksudkan untuk mengadakan persediaan air pada masa *surplus* dan nantinya dapat digunakan pada masa kekurangan air. Besar kecilnya bangunan disesuaikan menurut keperluan. Dalam pembangunannya perlu diingat jumlah aliran dari waduk yang dapat diharapkan dan jumlah rembesan yang mungkin terjadi. Bendungan pengelak (*diversion dam*) dibangun untuk mengalirkan air ke dalam saluran – saluran, kanal, menuju tempat yang memerlukan. Misalnya irigasi air minum, industri, dan sebagainya. Bendungan penahan (*detention dam*) dibuat untuk memperlambat serta mengusahakan seminimal mungkin akibat aliran banjir yang mendadak.

Bendungan pelimpah (*Over-flow*) dimaksudkan untuk mengalirkan air melalui puncak (*crest*). Material yang digunakan harus tahan kikisan air limpahan seperti beton, *mansenary* (pasangan batu), baja dan sebagainya. Bendungan *non over-flow* dibuat tidak untuk dilimpahi air, sehingga berbagai bahan dapat dipakai seperti tanah, beton, kayu, dan lain-lain.

Bendungan berdasarkan jenis bahan yang dipakai dan konstruksinya. Beberapa diantaranya adalah *earth fill*, *rock fill*, *concrete gravity dam*, *concrete arch*, *concrete buttress*. Jenis *earth fill dam* merupakan bendungan yang paling umum, dengan bahan tanah yang murah dan mudah didapat. Fondasi pada umumnya ringan sehingga mudah terkikis. Oleh karena itu, tipe bendungan seperti ini memerlukan bangunan tambahan yaitu *spillway* atau pelimpahan, saluran, dan terowongan. Untuk menghindari hancurnya lereng *upstream* bendungan akibat kikisan air, maka diperlukan rip – rap atau usaha sejenisnya. *Rock fill dam* memerlukan batu untuk stabilitas. Inti bendungan harus kedap air atau membran yang tidak mudah ditembus air; misalnya dari tanah, plat baja, dan beton. Bangunan tambahan berupa *coffer dam*, *out off wail*, pengelak, pelimpah. Bangunan pelimpah penting untuk mengamankan lereng bendungan dari pengikisan. Bahan – bahan yang mempunyai sifat fisik dan kimia yang lebih baik, ditempatkan di bagian *upstream dam*. Sedangkan yang kualitas fisik dan kimia lebih jelek ditempatkan pada *downstream*. *Concrete gravity dam* sesuai untuk wilayah yang terjal, sempit, fondasi kuat. *Crest* dapat berfungsi sebagai pelimpahan. *Concrete arch dam* sesuai untuk wilayah yang terjal, lebar, fondasi kuat, terdiri dari batu yang berifat keras.

Beberapa faktor geologi yang dipertimbangkan dalam pembuatan bendungan antara lain topografi, kondisi tanah fondasi, gempa bumi, dan sumber bahan-bahan bangunan. Topografi merupakan faktor pertama yang penting dalam menentukan lokasi dan bentuk bendungan. Lembah yang sempit dengan daerah waduk yang

luas dan besar akan sesuai untuk bangunan bendungan. Relief tinggi akan cocok untuk pipa pesat terkait dengan penempatan pembangkit tenaga listrik. Daerah landai pada *downstream* akan cocok untuk pesawahan, dan sebagainya. Tanah fondasi perlu memenuhi persyaratan mampu menahan bangunan, tidak rembes (*permeable*), tidak mengandung mineral atau garam laut. Pada bagian tertentu tidak mudah terkikis aliran air atau gelombang, tidak mudah bergerak atau longsor. Rekayasa teknik ditujukan untuk memperkuat fondasi, menahan rembesan, menahan atau menghindari kikisan. Contoh rekayasa teknik diantaranya *grouting*, mengupas lapisan tanah, dinding penahan, dan sebagainya. Bahan – bahan bangunan sebaiknya diambil dari daerah yang dekat, mengingat faktor ketahanan fisika dan kimia. Keperluan bahan berupa tanah untuk tanggul dan batuan untuk tanggul, rip-rap, pasir kerikil, pengawetan sumber air.

Waduk perlu mendapat pengamanan, diantaranya:

- i) Pengamanan terhadap erosi dan pencegahan sedimentasi dalam waduk.
- ii) Longsoran ke dalam waduk dan bangunan–bangunan bendungan dan bangunan lain seperti saluran air.
- iii) Gempa bumi.

Berdasarkan genetiknya, antara waduk, danau dan rawa memiliki pengertian yang berbeda. Namun demikian, ketiga obyek tersebut memiliki persamaan bentuk yaitu berupa bentuk cekungan.

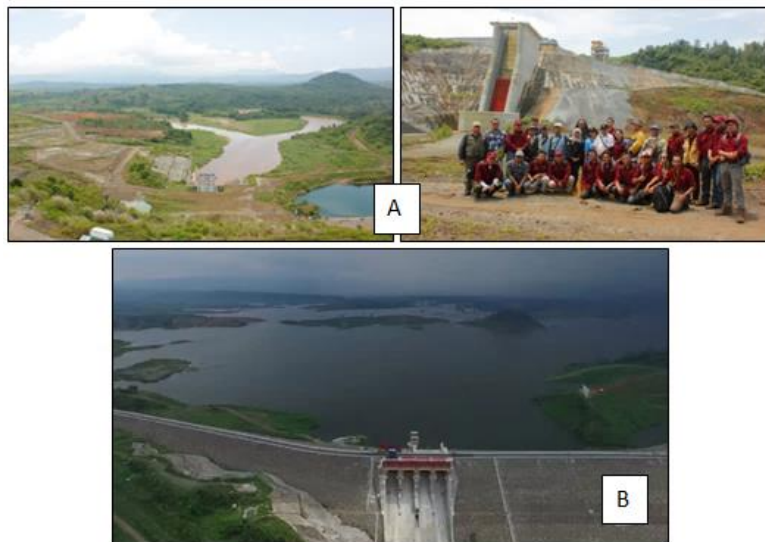
Waduk (*reservoir*) dapat didefinisikan sebagai cekungan di muka bumi yang berisi air, pada umumnya terbentuk akibat adanya aktivitas manusia. Misalnya pembendungan sungai, penggalian suatu kawasan hingga membentuk cekungan yang dapat terisi oleh air sungai maupun air hujan, dan sebagainya.

Contoh waduk diantaranya adalah Waduk Jatiluhur, Waduk Cirata, Waduk Saguling (Gambar 2.31). Ketiga waduk tersebut berada pada aliran Sungai Citarum (Jawa Barat). Contoh lainnya adalah Waduk

Darma (Kuningan, Jawa Barat), Waduk Gajah Mungkur (Wonogiri, Jawa Tengah), Waduk Sempor (Gombong, Jawa Tengah), Waduk Wadaslintang (Wonosobo, Jawa Tengah), Waduk Mrica (Banjarnegara, Jawa Tengah), Waduk Kedung Ombo (di perbatasan wilayah Boyolali, Sragen dan Grobogan di Jawa Tengah), Waduk Cacaban (Tegal, Jawa Tengah), Waduk Sermo (Kulon Progo, D. I. Yogyakarta), Waduk Karangates (Malang, Jawa Timur), Waduk Wlingi (Blitar, Jawa Timur), Waduk Riam Kanan (Kalimantan Selatan), Waduk Jatigede (Sumedang, Jawa Barat) (Gambar 2.32). Beberapa waduk yang ada di manca negara diantaranya adalah Waduk Don (Rusia) dan Waduk Pierce (Singapura).



Gambar 2.31. Waduk Saguling (A), Waduk Cirata (B), dan Waduk Jatiluhur (C) yang dibangun pada alur S.Citarum di Jawa Barat (<https://www.google.co.id>)



Gambar 2.32. (A) Waduk Jatigede sebelum tergenang (atas), membendung S.Cimanuk di wilayah Jatigede Sumedang Jawa Barat (foto: Emi Sukiyah); (B) Waduk Jatigede setelah tergenang (<https://www.google.co.id>)

Danau (*lake*) merupakan cekungan di permukaan bumi yang berisi air dan terbentuk karena proses alam, misalnya proses tektonik, vulkanik, *volcano-tectonic*, amblesan suatu kawasan yang cukup luas, dan sebagainya. Beberapa danau diantaranya adalah Danau Laut Tawar (NAD), Danau Toba (Sumatera Utara) (Gambar 2.33), Danau Maninjau dan Danau Singkarak (Sumatera Barat), Danau Kerinci (Jambi), Danau Ranau (Sumatera Selatan), Danau Sembuluh (Kalimantan Tengah), Danau Jempang (Kalimantan Timur), Danau Tondano (Sulawesi Utara), Danau Limboto (Gorontalo), Danau Poso (Sulawesi Tengah), Danau Towuti dan Danau Tempe (Sulawesi Selatan), Danau Batur dan Danau Buyan (Bali), Danau Segaraanak

(NTB), Danau Panial dan Danau Ayamaru (Papua). Beberapa danau di manca negara diantaranya adalah Danau Aral dan Danau Balkash (Rusia), Danau Eire (Australia), Danau Victoria (Kenya), Danau Valda (Rusia), Danau Great Salt (USA) dan Danau Greatbear (Kanada).



Gambar 2.33. Danau Toba di Sumatera Utara

Air danau dapat berasal dari berbagai sumber, diantaranya adalah:

- Air sungai yang mengalir ke dalam basin dan sebagai *inflow*.
- Air yang berasal dari hasil pencairan salju dan es (gletser).
- Air hujan yang tertangkap langsung oleh basin danau tersebut.
- Air dari aliran permukaan (*over land flow*) yang berasal dari air hujan yang jatuh.
- Air yang berasal dari dalam tanah (*ground water*) yang permukaannya lebih tinggi dari pada permukaan air danau sehingga air mengalir ke dalam danau.

- Air yang berasal dari mata air (*spring*) yang masuk ke danau tersebut.

Telaga atau danau alami dapat terbentuk karena beberapa hal, yaitu sebagai berikut:

- a. Aktivitas gletser yang mencair dan meluncur ke bawah dapat membentuk danau *gletser*. *Gletser* tersebut mengikis batuan yang dilaluinya sehingga terbentuklah cekungan. Jika terisi oleh air maka terbentuklah danau. Sejumlah besar danau di dunia terbentuk oleh *gletser* dan lembaran es.
- b. Aktivitas tektonik, yaitu danau yang terbentuk oleh tenaga endogen yang bersumber dari gerakan tektonik seperti patahan dan lipatan dari dalam bumi. Proses ini dapat mengakibatkan permukaan pada lapisan kulit bumi turun membentuk cekungan-cekungan. Contohnya Danau Singkarak, Danau Kerinci, Danau Poso, Danau Tempe, Danau Tondano, dan Danau Towuti.
- c. Aktivitas vulkanik dapat membentuk danau kawah dan kaldera (*crater and caldera lake* atau *volcanic lake*). Danau Kawah adalah danau bekas kawah gunung api dengan sejumlah massa air (danau) yang menutupi permukaannya. Air danau berasal dari curah hujan yang tertampung pada lubang kepundan atau kaldera. Sekitar 12% dari 700-an gunung api yang ada di bumi kawahnya tertutupi oleh massa air. Di Indonesia terdapat beberapa danau kawah, yang terkenal adalah Danau Kawah Gunung Kelud, Gunung Batur, Gunung Galunggung, Kawah Ijen, Segara Anakan di Gunung Rinjani, serta kompleks Kelimutu, dan Telaga Pengilon di Pegunungan Dieng.
- d. Aktivitas vulkano-tektonik membentuk danau sebagai akibat gabungan proses vulkanik dan tektonik. Diantaranya patahan atau depresi pada bagian permukaan bumi pasca letusan. Dapur magma yang telah kosong menjadi tidak stabil sehingga terjadi amblesan (*subsidence*) atau patah. Cekungan akibat patahan tersebut

kemudian diisi oleh air. Contohnya Danau Toba di Sumatera Utara merupakan danau kawah atau kaldera.

- e. Proses *karst (dissolution)*, yaitu danau yang terbentuk pada daerah batu gamping yang mengalami pelarutan sehingga membentuk lahan negatif atau berada di bawah rata-rata permukaan setempat. Danau *karts* yang berukuran kecil disebut *doline* dan yang besar dinamakan *uvala*. Contoh: danau atau telaga di Pegunungan Seribu (Gunung Sewu), D. I. Yogyakarta. Danau di daerah *karst* umumnya terdapat di bawah permukaan, menempati gua bawah tanah.
- f. Penyesuaian morfologi dasar sungai, berupa interaksi antara arus sungai (*streamflow*) dengan pengangkutan bahan kikisan (*debris transport*) dapat membentuk danau tapal kuda (*oxbow lake*) dan kolam (*pool*). Danau tapal kuda (*oxbow lake*) terbentuk akibat proses pemotongan saluran sungai *meander* secara alami yang ditinggalkan oleh alirannya sehingga disebut juga kali mati. Kolam (*pool*) adalah morfologi dasar sungai yang dalam (*deep*), memiliki sedimen kasar berkerikil (*gravel-bed*) sebagai alasnya.
- g. Longsoran dari tebing, sehingga menutupi aliran sungai dapat membentuk bendungan alami. Contoh: Danau Pengilon di Dieng (Gambar 2.34) dan Telaga Sarangan di perbatasan Jawa Tengah dan Jawa Timur.

Rawa semacam danau atau waduk yang ditumbuhi oleh vegetasi akuatik pada sebagian besar permukaan airnya. Rawa banyak terdapat pada bentangalam pedataran atau di sekitar pantai. Rawa adalah lahan genangan air secara alami yang terjadi terus-menerus atau musiman akibat drainase yang terhambat serta mempunyai ciri-ciri khusus secara fisika, kimiawi dan biologis. Di Indonesia, rawa - rawa biasanya terdapat di hutan.

Definisi lainnya terkait rawa adalah semua macam tanah berlumpur yang terjadi secara alami, atau buatan manusia dengan campuran air tawar dan air laut, secara permanen atau sementara,

termasuk di daerah laut yang kedalamannya kurang dari 6 m pada saat air surut yakni rawa dan tanah pasang surut.



Gambar 2.34. Telaga Pengilon di kawasan Pegunungan Dieng, Jawa Tengah (Anonim, 2015)

2.4.2 Aspek Morfometri Waduk dan Danau

Danau dan waduk sebagaimana obyek alam lainnya memiliki karakteristik kuantitatif yang dapat diukur. Beberapa parameter morfometri danau atau waduk diantaranya adalah panjang maksimum, panjang efektif, lebar maksimum, lebar efektif, lebar rata-rata, kedalaman rata-rata, kedalaman maksimum, dan sebagainya. Panjang efektif danau atau waduk dimaksudkan sebagai garis memanjang di mana angin dapat melalui bagian atas daerah tersebut tanpa terhalang oleh obyek alam lainnya. Lebar maksimum danau atau waduk adalah garis terpanjang yang memotong tegak lurus garis panjang maksimum. Lebar efektif merupakan garis yang memotong tegak lurus garis panjang maksimum di mana angin dapat melalui bagian atas garis tersebut tanpa terhalang obyek alam lainnya. Kedalaman rata-rata adalah hasil pembagian volume air seluruhnya oleh luas permukaan

danau sedangkan kedalaman maksimum adalah bagian terdalam dari danau.

Bentuk danau dapat dibedakan menjadi bentuk membulat atau tabung dan kerucut. Perbandingan atau nisbah (*ratio*) antara kedalaman rata-rata dibagi kedalaman maksimum menghasilkan suatu angka. Angka tersebut dapat menunjukkan karakteristik danau yang mengindikasikan bentuk danau. Jika angka perbandingan kecil (<1) maka bentuk danau atau waduk mendekati bentuk kerucut. Sebaliknya, jika angka perbandingan tersebut besar (>1) maka bentuknya membulat atau tabung.

Perbandingan atau nisbah (*ratio*) antara kedalaman maksimum dibagi akar luas permukaan akan menghasilkan suatu angka yang menunjukkan karakteristik kedalaman dan luas danau atau waduk. Tabel berikut ini menunjukkan karakteristik danau atau waduk berdasarkan perbandingan antara kedalaman maksimum dan akar luas permukaan.

Tabel 2.4 Karakteristik danau atau waduk berdasarkan perbandingan antara kedalaman maksimum dan akar luas permukaan

$D_{maksimum} : \sqrt{L_{muka}}$	Karakteristik danau atau waduk
> 1	Sempit tetapi dalam
< 1	Luas tetapi dangkal
1	Luas dan dalam atau sempit dan dangkal

Pengukuran luas permukaan danau atau waduk dapat dilakukan secara langsung pada obyek di lapangan dan pengukuran secara tidak langsung melalui media peta topografi, foto udara atau citra satelit. Pengukuran secara langsung dapat menggunakan *theodolite*, GPS

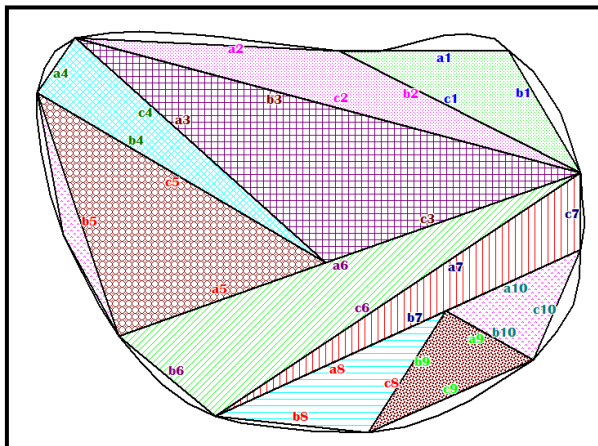
(Global Positioning System), dan sebagainya. GPS merupakan suatu sistem penentuan letak obyek dengan acuan satelit. Beberapa cara atau metode pengukuran luas secara tidak langsung, diantaranya adalah:

- i) Pengukuran di peta menggunakan planimeter;
- ii) Pengukuran di peta menggunakan sistem grid atau sel dengan cara menghitung luas setiap grid;
- iii) Pengukuran di peta dengan cara membagi obyek menjadi bentuk-bentuk segitiga (Gambar 2.35), selanjutnya dihitung luasnya menggunakan rumus:

$$L \Delta = \sqrt{s(s-a)(s+b)(s-c)} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$s = 1/2 (a+b+c) \dots\dots\dots (2.13)$$

dengan $L \Delta$ = luas segitiga; s = setengah dari jumlah sisi-sisi setiap segitiga; a, b dan c = panjang sisi-sisi segitiga.

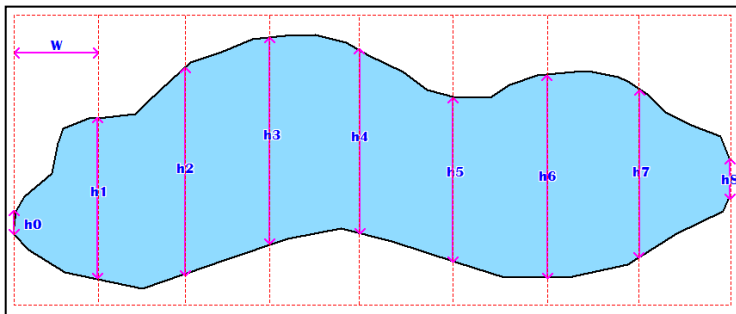


Gambar 2.35. Ilustrasi pengukuran luas danau atau waduk dengan metode segitiga

- iv) Pengukuran obyek di peta menggunakan rumus Simpson (Gambar 2.36), sebagai berikut:

$$L_d \text{ atau } w = 1/3W(h_0+4h_1+2h_2+4h_3+2h_4+...+h_8) \dots\dots\dots (2.14)$$

dengan $L_d \text{ atau } w$ = Luas danau atau waduk; W = lebar obyek yang dibatasi oleh garis vertikal; dan h_0 s/d h_8 = Panjang garis di antara tepi danau atau waduk.



Gambar 2.36. Pengukuran luas danau atau waduk menggunakan metode Simpson

Shore development (S_d) adalah perbandingan atau nisbah (*ratio*) antara keliling danau atau waduk dan keliling lingkaran. Rumus S_d yaitu:

$$S_d = \frac{S}{2\sqrt{a\pi}} \dots\dots\dots (2.15)$$

dengan S = panjang keliling danau atau waduk; a = luas permukaan danau atau waduk; dan $\pi = 22/7$. Bila $S_d = 1$ maka permukaan danau atau waduk berbentuk lingkaran, sebaliknya jika $S_d > 1$ permukaan

danau atau waduk tidak ideal (lingkaran). Harga S_d minimum hanya mencapai 1 (satu).

Unsur-unsur yang diperlukan dalam perhitungan volume waduk atau danau adalah luas dan kedalaman, mengingat volume merupakan hasil perkalian antara luas dan kedalaman rata-rata. Formula umum yang sering digunakan dalam perhitungan volume waduk atau danau adalah:

$$V_{d \text{ atau } w} = b/3 \times (a_1 + a_2 + \sqrt{a_1 a_2}) \dots\dots\dots (2.16)$$

dengan b = kedalaman setiap strata dan a_1, a_2, a_3 = luas setiap penampang strata.

Volume development (V_d) adalah perbandingan atau nisbah (*ratio*) antara volume danau atau waduk dan volume kerucut. Formula yang sering digunakan adalah:

$$V_d = 3 \times \frac{md}{m_x d} \dots\dots\dots (2.17)$$

dengan md = kedalaman rata-rata danau atau waduk; $m_x d$ = kedalaman maksimum danau atau waduk. Bila V_d mendekati 1 (satu) maka bentuk danau atau waduk mendekati bentuk kerucut.

Slope of basin (S_b) merupakan kemiringan morfologi cekungan yang ditempati oleh air danau atau waduk. Formula yang sering digunakan adalah:

$$S_b = \frac{C_1 + C_2}{2} \times \frac{I_c}{A} \dots\dots\dots (2.18)$$

dengan C_1, C_2 = panjang masing - masing kontur yang mengelilingi danau atau waduk pada setiap strata; I_c = interval kontur; dan A = luas permukaan yang dikelilingi kontur bawah.

Mean slope of the entire lake (S_m) merupakan kemiringan rata-rata danau atau waduk. Formula yang sering digunakan adalah:

$$S_m = \left(\frac{\frac{1}{2} C_0 + C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_{n-1} + \frac{1}{2} C_n}{n} \right) \times \frac{D}{A} \dots\dots (2.19)$$

dengan S_m = *mean slope*; $C_0, C_1, \dots, C_n$ = panjang masing-masing kontur; n = jumlah kontur; D = kedalaman maksimum danau dan A = luas permukaan danau atau waduk.

2.4.3 Pendangkalan Waduk

Pendangkalan merupakan masalah utama yang dihadapi oleh setiap waduk. Pendangkalan dan pelumpuran berasal dari material tererosi yang terjadi di Daerah Aliran Sungai (DAS), dibawa masuk ke dalam waduk oleh sungai utama yang dibendung ditambah dengan hasil erosi di Daerah Tampung Waduk (DTW) yang turun langsung memasuki waduk.

Parameter yang perlu diperhatikan dalam perhitungan pendangkalan waduk, diantaranya adalah tingkat erosi di DAS yang bersangkutan yang menjadi sumber utama pendangkalan waduk, material yang memasuki waduk, dan bagian material yang mengendap di dasar waduk. Berdasarkan perhitungan kapasitas mati (*dead storage*), volume waduk dibandingkan dengan tingkat pengendapan yang terjadi setiap tahunnya maka dapat diperkirakan proyeksi umur waduk tersebut.

Tingkat pendangkalan waduk dikaji melalui tiga pendekatan, yaitu pendekatan hidrologi, pendekatan geomorfologi dan pendekatan faktorial erosi. Pendekatan hidrologi dimaksudkan bahwa besarnya

material sedimen yang mengakibatkan pendangkalan waduk adalah sama dengan material yang terangkut atau terbawa oleh aliran sungai yang memasuki waduk dan terendapkan. Pendekatan geomorfologi dilakukan untuk memperkirakan secara empiris besarnya erosi yang terjadi di daerah tangkapan air (*catchment area*), bagian erosi yang terangkut dan bagian yang mengendap di dalam waduk berdasarkan parameter-parameter geomorfometri DAS dan morfometri waduk. Pendekatan faktorial erosi digunakan untuk menghitung potensi erosi pada DAS yang bersangkutan berdasarkan faktor-faktor erosi. Adapun faktor-faktor erosi diantaranya adalah erosivitas curah hujan, erodibilitas tanah, kemiringan lereng dan penutup lahan.

2.4.3.1 Perhitungan Pendangkalan Waduk Secara Hidrologi

Formula yang dapat digunakan untuk perhitungan pendangkalan waduk adalah sbb:

$$S_r = \sum Q_i \cdot C_{si} - \sum Q_c \cdot C_{so} \quad \dots\dots\dots (2.20)$$

dengan S_r = jumlah material yang terendapkan di dalam waduk (gr atau ton); Q_i = debit sungai yang masuk ke dalam waduk (liter/detik); C_{si} = kandungan atau kadar sedimen air aliran masuk (gr/liter); Q_c = debit sungai yang keluar dari waduk (liter/detik); C_{so} = kandungan atau kadar sedimen air aliran keluar (g/liter).

Pengukuran debit aliran dilakukan dengan metode *velocity area* atau memanfaatkan lengkung kalibrasi (*rating curve*) pada stasiun pengamat yang ada sehingga cukup dengan mengamati muka air (*peilscale*) yang ada secara manual atau otomatis. Analisa kandungan sedimen akan dilakukan terhadap sejumlah contoh air (*water sample*) yang dikorelasikan dengan debit air saat pengambilan contoh tersebut. Pemisahan sedimen dengan air akan dilakukan dengan *filtering* dan *evaporating*.

2.4.3.2 Perhitungan Pendangkalan Waduk Secara Geomorfologi Kuantitatif

Rumus empiris yang digunakan untuk perhitungan pendangkalan waduk diantaranya menurut Fournier (1960; dalam Ambar, 1986) dan Cooke & Doorkamp (1977). Tingkat erosi tanah menurut Fournier (1960; dalam Ambar, 1986) yaitu:

$$\text{Log } E = 2,65 \log (P_x^2/P_a) + 0,46 \log H \cdot \tan S^{-1,56} \dots\dots\dots (2.21)$$

dengan E = luah sedimen suspensi (ton/km²/th); P_x = curah hujan bulanan maksimum (mm); P_a = curah hujan tahunan rata-rata (mm); H = ketinggian DAS rata-rata (m); dan S = kemiringan rata rata dalam DAS (%).

Tingkat sedimen suspensi menurut Cooke & Doorkamp (1977) adalah:

$$\text{Log } S_s = -8,41 + 2,704 \log (P_x^2/P_a) + 5,603 R_b + 2,967 \log D \dots\dots\dots (2.22)$$

dengan S_s = luah sedimen suspensi (ton/km²/th); P_x = curah hujan bulanan maksimum (mm); P_a = curah hujan tahunan rata-rata (mm); R_b = tingkat percabangan sungai (*bifurcation ratio*); dan D = kerapatan pengaliran (*drainage density*).

Data curah hujan diperoleh dari beberapa stasiun pencatat curah hujan yang terdapat pada DAS yang bersangkutan untuk periode sepuluh tahun terakhir. Nilai rata-rata curah hujan dapat dihitung menggunakan metode Thiesen. Data morfometri DAS (ketinggian, kemiringan lereng, tingkat percabangan sungai, kerapatan pengaliran dan ukuran luas DAS) dapat dianalisis dan diukur melalui media peta topografi dengan skala tertentu (1:25.000 atau 1:50.000) dengan koreksi nilai menurut Elyes (1968; dalam Van Zuidam, 1983).

2.4.3.3 Perhitungan Tingkat Sedimentasi Berdasarkan Fungsi Erosi

Jumlah material yang tererosi dapat diukur langsung di lapangan dengan menempatkan alat ukur pada beberapa lokasi yang telah ditetapkan. Selain itu, jumlah material yang tererosi dapat pula diperoleh melalui perhitungan persamaan erosi. Erosi adalah fungsi dari erosivitas curah hujan, erodibilitas tanah, bentangalam dan tataguna lahan yang dapat dirumuskan sebagai *Universal Soil Loss Equation* atau disingkat USLE (Wischmeier & Smith, 1978; dalam El-Swaify *et al*, 1982). USLE telah digunakan secara luas sebagai model untuk prediksi erosi. Adapun formula USLE yang sering digunakan adalah:

$$E_r = RKLSCP \quad \dots\dots\dots (2.23)$$

dengan E_r = jumlah rata-rata material tanah yang hilang pada suatu lokasi setiap tahun (ton/ha); R = indeks erosivitas *runoff*; K = faktor erodibilitas tanah; LS = faktor topografi, L: panjang lereng, S: kemiringan lereng; C = faktor penggunaan lahan untuk tanaman; dan P = faktor tindakan pengolahan tanah.

Perkiraan sedimen yang memasuki waduk berdasarkan pada nisbah hantar sedimen atau *Sedimentary Delivery Ratio* (SDR) yang dirumuskan sebagai berikut:

$$S_i = SDR \times E_r \quad \dots\dots\dots (2.24)$$

dengan S_i = sedimen yang sampai ke waduk; SDR = nisbah hantar sedimen; dan E_r = tingkat erosi. Nilai SDR dihitung dengan rumus morfometri DAS sebagai berikut:

$$SDR = \frac{S(1-\alpha A^B) + -\alpha A^B}{2(S+50N)} \quad \dots\dots\dots (2.25)$$

dengan SDR = nisbah hantar sedimen; A = luas DAS (ha); S = kemiringan lereng DAS rata-rata (%); N = koefisien kekasapan Manning; α = 0,8683216132; dan B = -0,2018621338.

Tabel 2.5. Nilai kekasapan Manning n dalam $Q = (1/n)(A/R^{2/3}S^{1/2})$ dan koefisien Chezy C^* dalam $V = C \sqrt{R/S}$ yang khas

Jenis saluran	n	C (satuan SI)
Kayu licin	0,011	
Pipa semen-asbes, baja tempa	0,012	70-90
Turap beton (bungkus mutu tinggi)	0,013	60-75
Pasangan bata terpasang baik, bersuar	0,014	
Pipa beton dan besi cor	0,015	
Tanah giling, pasangan bata, keadaan buruk	0,018	40-55
Pasangan batu tanpa belokan tajam	0,021	30-45
Alur sungai alami, aliran lancar karena keadaannya licin	0,030	19-30
Sungai alam baku dalam keadaan mantap	0,035	14-25
Sungai dengan bagian yang dangkal dan bermeander dengan tumbuhan air yang cukup mencolok	0,045	
Sungai dengan bongkahan batu, dangkal dan bertumbuhan	0,060	
Sungai mengalir perlahan-lahan, berkelok-kelok dengan kubangan, sedikit jeram, penuh tumbuhan dan rimbun	0,100	

Tingkat pendangkalan waduk dapat dihitung dengan formula berikut ini:

$$S_r = T_e \times E_r \times SDR \times 1/\gamma \quad \dots\dots\dots (2.26)$$

dengan S_r = tingkat pendangkalan (m^3/th); E_r = tingkat erosi (ton/th); SDR = nisbah hantar sedimen; T_e = *Trap efficiency*, merupakan fungsi morfometri waduk; γ = berat jenis sedimen.

Berdasarkan formula tersebut maka umur waduk dapat diperkirakan dengan formula berikut:

$$L_s = V_d/S_r \quad \dots\dots\dots (2.27)$$

Dengan L_s = perkiraan umur waduk (th); V_d = volume pengembangan waduk (m^3); dan S_r = tingkat pendangkalan (m^3/th).

2.4.4 Desain Penelitian yang Terkait dengan Waduk

Aktivitas penelitian perlu didesain secara terstruktur dan menyeluruh untuk memudahkan dalam proses evaluasi. Pada umumnya aktivitas penelitian dapat dibagi dalam beberapa tahapan, yaitu persiapan, pelaksanaan, evaluasi, penyusunan laporan. Masing-masing tahapan masih dapat dibagi lagi berdasarkan spesifikasi aktivitasnya. Setiap tema penelitian memiliki desain yang berbeda-beda tergantung kepada seberapa detil penelitian yang akan dilakukan.

Penelitian terkait dengan keberadaan waduk dapat dilakukan sebelum, selama dan setelah pembangunan waduk. Beberapa tema penelitian yang dilakukan sebelum pembangunan waduk, misalnya pemetaan geologi, hidrologi, morfometri DAS, desain penempatan waduk, desain relokasi warga terdampak pembangunan waduk, potensi dan kendala pembangunan waduk, geoteknik di lokasi penempatan waduk, erosi dan sedimentasi.

Selama pembangunan waduk juga diperlukan berbagai penelitian, diantaranya pemodelan DAS setelah pembangunan waduk, pemodelan tapak waduk, *monitoring* erosi dan sedimentasi, dan sebagainya. Setelah waduk dibangun berbagai penelitian terkait dengan pengelolaan waduk juga diperlukan. Tema terkait hal tersebut, misalnya *monitoring* erosi dan sedimentasi, desain pengembangan pariwisata (*eco-tourism*, *geo-tourism*, *geo-culture tourism*, dan sebagainya), rembesan air waduk (*seepage*), potensi gerakan tanah di sekitar waduk, kegempaan, pendangkalan waduk, dan sebagainya.

2.5 Morfotektonik

Fenomena tektonik masa lampau dicerminkan oleh terbentuknya struktur geologi, seperti perlipatan lapisan batuan, kekar dan sesar (patahan). Struktur geologi tersebut dapat dikenali melalui tanda-tanda pengenal sebagai hasil rekaman peristiwa geologi yang tersingkap di permukaan bumi. Sedangkan fenomena tektonik masa kini diindikasikan oleh terjadinya gempabumi (Stewart & Hancock, 1994).

Salah satu teori tektonik yang kini banyak dianut adalah teori Tektonik Lempeng. Pada prinsipnya, teori Tektonik Lempeng mengemukakan bahwa kerak bumi terdiri atas lempeng benua dan lempeng samudera yang selalu bergerak. Hampir seluruh fenomena bencana dan potensi alam (pusat gempabumi, jalur gempabumi, potensi sumberdaya mineral, sumberdaya energi, dan sebagainya) dapat dijelaskan oleh teori tersebut.

Teori Tektonik Lempeng menjadi referensi para ahli geologi dalam membahas dinamika wilayah Indonesia, diantaranya adalah Hamilton (1979) dan Katili (1980). Secara geologi wilayah Indonesia berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik, yaitu lempeng Eurasia, Indo-Australia dan Pasifik. Kondisi tersebut mengakibatkan tatanan geologi di Indonesia sangat kompleks.

Tektonik seringkali berasosiasi dengan morfotektonik yang menyangkut karakter bentangalam yang berhubungan dengan tektonik aktif (Doornkamp, 1986). Dalam perkembangannya, karakteristik bentangalam secara kuantitatif turut memperkaya pengetahuan tentang morfotektonik. Pada skala lokal dan regional fenomena tektonik dapat dikenali dari bentangalam yang khas. Bentangalam tersebut diantaranya adalah gawir, bentuk lembah, kelurusan perbukitan, kelurusan sungai, pola pengaliran, dan sebagainya.

Tabel 2.6. Beberapa kriteria morfotektonik dan referensinya
(Doornkamp, 1986)

No	Kriteria morfotektonik	Referensi
1.	Gawir sesar, pematang gunung (<i>shutter ridges</i>), pembentukan danau-danau	Cotton (1948)
2.	Taji dan faset (<i>spur and facets</i>)	Thornburry (1954)
3.	Pemisahan teras-teras	Lensen (1968)
4.	Deformasi kipas aluvial	Bull (1964, 1977)
5.	Perubahan elevasi garis pantai	Matsuda dkk. (1978)
6.	Pembungkungan permukaan yang relatif datar (<i>warping of planation surfaces</i>)	Doornkamp & Temple (1966)
7.	Pembalikan sungai	Wayland (1929)
8.	Perubahan pola sungai	Teale (1950)
9.	Kemunculan terumbu koral	Bloom dkk. (1974, 1979)
10.	Pergeseran bangunan buatan manusia	Rogers & Nason (1971)
11.	Tatanan gua terkekarkan	Lange (1970)
12.	Respon kanal aliran (<i>stream channel</i>)	Cooke & Mortimer (1971)
13.	Perubahan hilir dalam sinusitas sungai	Adams (1980)
14.	Laju sedimentasi	Lofgren & Rubin (1975)
15.	Pengaturan kerikil fluvial-glasial (<i>fluvio-glacial gravel</i>)	Sharma dkk. (1980)
16.	Kekuatan pertumbuhan tanaman	Babcock (1971)
17.	Morfologi tanah dan alterasi mineral	Douglas (1980)
18.	Morfologi lereng gawir	Palmer & Henyey (1971), Wallace (1977)
19.	Analisis rekaman penduga pasang	Balling (1980)

Bull dan McFadden (1977; dalam Doornkamp, 1986) melakukan studi aktivitas tektonik sepanjang Sesar Garlock di Kalifornia menggunakan indeks sinusitas muka gunung (*mountain-front sinuosity index*) yang didefinisikan sebagai berikut:

$$Smf = Lmf/Ls \dots\dots\dots (2.28)$$

dengan Lmf = panjang muka gunung dan Ls = panjang proyeksi muka gunung ke bidang datar.

Tabel 2.7. Klasifikasi derajat aktivitas tektonik berdasarkan indeks sinusitas muka gunung (Doornkamp, 1986)

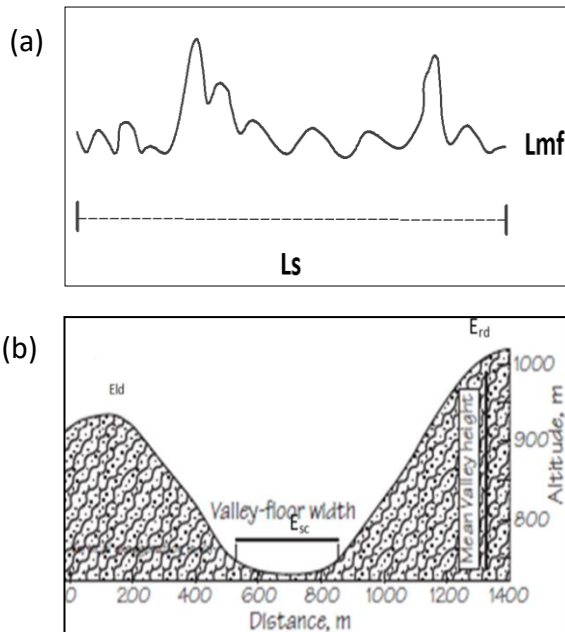
Kelas	Smf	Aktivitas Tektonik	Keterangan
1	1,2-1,6	Tektonik aktif	Berasosiasi dengan bentangalam kipas aluvial, cekungan pengaliran memanjang, dasar lembah menyempit, kemiringan lereng curam.
2	1,8-3,4	Tektonik menengah sampai lemah	Berasosiasi dengan bentangalam kipas aluvial, cekungan pengaliran melebar, kemiringan lereng curam, dasar lembah lebih lebar daripada dataran banjirnya.
3	2,0-7,0	Tektonik tidak aktif	Berasosiasi dengan bentangalam muka gunung <i>pediment</i> dan <i>embayments</i> , kemiringan lereng curam hanya pada lapisan batuan yang resisten, sistem lembah sedikit lebar dan terintegrasi.

Keterangan: Smf = indeks sinusitas muka gunung

Bila Smf mendekati 1 maka terjadi peningkatan kelurusan mendekati ideal (*increasing straightness*) dan mengindikasikan adanya

pengangkatan (*uplift*) aktif. Nilai indeks sinusitas yang semakin besar mencerminkan kerja pengaliran atau sungai (*stream*) yang memotong dinding gunung (*mountain-plains boundary*). Berdasarkan indeks tersebut, selanjutnya dikembangkan klasifikasi derajat aktivitas tektonik.

Wells dkk. (1988; dalam Stewart & Hancock, 1994) mengemukakan beberapa indeks geomorfik yang dapat menjadi acuan untuk menentukan derajat aktivitas tektonik, yaitu Vf (*Valley floor-valley height ratio*), V ratio (*Valley cross-section*), SL (*Stream-gradient index*), dll.



Gambar 2.37. Ilustrasi pengukuran indeks geomorfologi: (a) Smf dan (b) Vf (Bull, 2007)

Rumus yang dapat digunakan untuk mengetahui adanya *uplift* dapat menggunakan rasio antara lebar dasar lembah dengan tinggi lembah yang lebih dikenal dengan Vf (Bull, 2007). Jika V_{fw} merupakan lebar dasar lembah, E_{ld} merupakan nilai ketinggian sebelah kiri, E_{rd} merupakan nilai ketinggian sebelah kanan, dan E_{sc} merupakan nilai ketinggian dari dinding lembah, maka dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Vf = 2V_{fw}/[(E_{ld} - E_{sc}) + (E_{rd} - E_{sc})] \dots\dots\dots (2.29)$$

Nilai Vf pada muka pegunungan yang sangat aktif berkisar antara 0,5 sampai 0,05. Semakin besar nilainya, semakin tidak aktif pengangkatan pada muka pegunungan tersebut (Bull, 2007). Hal ini berdasarkan pada konsep, jika terjadi pengangkatan maka erosi yang terjadi relatif vertikal. Sebaliknya, pada daerah yang tidak terjadi pengangkatan maka erosi yang terjadi relatif lateral, sehingga akan memperbesar lebar dasar lembah tersebut.

Nilai Vf yang tinggi berhubungan dengan lembah yang lebar, dasar lembah yang datar, dan nilai Vf yang rendah berhubungan dengan pengangkatan aktif dengan bentuk lembah menyerupai huruf V. Perbandingan lebar dasar lembah terhadap ketinggian dinding lembah menghasilkan sebuah indeks yang menginformasikan apakah suatu sungai memotong turun aktif atau mengerosi secara lateral terhadap lereng bukit yang berdekatan. Nilai Vf yang kecil <1,0, lembah ini dapat diklasifikasikan sebagai lembah berbentuk “V” dan nilai Vf antara 1-1,5 mengindikasikan wilayah yang aktif sedang dan nilai Vf lebih besar dari 1,0 dapat diklasifikasikan sebagai lembah berbentuk “U”, wilayah ini merupakan hasil erosi lateral. Tabel 2.8 merupakan modifikasi klasifikasi Vf dari Keller & Pinter (1996), dikembangkan berdasarkan hasil riset di DAS Cisadane.

Tabel 2.8. Klasifikasi derajat aktivitas tektonik berdasarkan Vf

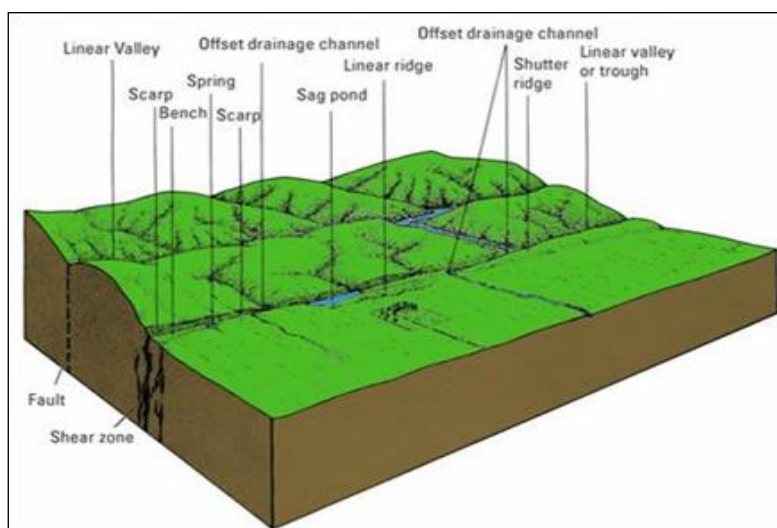
Vf	Kelas	Keterangan	(Keller & Pinter, 1996)
< 0,50	I	Tingkat <i>uplift</i> tinggi	Tingkat <i>uplift</i> tinggi dan lembah berbentuk V ($V_f < 0,50$)
0,50 - 1,00	II	Tingkat <i>uplift</i> sedang	Tingkat <i>uplift</i> sedang ($V_f = 0,5-1,0$)
1,00-10,00	III	Tingkat <i>uplift</i> rendah	Tingkat <i>uplift</i> rendah dan lembah berbentuk U ($V_f > 1,0$)
>10,00	IV	Tingkat <i>uplift</i> sangat rendah	

Sesar atau patahan (*fault*) merupakan suatu fenomena geologi yang umum di jumpai di kerak bumi. Sesar didefinisikan sebagai bidang rekahan yang disertai oleh adanya pergeseran relatif (*displacement*) suatu blok terhadap blok batuan lainnya. Jarak pergeseran tersebut dapat hanya beberapa milimeter hingga puluhan kilometer, sedangkan bidang sesarnya dapat berukuran beberapa centimeter hingga puluhan kilometer (Billing, 1972).

Sesar aktif adalah sesar yang masih terus bergerak sampai rezim tektonik sekarang, sedangkan struktur yang tidak bergerak dalam periode ini dapat disebut sebagai sesar non-aktif atau sesar yang mati, akan tetapi hal ini masih mengabaikan kemungkinan terjadinya pergeseran sesar pada masa yang akan datang (Muir Wood dan Mallard, 1992).

Menurut Keller dan Pinter (1996) sesar aktif adalah sesar yang pernah bergerak pada kurun waktu sepuluh ribu tahun yang lalu. Sesar berpotensi aktif adalah sesar yang pernah bergerak pada kurun waktu dua juta tahun yang lalu, sedangkan sesar tidak aktif adalah sesar yang belum atau tidak pernah bergerak dalam kurun waktu dua juta tahun yang lalu.

Sesar aktif adalah sesar yang bergerak pada zaman Kuartar dan berpotensi untuk bergerak kembali pada masa yang akan datang (Huzita dkk., 1992; dalam Munif, 2011). Sesar tersebut memotong permukaan morfologi berumur Kuartar, memotong batuan Kuartar, sesar pada daerah gunungapi yang bergerak pada periode pendek (selama masa letusan gunungapi), dan sesar normal yang dapat diamati di pegunungan akibat gaya gravitasi.



Gambar 2.38. Bentuk lahan (*landform*) berkaitan dengan sesar aktif strike slip (USGS, 2006; modifikasi dari Wesson et al., 1975; dalam Keller & Pinter, 1996)

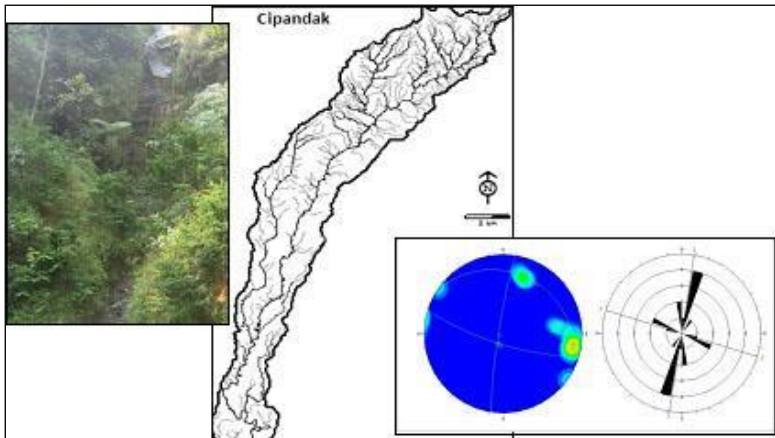
Sesar aktif di Jawa Barat merupakan sumber gempa bumi yang dapat dikelompokkan ke dalam tiga zona sesar aktif utama, yaitu sesar aktif Cimandiri, sesar aktif Baribis dan sesar aktif Lembang (Soehaimi dkk., 2004). Aktivasi sesar ini ditandai oleh catatan gempa bumi yang

merusak di wilayah Jawa Barat. Dalam kurun waktu antara 1629 – 2007 setidaknya telah terjadi 36 kali kejadian gempa bumi yang merusak di wilayah Jawa Barat (Supartoyo, 2008). Sesar aktif dapat terlihat dari aspek - aspek morfotektonik, yakni morfometri DAS; dimensi DAS, tingkat percabangan sungai (Rb), dan kerapatan pengaliran (Dd); nilai sinusitas muka gunung (Smf, *Mountain-Front Sinosity*); indeks rasio lembah (Vf, *Valley Floor Ratio*); dan kelurusan lembah-punggungan pada suatu area.

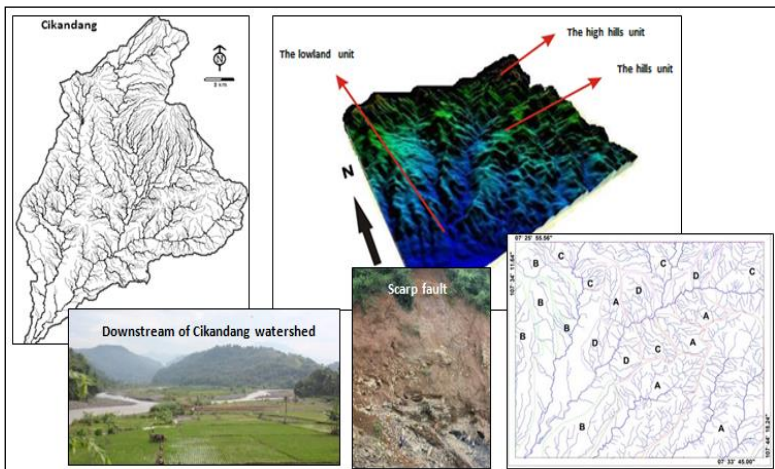
Tabel 2.9. Klasifikasi aktivitas sesar berdasarkan umur kejadiannya (Keller & Pinter, 1996)

Geologic Age			Years Before Present	Fault Activity	
Era	Period	Epoch			
Cenozoic	Quaternary	Historic (Calif.)	200	Active	Potentially Active
		Holocene	10,000		
		Pleistocene	1,650,000	Inactive	
	Tertiary	Pre-Pleistocene	65,000,000		
	Pre-Cenozoic time			4,500,000,000	
Age of the earth					

Fenomena morfotektonik banyak terdapat di wilayah Indonesia. Pendekatan aspek morfotektonik dapat membantu dalam analisis tektonik di wilayah dengan bentuk lahan vulkanik, khususnya yang berumur Kuartar. Pada bentuk lahan tersebut, bisanya jejak-jejak struktur geologi tidak dapat terekam dengan baik. Kondisi material batuan yang belum terkompaksi sempurna menjadi kendala tidak terekamnya jejak struktur geologi. Gambar 2.39 dan 2.40 merupakan contoh kenampakan morfotektonik di wilayah Jawa Barat bagian selatan.



Gambar 2.39. Sesar Cipandak berimpit dengan S.Cipandak, membentuk gawir dan lembah sempit, Jawa Barat Selatan (Sukiyah dkk, 2016)

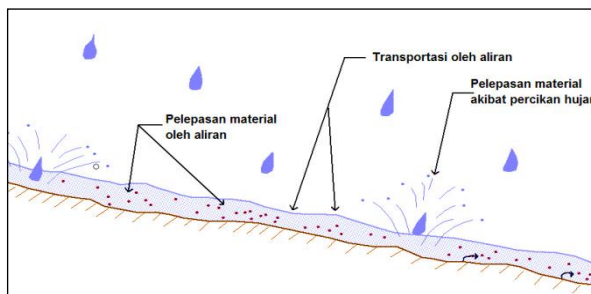


Gambar 2.40. Fenomena morfotektonik DAS Cikandang di wilayah Garut Selatan, Jawa Barat (Sukiyah dkk, 2015)

2.6 Erosi

Erosi merupakan proses awal yang mengakibatkan terjadinya sedimentasi di kawasan yang dilalui oleh transportasi material hasil erosi. Oleh karena itu, tingkat sedimentasi di suatu kawasan dapat diprediksi berdasarkan erosinya. Hal ini sudah dikemukakan dalam halaman 70 yang membahas perhitungan tingkat sedimentasi berdasarkan fungsi erosi.

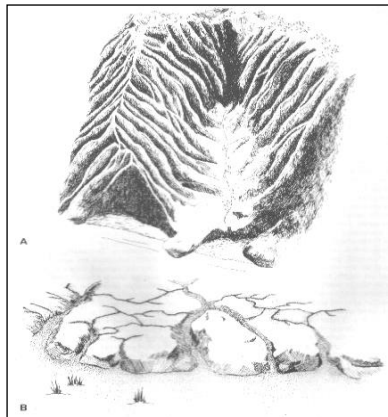
Erosi merupakan proses di permukaan bumi yang berlangsung secara gradual diakibatkan oleh aktivitas air, angin dan salju (SCSA, 1976, dalam El-Swaify *et al*, 1982; Field & Engel, 2004). Arnoldus (1974, dalam El-Swaify *et al*, 1982) mengusulkan klasifikasi erosi menjadi erosi geologi (*geological erosion*) dan erosi yang dipercepat (*accelerated erosion*). Erosi geologi terjadi secara alami dan berlangsung dalam kurun waktu jutaan tahun. Sementara itu, erosi yang dipercepat diakibatkan oleh aktivitas manusia, pada umumnya bersifat mengubah kondisi alami secara drastis.



Gambar 2.41. Ilustrasi erosi percikan dan erosi permukaan

Van Zuidam (1983) membagi erosi menjadi beberapa tahapan, yaitu erosi percikan (*splash erosion*), erosi lembaran atau permukaan (*sheet erosion*), erosi alur (*rill erosion*) dan erosi selokan (*gully erosion*). Erosi percikan disebabkan oleh energi yang ditimbulkan ketika tetes-

tetes hujan jatuh ke permukaan batuan atau tanah (Gambar 2.41). Besarnya material yang tererosi akan setara dengan besarnya energi yang dihasilkan oleh percikan air hujan tersebut. Erosi lembaran didefinisikan sebagai perpindahan serentak material batuan atau tanah membentuk lapisan tipis mengikuti arah kemiringan lahan (Gambar 2.41). Erosi alur merupakan bentuk erosi yang paling umum, terjadi ketika material batuan atau tanah dipindahkan oleh air yang menyisakan bentuk alur di permukaan. Erosi selokan merupakan pengembangan dari tahapan erosi alur (Gambar 2.42). Proses erosi, transportasi dan sedimentasi merupakan suatu proses yang kompleks dan saling terkait (Ilyas, 1987).



Gambar 2.42. A. Erosi selokan dan B. Erosi alur (El-Swaify *et al*, 1982)

Jumlah material yang tererosi dapat diukur langsung di lapangan dengan menempatkan alat ukur pada beberapa lokasi yang telah ditetapkan. Selain itu, jumlah material yang tererosi dapat pula diperoleh melalui perhitungan menggunakan persamaan erosi USLE seperti tercantum dalam persamaan (2.23) di halaman 70. Persamaan tersebut sebenarnya hanya berlaku untuk pengukuran erosi lembaran

dan alur dengan asumsi kondisi wilayah seperti yang diusulkan oleh Wishmeier & Smith (1978, dalam El-Swaify dkk., 1982). Bila persamaan tersebut diterapkan pada lahan dengan asumsi yang berbeda maka dapat dilakukan modifikasi. Modifikasi dapat dilakukan misalnya menghitung kembali harga K dengan memperhatikan faktor genetika dari batuan, derajat pelapukan batuan dan pengaruh tektonik.

Sukiyah (2009) dan Sukiyah dkk (2010) telah melakukan modifikasi terhadap formula erosi dengan mempertimbangkan tanah hasil pelapukan batuan vulkanik berumur Kuartar. Berdasarkan analisis korelasi antara koefisien erosi dan rasio fraksi tanah, ternyata rasio lanau-lempung-pasir (M-C-S) memiliki peran yang sangat kuat untuk menentukan kemampuan tanah tererosi (erodibilitas). Formula USLE yang telah dimodifikasi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$E_v = k [RKLSCP] \dots\dots\dots (2.30)$$

$$K = k' \times k_v \dots\dots\dots (2.31)$$

$$k_v = \frac{M}{C + S} \dots\dots\dots (2.32)$$

Bila persamaan (2.31) dan (2.32) disubstitusikan pada persamaan (2.30) maka diperoleh persamaan sbb:

$$E_v = k' \left(\frac{M}{C + S} \right) RKLSCP \dots\dots\dots (2.33)$$

dengan E_v (intensitas erosi pada bentangalam vulkanik Kuartar dalam ton/ha/th), k' (koefisien rasio M-C-S; 0,88 untuk lanau plastisitas tinggi dan 1,07 untuk lempung plastisitas tinggi), M (proporsi lanau dalam

%), S (proporsi pasir dalam %), C (proporsi lempung dalam %), RKLSCP (faktor perhitungan erosi menggunakan metode USLE). Nilai koreksi koefisien erosi untuk beragam jenis tanah dan penggunaan lahan ditampilkan dalam Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Koreksi koefisien erosi beragam penggunaan lahan dan jenis tanah (Sukiyah, 2009)

Penggunaan lahan	CP	k_{M-C-S}			
		CH	MH	ML	SM
Permukiman	0,60	0,41	0,62	0,64	0,26
Kebun campuran/belukar	0,30	0,20	0,31	0,32	0,13
Sawah	0,05	0,03	0,05	0,05	0,02
Tegalan	0,75	0,51	0,77	0,80	0,33
Perkebunan	0,40	0,27	0,41	0,43	0,18
Hutan	0,03	0,02	0,03	0,03	0,01

Akibat erosi yang terjadi pada suatu wilayah akan menyebabkan pengendapan material erosi di tempat lain yang memiliki elevasi lebih rendah. Pengendapan material (sedimentasi) akan membentuk daratan baru, misalnya delta di muara sungai. Selain itu, peristiwa tersebut juga akan mengakibatkan pendangkalan alur sungai yang dalam kurun waktu tertentu tidak mampu lagi menampung aliran air sehingga mengakibatkan terjadinya banjir (Ilyas, 1987).

Material yang terangkut air dapat dibedakan menjadi muatan melayang (*suspended load*) dan muatan dasar (*bed load*). Pada tipe muatan melayang, partikel sedimen bergerak secara melayang dalam air yang terbawa bersama aliran. Tipe muatan dasar dicirikan oleh gerakan partikelnya yang tidak jauh dari dasar sungai dan bergerak secara bergeser, menggelinding dan meloncat-loncat (Ilyas, 1987).

Dengan asumsi bahwa konsentrasi merata, dapat dihitung debit muatan melayang, yaitu (Overbeek, 1979; dalam Ilyas, 1987):

$$Q_s = k \times C \times Q_w \quad \dots\dots\dots (2.34)$$

Q_s = debit sedimen (ton/hari), k = faktor peubah unit sebesar 0,0864, C = konsentrasi sedimen (mg/liter) dan Q_w = debit aliran (m^3 /detik).

Perhitungan muatan dasar dapat dilakukan dengan cara substitusi dua parameter yaitu parameter *transport* dan aliran (*flow*). Adapun persamaan kedua parameter tersebut adalah (Overbeek, 1979; dalam Ilyas, 1987):

$$\phi = \frac{S}{\Delta \cdot g \cdot D^3} \quad \dots\dots\dots (2.35)$$

$$\Psi = \frac{v^{*2}}{\Delta \cdot g \cdot D} = \frac{h \cdot i}{\Delta D} \quad \dots\dots\dots (2.36)$$

S = rata-rata sedimen yang terbawa aliran air per unit (m^3 /detik/m), $\Delta = (\rho_s - \rho_w) / \rho_w$, D = diameter butir, v^* = *shear velocity*, h = kedalaman air, i = *bed slope*, $g = 9,81 \text{ m/det}^2$. Bila diasumsikan bahwa alirannya seragam maka:

$$\phi = f(\Psi) \quad \dots\dots\dots (2.37)$$

Erosi yang tidak terkendali atau melebihi ambang batas tertentu, dapat mengakibatkan terjadinya fenomena bencana alam. Bencana alam yang terkait dapat berupa lahan kritis pada bentuk lahan

berlereng, banjir di wilayah hilir sungai, pendangkalan waduk dan pelabuhan, dan sebagainya.

Banjir adalah peristiwa daratan yang biasanya kering menjadi tergenang air, disebabkan oleh tingginya curah hujan dan topografi wilayah berupa dataran rendah hingga cekung atau kemampuan infiltrasi tanah rendah sehingga tanah tidak mampu menyerap air. Selain itu, banjir juga dapat didefinisikan sebagai luapan air sungai akibat ketidakmampuan sungai menampung air. Berdasarkan hal tersebut maka dapat dikatakan bahwa faktor utama penyebab banjir antara lain tingginya intensitas curah hujan dalam waktu yang lama serta kondisi lahan (bentuk lahan dan sifat fisiknya).

2.7. Mini mikro hidro

Teknologi pembangkit energi listrik skala kecil dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu mikro hidro dan mini hidro. Mikro hidro dan mini hidro adalah istilah yang digunakan untuk instalasi pembangkit listrik yang menggunakan sumber energi air. Sumber daya penghasil listrik pada sistem ini berupa air yang memiliki kapasitas aliran dan ketinggian tertentu dari instalasi. Semakin besar kapasitas aliran dan ketinggiannya, maka akan semakin besar energi listrik yang dihasilkan. Instalasi mikro hidro biasanya menghasilkan daya lebih rendah dari 100 W, sedangkan untuk daya berkisar 100 s/d 5.000 W digunakan mini hidro.

Energi listrik yang dihasilkan dapat diketahui dengan mudah. Perhitungan daya dan energi listrik pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dapat dibagi dalam beberapa tahapan, yaitu daya poros turbin (2.38), daya yang ditransmisikan ke generator (2.39), dan daya yang dibangkitkan generator (2.40).

$$P_t = 9,81 \times Q \times H \times n_t \dots\dots\dots (2.38)$$

$$P_{trans} = 9,81 \times Q \times H \times n_t \times n_{belt} \dots\dots\dots (2.39)$$

$$P = 9,81 \times Q \times H \times n_t \times n_{belt} \times n_{gen} \dots\dots\dots (2.40)$$

Keterangan:

P_t	=	Daya poros turbin
P_{trans}	=	Daya yang ditransmisikan ke generator
P	=	Daya yang dibangkitkan generator
Q	=	Debit air ($m^3/detik$)
H	=	Ketinggian efektif (m)
n_t	=	efisiensi turbin 0,74 untuk turbin <i>crossflow</i> T-14 0,75 untuk turbin <i>propeller open flume</i> lokal
n_{belt}	=	0,98 untuk <i>flat belt</i> dan 0,95 untuk <i>V belt</i>
n_{gen}	=	efisiensi generator

Daya yang dibangkitkan generator (P) akan disalurkan ke pengguna. Dalam perencanaan jumlah kebutuhan daya di pusat beban harus di bawah kapasitas daya terbangkit, sehingga tegangan listrik stabil dan sistem menjadi lebih handal (berumur panjang). Gambar 2.43 menunjukkan instalasi pembangkit listrik tenaga air skala kecil.

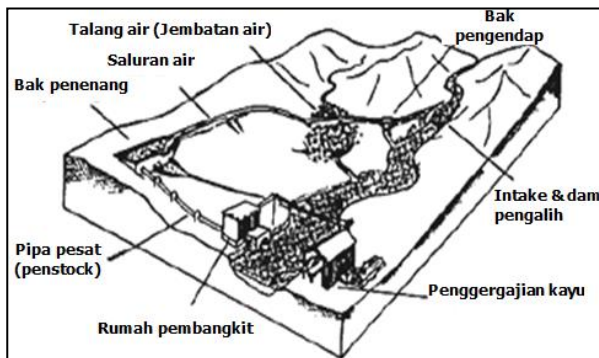
Pembangkit listrik tenaga mini hidro ataupun mikro hidro tidak harus memanfaatkan energi air berupa air terjun, tetapi instalasi dapat diatur sedemikian rupa sehingga sumber daya air yang tersedia dapat untuk membangkitkan energi listrik.

Komponen-komponen pembangkit listrik dalam sistem mikro hidro biasanya terdiri atas (Gambar 2.44):

- Intake dan dam pengalih
- Bak pengendap
- Talang air (jembatan air)
- Saluran air
- Bak penenang
- Pipa pesat (penstock)
- Rumah pembangkit
- Pengguna (misalnya penggergajian kayu, pabrik tahu-tempe, penggilingan padi, dan sebagainya)



Gambar 2.43. Rangkaian pembangkit listrik mikrohidro
(<http://images.google.co.id>)



Gambar 2.44. Komponen-komponen pembangkit listrik mikro hidro
(<http://www.w3.org/1999/xhtml>)



BAB 3

SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS

3.1 Sejarah dan Perkembangan SIG

Perkembangan Sistem Informasi Geografis (SIG) atau dalam Bahasa Inggris dikenal sebagai GIS (*Geographic Information System*) tidak terlepas dari perkembangan Teknologi Informasi. Teknologi Informasi adalah hasil rekayasa manusia terhadap proses penyampaian informasi dari pengirim ke penerima sehingga pengiriman informasi akan menjadi:

- lebih cepat
- lebih luas sebarannya, dan
- lebih lama penyimpanannya.

Pada awal sejarah peradaban, manusia bertukar informasi melalui bahasa (suara). Selanjutnya, pertukaran informasi meningkat melalui gambar. Seiring perkembangan peradaban dengan adanya penemuan alfabet dan angka arabik, maka penyampaian informasi menjadi lebih efisien. Di abad pertengahan berkaitan dengan penemuan energi, berkembang pula teknologi percetakan. Hal ini memberi dampak kepada pengiriman informasi, sehinggamenjadi lebih cepat.

Abad 17, teknologi elektronika menggeliat. Fenomena ini juga berimbas pada bidang teknologi informasi. Penyampaian informasi menjadi lebih mudah, waktu yang dibutuhkan untuk penyebaran

menjadi lebih singkat, meliputi area yang lebih luas, dan masa dokumentasi informasi menjadi lebih lama.

Jim Domsic dari Michigan memperkenalkan istilah teknologi informasi pada bulan November 1981. Seorang manajer komputer yang berhubungan dengan industri otomotif. Jim Domsic juga mengemukakan istilah modernisasi sebagai produk dari pemrosesan data (*data processing*). Teknologi informasi didefinisikan sebagai teknologi yang menggabungkan komputasi (komputer) dengan jalur komunikasi yang membawa data, suara, atau video (Williams & Sawyer, 2011).

Sejarah perkembangan SIG dimulai pada tahun 1700-an, di mana teknik survei modern untuk pemetaan topografis diterapkan. Penerapan teknologi tersebut termasuk juga versi awal pemetaan tematis, misalnya untuk keilmuan atau data sensus. Pada awal abad ke-20 ada pengembangan litografi foto (*photo lithography*). Kondisi ini berimbas kepada pengembangan peta, yang memisahkan data dalam peta menjadi beberapa lapisan (*layer*). Perkembangan perangkat keras komputer yang dipacu oleh penelitian senjata nuklir membawa aplikasi pemetaan menjadi multifungsi pada awal 1960-an.

Tahun 1967 merupakan awal pengembangan SIG yang bisa diterapkan di Ottawa (Ontario) oleh Departemen Energi, Pertambangan, dan Sumber Daya. Roger Tomlinson merupakan pakar yang mengembangkan SIG, kemudian disebut CGIS (*Canadian Geographic Information System*). Sistem ini digunakan untuk menyimpan, menganalisis, dan mengolah data yang dikumpulkan untuk inventarisasi tanah di wilayah Kanada yang dikenal sebagai CLI (*Canadian Land Inventory*). CLI merupakan inisiatif untuk mengetahui kemampuan lahan di wilayah pedesaan Kanada dengan memetakan berbagai informasi tentang tanah, pertanian, pariwisata, alam bebas, unggas dan penggunaan tanah pada skala 1:250.000. Faktor pemeringkatan (klasifikasi) juga diterapkan untuk keperluan analisis.

CGIS merupakan sistem pertama di dunia sebagai hasil dari perbaikan aplikasi pemetaan yang memiliki beragam kemampuan. Kemampuan CGIS, diantaranya adalah tumpang-susun (*overlay*), melakukan perhitungan, pendigitalan-pemindaian (*digitizing-scanning*), mendukung sistem koordinat nasional yang membentang di atas benua Amerika, memasukkan garis sebagai *arc* yang memiliki topologi, serta menyimpan atribut dan informasi lokasional pada berkas terpisah. CGIS bertahan hanya sampai tahun 1970-an. Hal ini disebabkan oleh lamanya waktu yang dibutuhkan untuk penyempurnaan setelah pengembangan awal. Di samping itu, CGIS tidak bisa bersaing dengan aplikasi pemetaan komersil yang dikeluarkan beberapa vendor, diantaranya adalah Intergraph.

Perkembangan perangkat keras mikro komputer memacu vendor lainnya, misalnya ESRI, CARIS, dan MapInfo, hingga berhasil membuat banyak fitur SIG. Mereka mampu menggabungkan pendekatan generasi pertama pada pemisahan informasi spasial dan atributnya dengan pendekatan generasi kedua dalam organisasi data atribut menjadi struktur *database*.

Perkembangan industri pada tahun 1980-an dan 1990-an memacu lagi pertumbuhan SIG pada *workstation* UNIX dan PC (*Personal Computer*). Pada akhir abad ke-20, pertumbuhan cepat di berbagai sistem dikonsolidasikan dan distandarisasikan menjadi *platform* yang lebih efisien. Para pengguna mulai mengeksplor dan menampilkan data SIG lewat internet, yang membutuhkan standar pada format data dan sistem transfer.

Indonesia sudah mengadopsi sistem ini sejak Pelita (Pembangunan Lima Tahun) ke-2. Ketika itu LIPI mengundang UNESCO dalam menyusun "Kebijakan dan Program Pembangunan Lima Tahun Tahap Kedua (1974-1979)" untuk pembangunan ilmu pengetahuan, teknologi, dan riset. Sejak 2016, kebijakan satu peta untuk berbagai tampilan data sudah diterapkan. Badan Informasi Geospasial (BIG) sudah berkoordinasi dengan berbagai institusi yang terkait dengan

pengelolaan data, demikian juga dengan Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.



Gambar 3.1. Berbagai layanan informasi berbasis SIG dikelola oleh BIG

Pesatnya perkembangan teknologi komputer, memungkinkan pengembangan lebih pesat lagi dalam metode yang dapat mengikatkan data atribut (karakter atau numerik) dengan data grafis di dalam komputer. Hal ini memberikan kemudahan dalam prosedur pencarian data melalui koordinat lokasi, atau sebaliknya mencari data atribut melalui penunjukan suatu lokasi obyek grafis pada layar komputer. Sistem ini dikenal sebagai SIG (Sistem Informasi Geografis). Selain memiliki kemampuan tersebut, SIG juga dilengkapi dengan kemampuan lain, misalnya pembuatan peta tematik, tumpang-susun (*overlay*) peta, perhitungan fenomena proses alam berbasis spasial, pemodelan data spasial (*spatial data modeling*), dan sebagainya.

Penggunaan SIG melalui proses tumpang-susun layer-layer data terkait sebagai parameter dalam kasus-kasus tertentu berimplikasi kepada hasil analisis yang lebih akurat, mudah, dan efisien. Misalnya

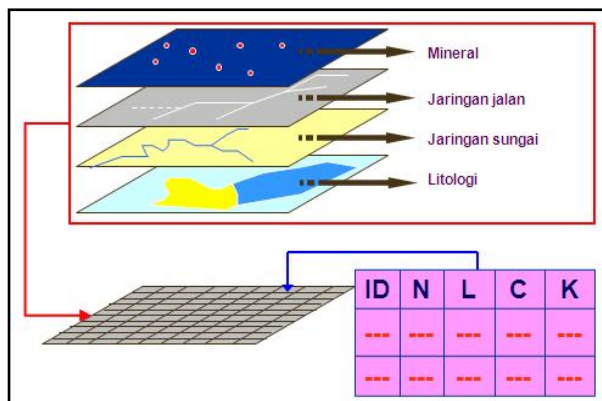
untuk perhitungan intensitas erosi, zonasi kawasan rawan erosi, zonasi kawasan rawan banjir, penataan ruang untuk kawasan pariwisata, kawasan industri, kawasan permukiman, dan sebagainya.

3.2 Definisi dan Konsep Dasar SIG

SIG didefinisikan sebagai suatu sistem informasi yang dapat mengaitkan dan menganalisis data yang diikat dengan lokasi geografi data tersebut berada. Definisi ini mempunyai implikasi sangat luas, sehingga bermunculan beragam definisi SIG dalam berbagai literatur. Keragaman definisi ini pada dasarnya dikaitkan kepada aplikasi yang memanfaatkan teknologi ini.

Rhin (1989; dalam Anonim, 1994b) memandang SIG dari aspek pengelolaan dan perencanaan, mendefinisikan SIG sebagai berikut:

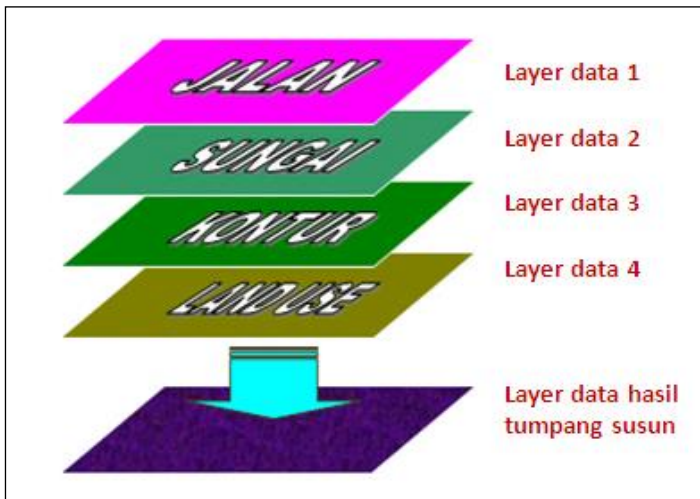
A system of hardware, software, and procedure designed to support the capture, management, manipulation, analysis, modeling, and display of spatially registered data for solving complex planning and management problems.



Gambar 3.2. Konsep dasar Sistem Informasi Geografis

Sementara itu, Aronoff (1989) mengungkapkan bahwa:
GIS are computer-based systems that are used to store and manipulate geographic information. It is designed for collection, storage, and analysis of objects and phenomena where geographic location is an important characteristic or critical to the analysis.

Definisi lain yang senada cukup banyak, tetapi satu hal yang konsisten adalah SIG berfungsi sebagai pengolah data yang diikat oleh posisi geografi dan memanfaatkan komputer sebagai sarana penyimpanan dan pengolahannya (Burrough, 1986).



Gambar 3.3. Konsep *overlay* data dalam SIG

Konsep dasar SIG adalah data dikelola dan dihimpun dalam suatu layer. Setiap layer berisikan data sejenis baik berupa informasi tematik atau obyek bertipe poligon, garis, dan titik, diikat dengan sistem koordinat yang sama. Masing-masing obyek dalam setiap layer dapat dikaitkan dengan data atribut yang disimpan dan dikelola

menggunakan DBMS (*Data Base Management System*). Informasi berupa data pokok atau data teknis operasional dapat dengan mudah dibangun menggunakan suatu DBMS. Pengait antara data grafis dan atribut inilah yang membentuk sebuah Sistem Informasi Geografis (Gambar 3.2).

Berdasarkan keterangan di atas dapat dibayangkan bahwa sebuah SIG merupakan sebuah sistem, di mana data grafis dan atribut dapat disimpan dengan pengaturan tata ruang sesuai kehendak pemakai. Suatu hal yang sangat menguntungkan bahwa data tersimpan sudah dalam bentuk digital dan disusun menurut kaidah serta mekanisme teknis. Hal ini memberi kemudahan dalam pemanggilan kembali, pembaharuan (*update*), atau penyusunan tata letak (*layout*) kembali untuk menghasilkan *output* yang diinginkan (Gambar 3.3). Kemudahan ini membuka peluang besar untuk menggunakan data tersebut dalam berbagai aplikasi, baik sebagai bahan informasi atau untuk kajian-kajian teknis.

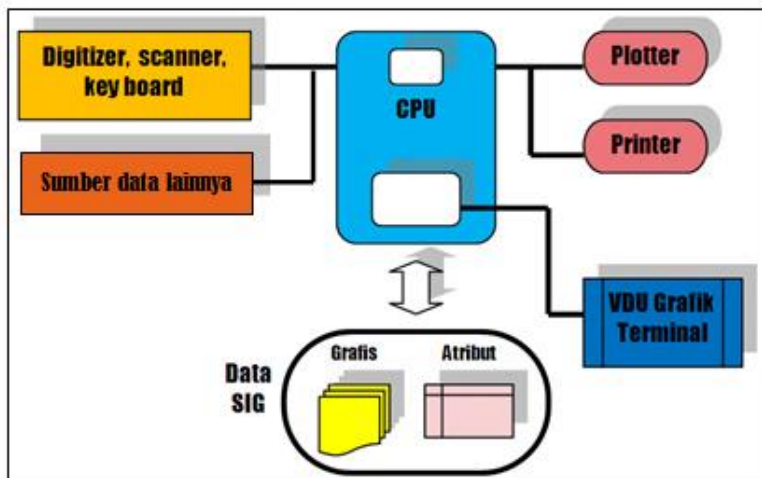
Dalam suatu SIG, komputer tentu saja memegang peranan cukup penting. Saat ini secara komersial telah tersedia berbagai perangkat lunak (*software*) yang khusus untuk menangani berbagai permasalahan dalam penerapan SIG, sejak pemasukan data hingga interpretasi dan analisis spasial yang dibutuhkan. Keragaman perangkat lunak ini pada umumnya terkait dengan spesifikasi perangkat keras (*hardware*) yang dibutuhkan serta jenis aplikasi yang diterapkan. Selain itu, kini telah tersedia pula berbagai *turn-key system* untuk keperluan SIG yang khusus. Kehadiran PC (*Personal Computer*) memberikan dampak positif dalam pengembangan suatu SIG. Kemampuan yang fenomenal dari PC saat ini telah memungkinkan untuk mengembangkan SIG yang siap pakai dan tepat guna dalam semua aplikasi. Harga yang relatif semakin murah serta kemudahan dalam pengoperasiannya membuat PC menjadi *plat-form* yang cukup populer.

Di abad milenium ini, telah berkembang dengan pesat *laptop* dan *notebook*, perangkat *portable* yang mudah dibawa. Kemampuan kedua *hardware* juga tidak kalah dengan PC. Bentuknya yang ramping dengan aneka ukuran menjadi daya tarik tersendiri, bahkan hampir menggantikan peran PC. Laptop merupakan perangkat *gadget* pengganti PC desktop. Laptop memiliki kinerja yang sama baiknya dengan PC desktop. Laptop memiliki tempat untuk memutar CD atau DVD, pada umumnya *compatible* dengan berbagai hardware. Istilah *notebook* dapat diartikan sebagai buku catatan, yang berarti perangkat ini sangat mudah untuk digunakan sebagaimana menulis pada sebuah buku catatan. Dalam hal ukuran, *notebook* memiliki ukuran yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan *laptop*. *Notebook* memiliki kelebihan lainnya, yaitu daya tahan baterai yang lebih awet dan ringan. Kekurangan dari *notebook* terletak pada keterbatasan fitur yang dapat disematkan di dalamnya. Perangkat ini juga tidak memiliki tempat untuk memutar CD atau DVD sehingga perlu perangkat tambahan (<http://pusatteknologi.com/>).

Suatu SIG-*workstation* biasanya dilengkapi *digitizer-scanner*, *plotter*, dan terminal (VDU) grafik untuk pemasukan dan penyajian data grafis. Seiring perkembangan teknologi, peran digitizer digantikan oleh berbagai perangkat portable lainnya seperti scanner dan kamera digital. Bahkan data yang diperoleh melalui teknologi canggih, kini bisa langsung koneksi dengan komputer sebagai unit pengolah data. Program komputer yang dibutuhkan pada umumnya terdiri atas 2 komponen utama. Komponen pertama khusus untuk mengelola data grafis dan komponen yang kedua pada dasarnya berupa DBMS.

Gambar 3.4 menampilkan konfigurasi untuk SIG-*workstation* dengan komponen utamanya. Data grafis dimasukkan melalui *digitizer* atau melalui proses digitasi di monitor bila sumber data grafis sudah dalam format raster hasil *scanner*, disimpan dalam bentuk koordinat yang divisualkan sebagai data spasial. Data atribut pada umumnya dimasukkan melalui terminal untuk selanjutnya dihimpun dan ditata

dalam *database* atribut. Kedua kelompok *database* ini dirangkum oleh SIG dalam suatu lingkup yang terpadu, setiap elemen dikaitkan menurut kaidah dan metode yang sudah dirancang. Penelaahan data secara interaktif dilakukan melalui VDU terminal, sedangkan pelaporan dan penggambaran peta dilaksanakan pada *printer* atau *plotter* yang terpasang.



Gambar 3.4. Konfigurasi umum SIG-Workstation

Efisiensi suatu SIG sangat ditentukan dari struktur data yang dianut, DBMS, dan kemampuan dari *plat-form* komputer yang digunakan. Beberapa paket program SIG menyediakan fasilitas *macro instruction language* yang dapat digunakan untuk membuat aplikasi yang tidak tercakup di dalam paket. Hal ini tentu saja memberi peluang untuk berkreasi terhadap sistem informasi yang dibangun, serta analisis khusus terhadap data yang tersimpan.

3.3 Komponen SIG

Pada dasarnya Sistem Informasi Geografis (SIG) terdiri atas 5 komponen utama, yaitu (Gambar 3.5):

- Data
- Perangkat keras komputer (*Computer hardware*)
- Perangkat lunak komputer (*Computer software*)
- Tenaga pelaksana komputer (*Computer brainware*)
- Sistem (*system*)

Masing-masing dibahas lebih rinci dalam beberapa sub bab di bawah ini.

3.3.1 Data

Data merupakan pendukung utama dalam SIG, tanpa data SIG tidak akan ada fungsi dan artinya. Sebaliknya, data yang lengkap akan sangat menunjang sistem informasi yang dibangun. Berdasarkan jenis dan cara penanganannya, data dapat dikelompokkan dalam 2 (dua) kelompok, yaitu data grafis atau spasial dan data atribut atau a-spasial.

Peta merupakan representasi grafik dari elemen geografi yang terdistribusi menurut keruangan (spasial), dinamakan juga fitur peta (*map feature*). Fitur peta ini disajikan melalui sekumpulan elemen grafik seperti titik, garis, dan *area*. Peta menyampaikan informasi tentang lokasi unsur atau objek alam dan buatan manusia, karakteristik unsur dan hubungan keruangan dengan unsur lainnya. Data peta digital merupakan fitur peta yang disimpan dalam besaran-besaran numerik dan angka-angka koordinat. Jadi data yang disajikan tidak lagi berupa lembaran-lembaran peta, tetapi sudah dalam bentuk layer-layer data digital.

Data didukung perangkat keras dan perangkat lunak komputer, dapat diolah dan dimanipulasi untuk berbagai kebutuhan dalam SIG. Hal ini dapat dilakukan karena data dalam bentuk digital bersifat fleksibel dan mudah diperbaharui. Berbeda halnya dengan peta-peta

konvensional (dalam bentuk *hardcopy*) yang terbatas dalam menyajikan informasi, maka peta digital dapat memuat berbagai macam informasi yang dikumpulkan dalam suatu *database*. Informasi ini tidak hanya data grafis, tetapi juga sudah dapat diintegrasikan dengan segala informasi yang berkaitan dengan peta.

Di samping data grafis (peta), maka SIG memerlukan data non-grafis (atribut atau a-spasial). Data atribut yang dibutuhkan tergantung dari kebutuhan dan tujuan pemakaian SIG itu sendiri. Bila diaplikasikan untuk bidang telekomunikasi, maka atribut yang diperlukan banyak menyangkut jaringan kabel, lokasi telepon umum, distribusi pelanggan telepon, dan sebagainya. Data atribut harus berformat digital sehingga memudahkan dalam proses penggabungan dengan data grafis.

Pengadaan data peta tergantung jenis peta yang akan diproduksi. Jenis peta tersebut mungkin saja berupa peta rupa bumi atau peta tematik. Data ini tentunya dapat diperoleh dari peta-peta yang telah ada, foto udara, atau pun citra satelit. Data peta yang telah tersedia perlu diteliti akurasi, *up to date* – nya, dan kelengkapan informasi. Cara yang cepat untuk memperbaharui dan melengkapi data dapat menggunakan data dari citra satelit. Di samping itu, dalam jangka waktu cukup lama, solusi yang dilakukan dapat berupa pemasukan data melalui digitasi dan fotogrametri digital (*digital monoplottting*).

3.3.2 Perangkat Keras

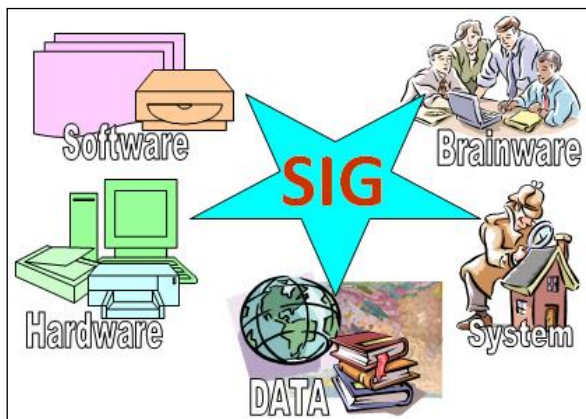
Data dimasukkan ke dalam komputer melalui unit masukan, misalnya *keyboard*, *scanner*, dan *digitizer*. Pemasukan data juga dapat melalui konversi dari data dalam format lain.

Digitizer digunakan untuk konversi data dari lembaran peta ke dalam bentuk digital dan menyimpannya dalam komputer. *Digitizer* adalah *a tool used to convert hand-drawn images into a format suitable for computer processing* (<http://whatis.techtarget.com/>). Bicara masalah *digitizer*, sekitar tahun 1990-an di Indonesia telah

banyak beredar di pasaran dengan beragam variasi ukuran dan merk. Ukuran digitizer yang umum adalah A0, A1, A2, A3, mengikuti ukuran standar kertas. Namun perangkat ini kini sudah tidak populer lagi. Keberadaannya digantikan oleh *scanner*. Bahkan kini sudah tersedia LCD digitizer yang penggunaannya dengan cara menyentuh pada layar. Alat ini juga digunakan untuk *handphone*.

Komponen atau unit pengolah utama yang dikenal dengan istilah CPU (*Central Processing Unit*) dapat dihubungkan ke unit penyimpanan data atau program seperti *floppy disk* (disket), *hard disk*, CD (*Compact Disk*), DVD (*Digital Versatile Disc*), *magnetic tape*, *flashdisk*, dan alat penyimpan data lainnya. Dari berbagai alat penyimpan tersebut, *flashdisk* yang paling populer.

Plotter merupakan salah satu alat keluaran (*output device*) yang digunakan untuk menyajikan hasil pengolahan data secara grafis dalam bentuk *hardcopy*. Selain itu dapat juga digunakan layar komputer dan printer untuk visualisasi.



Gambar 3.5. Komponen utama pendukung SIG

Pemakai (*user*) dapat mengontrol komputer dan periferalnya melalui VDU (*Visual Display Unit*). Unit ini dikenal dengan sebutan terminal (*workstation*). Terminal yang digunakan pemakai dapat berupa sebuah komputer micro (PC) atau perangkat khusus yang memudahkan visualisasi secara cepat.

Komunikasi antar komputer dapat dilakukan dari satu tempat ke tempat lain menggunakan alat tambahan untuk berkomunikasi antar komputer maupun antar jaringan komputer (*network*).

3.3.3 Perangkat Lunak

Paket *software* untuk SIG pada dasarnya terdiri atas lima modul teknis. Modul-modul dasar ini merupakan beberapa subsistem yang mempunyai fungsi, diantaranya:

- Pemasukan data dan pengecekan
- Penyimpanan data
- *Data output* dan presentasi
- Manipulasi data
- Interaksi dengan berbagai pemakai

Pemasukan data meliputi semua aspek transformasi data dari peta-peta yang ada, survei lapangan, sensor (hasil foto udara, satelit, dan sebagainya) ke dalam bentuk digital yang kompatibel. Untuk kebutuhan ini diperlukan berbagai peralatan komputer termasuk di dalamnya terminal yang interaktif, *digitizer*, *scanner* dan berbagai alat penyimpanan data.

Penyimpanan dan pengelolaan basis data lebih ditekankan pada strukturisasi dan pengorganisasian data posisi, topologi dan elemen geografi seperti titik, garis dan poligon yang mewakili obyek di permukaan bumi. Data tersebut ditangani oleh suatu program komputer yang dikenal dengan sistem pengelolaan basis data atau istilahnya DBMS (*DataBase management System*).

Output data dan presentasi merupakan subsistem yang mengelola penyajian data dan hasil analisis untuk disajikan kepada pemakai. Data dapat ditampilkan dalam bentuk peta, tabel dan gambar-gambar grafik berbagai variasi. Visualisasi pada layar komputer tergantung kemampuan alat tersebut, semakin tinggi resolusinya maka semakin teliti hasil yang disajikan. Dalam tingkatan komputer mikro (PC), standar yang baik untuk visualisasi tersebut misalnya layar komputer dengan resolusi VGA (*Video Graphic Array*).

Manipulasi data mencakup dua kelas operasi, yaitu:

- Manipulasi untuk mengeliminir kesalahan-kesalahan data atau menjaga agar data tetap mutakhir dan mencocokkan data dengan komponen data yang lain.
- Manipulasi yang dapat diaplikasikan terhadap data agar dapat menjawab berbagai pertanyaan dalam SIG.

Manipulasi data dapat dioperasikan terhadap data spasial dan aspek-aspek a-spasial baik secara kombinasi maupun terpisah. Misalnya perubahan skala, proyeksi, perhitungan luas dan keliling, dan sebagainya.

3.3.4 Tenaga Pelaksana

Tingkat kemampuan dan latar belakang tenaga pelaksana (pemakai) sangat mempengaruhi kelancaran sistem yang dioperasikannya. Penting kiranya untuk memberi bekal dengan mengikutsertakan dalam seminar atau pelatihan yang sering diadakan oleh berbagai instansi pemerintah, swasta maupun organisasi profesi.

Ada beberapa tingkatan pemakai, misalnya level operator, supervisor atau pimpinan. Tingkat penguasaan teknis yang dibutuhkan ketiga level (tingkatan) tenaga pelaksana tersebut akan berbeda, juga latar belakang pendidikan dan pengalamannya.

3.3.5 Sistem

Sistem merupakan program yang digunakan untuk menangani dan mengelola data sebagai bahan informasi yang akan ditampilkan. Sistem yang baik adalah fleksibel, artinya dapat dikembangkan dan sesuai dengan kemajuan tingkat kebutuhan pemakai yang memanfaatkan sistem tersebut. Penyesuaian ini dapat dilakukan tanpa harus mengubah secara total sistem yang telah dibangun dan diterapkan.

Sistem yang digunakan harus mampu menangani perubahan data setiap saat dan mengenal serta mampu menganalisis atau mengkonversi data yang berasal dari format sistem lain. Dapat dikatakan bahwa sistem harus kompatibel dengan sistem lain yang telah diterapkan di berbagai instansi lain. Hal ini untuk menjaga agar informasi yang beredar tetap dalam jangkauan sistem tersebut.

3.4 Struktur Data

Secara umum struktur data dapat dikelompokkan dalam struktur data sederhana dan struktur data majemuk. Contoh struktur data sederhana adalah *array* dan *record*. Sementara itu, struktur data majemuk dapat dikelompokkan lagi dalam linier dan non linier. Contoh struktur data majemuk linier adalah *Stack*, *Queue*, dan *Linier Linked List*. *Binary Tree*, *Binary Search Tree*, *Graph* merupakan contoh struktur data majemuk non linier.

Dalam kaitannya dengan data spasial, struktur data yang digunakan pada umumnya bertipe majemuk dan kombinasinya. Struktur data erat kaitannya dengan aspek topologi, yaitu prosedur matematis untuk menyatakan hubungan antar data spasial. Beberapa struktur data yang dapat digunakan untuk aplikasi pembuatan peta digital, diantaranya adalah DLG, GBF atau DIME, GIRAS, GRID.

3.4.1 DLG

DLG (*Digital Line Graphs*) merupakan versi digital dari *USGS Topographic Map Series*. Seri peta ini sebagian besar berukuran 7,5 inci² dengan skala 1:24.000 atau 1:25.000, termasuk juga data skala 1:2.000.000.

File DLG berdasarkan pada konsep *line graph*. File ini terdiri atas kumpulan *node* (titik dalam bidang) dan *link* (segmen garis yang menghubungkan *node*). Kombinasi ini untuk menyatakan hubungan keruangan pada peta sebagai seri dari *node*, *link*, dan *area*.

3.4.2 GBF atau DIME

GBF (*Geographic Base File*) atau DIME (*Dual Independent Map Encoding*) diciptakan oleh *US Census Bureau* sebagai versi peta digital dari seri peta metropolitan mereka. Seri peta ini mencakup seluruh pusat kota dan suburban yang populasi penduduknya bersambungan dari wilayah kota menurut statistik *US Standard Metropolitan*.

Data dalam file GBF atau DIME meliputi *range* alamat blok demi blok, kode geografi (misalnya, untuk jalur sensus dan blok) dan koordinasi perpotongannya.

3.4.3 GIRAS

GIRAS (*Geographic Information Retrieval and Analysis System*) dikembangkan oleh *US Geological Survey* untuk menyimpan data dari seri peta *Land Use* dan *Land Cover* ke dalam bentuk digital. Seri peta ini biasanya mempunyai skala 1:250.000 dan meliputi data tentang *land use*, *land cover*, unit administrasi, unit hidrologi dan status kepemilikan lahan.

3.4.4 GRID

Data grid berasal dari sistem grid atau data hasil penyiaman (*scanning*) yang menggunakan matriks kolom dan baris untuk penggambaran dan penyimpanan fitur peta. Data grid umumnya *cell*

encoded yaitu setiap *cell* diberi nilai (kode) menurut unsur yang terdapat di dalam *cell* tersebut.

Tabel 3.1. Keuntungan dan kerugian penggunaan format data vektor dan raster (Burrough, 1986)

STATUS	VEKTOR	RASTER
Keuntungan	• Baik dalam mewakili data geografi • Struktur datanya kompleks • Dapat menjelaskan topografi • Grafik akurat • memungkinkan dapat memanggil, memperbaharui, dan generalisasi data spasial serta atribut	• Struktur data sederhana • <i>Overlay</i> data lebih mudah • Simulasi sederhana • Teknologi murah dan cepat berkembang
Kerugian	• Struktur data kompleks • Sukar melakukan overlay dalam hubungannya dengan analisis • Hampir tidak mungkin melakukan analisis spasial dalam poligon • Sulit untuk simulasi • Teknologinya mahal	• Volume data besar • Ukuran sel yang besar menyebabkan ketelitian berkurang • Sukar melakukan transformasi atau proyeksi • Hasil peta kurang teliti

Pola penyimpanan data grafis mengikuti format data vektor dan raster. Data dalam bentuk vektor disimpan dalam angka-angka koordinat, sedangkan data raster mengikuti sistem grid. Dalam format

data vektor, hubungan antar data dinyatakan oleh titik, garis dan poligon, sedangkan format data grid mengikuti aturan sistem grid.

Dari keempat struktur data di atas yang termasuk dalam format vektor adalah DLG, DIME, dan GIRAS. Format data vektor dan raster memiliki beberapa keunggulan dan kelemahan jika dibandingkan satu sama lain. Burrough (1986) menjabarkan beberapa perbedaan antara data dalam format vektor dan raster (Tabel 3.1)

3.5 Proyeksi Peta dan Sistem Koordinat

Peta topografi merupakan gambaran kondisi suatu *area* tertentu di permukaan bumi pada bidang datar (lembar kertas) dalam ukuran kecil. Kondisi yang dimaksud di atas meliputi unsur-unsur alam, buatan manusia serta bentuk permukaan bumi. Unsur alam dan buatan manusia disajikan dalam bentuk simbol-simbol sedangkan bentuk permukaan bumi disajikan dalam bentuk garis kontur.

Peranan peta topografi sangat penting dalam berbagai hal perencanaan dan survei. Oleh karena itu, suatu peta topografi perlu memuat informasi yang lengkap tentang permukaan bumi dan juga memberikan informasi geometrik yang meliputi jarak antara titik, luas, dan bentuk areal juga arah garis yang akurat.

Permukaan bumi secara keseluruhan merupakan permukaan lengkung yang tidak mungkin bisa dibentangkan menjadi datar tanpa mengalami perubahan (*distorsi*). Hal ini menjadi alasan bahwa pembuatan peta topografi yang bisa memenuhi persyaratan geometrik merupakan pekerjaan yang tidak mudah.

Pembuatan peta topografi akan menjadi lebih sederhana, apabila pemetaan dilakukan untuk areal yang relatif kecil. Pada kasus ini permukaan bumi bisa dianggap sebagai permukaan bidang datar. Apabila peta daerah yang kecil ini tidak disambungkan dengan peta lain di sekitarnya, maka peta tersebut bisa berdiri sendiri dan dapat dianggap sebagai perkecilan dari daerah tersebut. Dengan demikian persoalan-persoalan peta yang ideal bisa dipenuhi secara praktis.

Masalahnya akan menjadi rumit bila pemetaan mencakup wilayah yang cukup luas, karena permukaan bumi harus diperhitungkan sebagai permukaan melengkung.

Untuk memecahkan masalah ini, dikembangkan metode yang disebut proyeksi peta. Dengan proyeksi peta, luas suatu areal dapat dibuat sesuai dengan aslinya tetapi bentuknya akan mengalami perubahan, demikian pula sebaliknya. Akan tetapi selalu bisa diusahakan agar perubahan-perubahan yang terjadi sekecil mungkin.

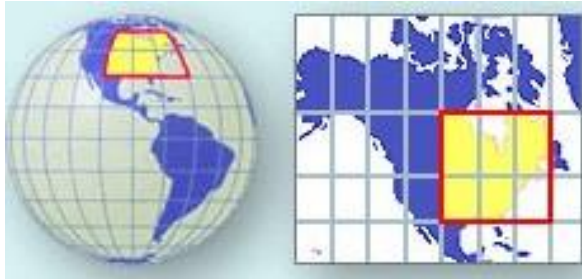
3.5.1 Definisi Proyeksi Peta

Definisi proyeksi peta cukup beragam, diantaranya adalah (Anonim, 1994b):

- i) Suatu sistem pemindahan garis-garis kurva dari lingkaran-lingkaran meridian dan paralel yang terdapat pada *globe* (berbentuk bola) ke atas permukaan datar lembaran kertas (Marbun, 1980).
- ii) Cara memindahkan keadaan dari permukaan bumi ke bidang datar peta (Wongsotjitro, 1982).
- iii) Suatu sistem yang memberikan hubungan antara posisi titik-titik di bumi dan di peta (Prihandito, 1988).

Secara umum proyeksi peta bertujuan memindahkan pola atau unsur-unsur dari suatu permukaan ke permukaan lain dengan menggunakan aturan matematis tertentu sehingga tercapai suatu keadaan sesuai keinginan, meliputi ciri-ciri asli yang akan dipertahankan, yaitu:

- Jarak dipertahankan sama (*equidistance projection*)
- Sudut dipertahankan sama (*conform projection*)
- Luas dipertahankan sama (*equivalent projection*)



(<https://www.ck12.org>)



(<http://www.statcan.gc.ca>)

Gambar 3.6. Konsep proyeksi permukaan bumi dengan penyesuaian skala

Suatu hal yang perlu diingat, bahwa dalam proyeksi peta, pengertian permukaan bumi bukan permukaan bumi dalam arti sebenarnya (fisik), tetapi permukaan bumi dalam pengertian geometris (matematis). Bentuk permukaan bumi secara global di

dalam pengertian geometris berbentuk *ellips* putar (*ellipsoid*) dengan ukuran tertentu.

3.5.2 Klasifikasi Proyeksi Peta

Untuk memenuhi satu atau lebih syarat-syarat peta yang ideal biasa dilakukan hal sebagai berikut:

- Membagi daerah yang dipetakan menjadi bagian-bagian yang tidak begitu luas.
- Menggunakan bidang datar atau bidang yang dapat didatarkan tanpa mengalami distorsi (misal: kerucut dan silinder)

Metode proyeksi dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- Proyeksi langsung (*direct projection*), yaitu proyeksi dilakukan dari *ellipsoid* ke bidang proyeksi.
- Proyeksi ganda (*double projection*) merupakan proyeksi dari *ellipsoid* ke bidang bola kemudian dari bidang bola ke bidang proyeksi.

Pemilihan jenis proyeksi tergantung pada beberapa hal, diantaranya sebagai berikut:

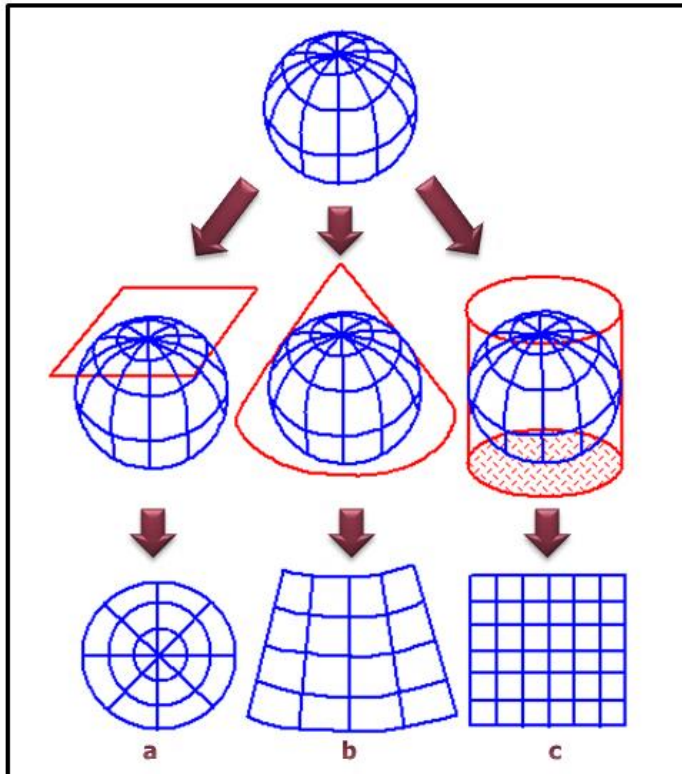
- Ciri tertentu, yaitu ciri-ciri asli yang harus dipertahankan terkait tujuan peta.
- Besar dan bentuk daerah yang dipetakan.
- Letak daerah di permukaan bumi.

Berdasarkan pertimbangan ekstrinsik dan intrinsik, proyeksi peta diklasifikasikan sebagai berikut:

- Menurut bidang proyeksi yang digunakan (Gambar 3.7):
 - Proyeksi azimuth (*zenithal*), bidang proyeksi berupa bidang datar.
 - Proyeksi kerucut (*conic*), bidang proyeksi berupa kerucut.
 - Proyeksi silinder (*cylindrical*), bidang proyeksi berupa silinder.

Pada proyeksi azimuth, sumbu simetrinya merupakan garis yang melalui pusat bumi dan tegak lurus pada bidang proyeksi. Sedangkan pada proyeksi kerucut dan silinder sumbu simetrinya

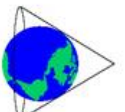
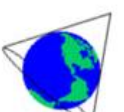
merupakan sumbu dari kerucut dan silinder serta melalui pusat bumi.



Gambar 3.7. Tipe proyeksi berdasarkan bidang proyeksi, (a) proyeksi azimuth (b) proyeksi kerucut (c) proyeksi silinder.

- Berdasarkan sifat-sifat asli yang dipertahankan:
 - Proyeksi ekuivalen, luas di atas peta sama dengan di permukaan bumi (dengan memperhitungkan skala).

- Proyeksi konform, besar sudut penampang normal di ellipsoid sama dengan besar sudut pada bidang proyeksi (bentuk sama).
- Proyeksi ekuidistan, jarak di peta sama dengan di permukaan bumi (dengan memperhitungkan skala).
- Berdasarkan generasi:
 - Geometris, proyeksi perspektif atau proyeksi sentral
 - Matematis, tidak dilakukan proyeksi, semuanya diperoleh dengan perhitungan matematis.
 - Semi geometris, sebagian peta diproyeksikan secara geometris dan sebagian titik-titik diperoleh dengan perhitungan matematis.

Proyeksi	Normal	Transversal	Miring
Azimuth			
Kerucut			
Silinder			

Gambar 3.8. Beberapa kenampakan tipe proyeksi berdasarkan posisi sumbu simetri dan bidang proyeksi (modifikasi dari <http://geoexpose.blogspot.com> dan <https://www.google.co.id>)

- Berdasarkan posisi sumbu simetri bidang proyeksi:
 - Proyeksi normal, sumbu simetri berimpit dengan sumbu bumi.
 - Proyeksi miring, sumbu simetri membentuk sudut dengan sumbu bumi.
 - Proyeksi transversal, sumbu simetri tegak lurus dengan sumbu bumi.
- Berdasarkan kedudukan persinggungannya:
 - *Tangent*, apabila bola bumi bersinggungan dengan bidang proyeksi.
 - *Secant*, apabila bola bumi berpotongan dengan bidang proyeksi.
 - *Polysuperficial (polyconic, polycylindric)*, terdiri atas banyak bidang proyeksi, misalnya suatu seri dari kerucut.

3.5.3 Penerapan Proyeksi Peta Pada Kartografi

Pengertian proyeksi peta pada pekerjaan kartografi adalah suatu cara penggambaran koordinat titik-titik di permukaan bumi menjadi koordinat titik-titik di bidang proyeksi. Masalah proyeksi peta berhubungan dengan penggambaran kerangka peta yang meliputi antara lain skala peta, *graticule*, grid, garis tepi.

Skala peta

Skala peta adalah perbandingan jarak antara dua titik di peta dengan jarak sebenarnya dari dua titik tersebut di permukaan bumi. Contoh, jika jarak antara dua titik di lapangan (kondisi sebenarnya) adalah 2,5 km dan digambarkan di peta dengan jarak 2,5 cm, maka skala peta adalah:

$$\frac{2,5 \text{ cm}}{2,5 \text{ km}} = \frac{2,5 \text{ cm}}{2500 \times 100 \text{ cm}} = \frac{1}{100.000}$$

Skala peta di atas secara numerik biasa dituliskan 1:100.000. Jika suatu peta diketahui skalanya maka akan dapat dihitung jarak kedua titik baik di peta maupun di lapangan.

Di samping dalam bentuk angka, penyajian skala dapat juga dalam bentuk grafis. Skala grafis yaitu suatu garis menggambarkan hubungan antara ukuran jarak di peta dengan jarak sebenarnya di lapangan. Pada dasarnya terdapat tiga macam skala peta yang biasa dipergunakan dalam pekerjaan pemetaan, yaitu skala besar, skala sedang dan skala kecil. Besar bilangan skala untuk tiga macam peta tersebut beragam, tergantung pada pembuat dan pemakai peta. ICA (*International Cartographic Association*) membedakan atas:

- Skala besar, lebih besar dari 1:25.000
- Skala sedang, 1:50.000 hingga 1:100.000
- Skala kecil, kurang dari 1:200.000

Graticule

Pengertian *graticule* adalah garis-garis kerangka yang merupakan garis paralel dari *latitude* dan garis meridian dari *longitude* yang tergambar pada muka peta dan kadang-kadang juga merupakan batas muka peta.

Graticule mempunyai panjang busur yang berubah-ubah ke arah utara dan selatan dari ekuator. Besaran busur akan mengecil bila menjauhi kutub utara maupun selatan (mendekati ekuator).

Pada peta – peta berskala besar umumnya jarang digunakan pernyataan lintang dan bujur (*graticule*) untuk menentukan posisi suatu titik atau tempat. Sebaliknya untuk peta-peta berskala kecil, sering digunakan pernyataan lintang dan bujur untuk menentukan posisi titik atau tempat tersebut.

Grid

Grid merupakan garis-garis saling tegak lurus dan perpotongannya merupakan koordinat proyeksi. Garis-garis ini tergambar pada muka peta dan kadang juga merupakan garis tepi peta.

Penggunaan grid lebih banyak pada peta berskala besar dan jarang digunakan pada peta berskala kecil. Pada beberapa jenis pekerjaan pemetaan sering digunakan grid dengan koordinat lokal yang hanya dapat dipergunakan untuk keperluan tertentu atau terbatas. Untuk pemetaan bersistem harus digunakan sistem grid yang seragam, misalnya UTM Grid.

Tabel 3.2. Penyajian garis grid, *graticule* dan garis tepi pada beberapa skala peta

Skala	Jarak Grid	Jarak Graticule	Garis tepi
1:5.000	0,1	-	grid
1:10.000	1,0	-	grid
1:25.000	1,0	-	grid
1:50.000	1,0	5'	grid
1:100.000	1,0	5'	grid
1:250.000	10,0	5'	grid / <i>graticule</i>
1:500.000	10,0	30' atau 1°	<i>graticule</i>
1:1.000.000	-	1°	<i>graticule</i>
1:5.000.000	-	5°	<i>graticule</i>

Garis Tepi Peta

Garis tepi peta adalah garis yang membatasi seluruh detail dalam peta. Garis tepi peta dibedakan menjadi 2 (dua) macam, yaitu:

- Garis grid, umumnya digunakan untuk peta berskala besar dan sejumlah peta berskala sedang. Konsekuensi penggunaan garis

grid sebagai garis tepi peta adalah bentuk dari peta selalu empat persegi panjang.

- b) Garis *graticule*, umumnya digunakan untuk peta skala kecil dan sebagian skala sedang. Bentuk peta yang menggunakan garis tepi *graticule* tidak empat persegi panjang melainkan konvergen.

3.5.4 Koordinat geografi

Koordinat geografi adalah sistem koordinat lengkung yang terdiri atas paralel atau lintang dan meridian atau bujur (Gambar 3.9). Baik lintang maupun bujur dalam satuan derajat. Lingkaran kedua komponen tersebut sama dengan lingkaran bumi yaitu 360° , lebih jauh lagi terbagi dalam menit dan detik ($60 \text{ detik} = 1 \text{ menit}$, $60 \text{ menit} = 1 \text{ derajat}$).



Gambar 3.9. Kenampakan garis-garis lintang (*latitude*) dan bujur (*longitude*) pada bola bumi (<http://www.statcan.gc.ca/>)

Akibat putaran bumi pada sumbu antara kutub utara dan selatan, maka diizinkan untuk konstruksi dari *concentric, parallel circles*, dengan garis referensi yang seolah-olah pada pusat utara-selatan, dibagi ekuator. Lingkaran paralel di sebelah utara ekuator disebut garis lintang utara sedangkan yang berada di selatan ekuator disebut lintang selatan. Baik lintang utara maupun lintang selatan mempunyai nilai dari 0° di ekuator hingga 90° di kutub. Posisi pada arah barat dan timur diterangkan oleh garis *longitude* (bujur). Garis bujur bukan paralel dan tidak konvergen di kutub. Garis-garis tersebut berpotongan tegak lurus dengan garis *latitude* (lintang).

Berbeda dengan ekuator, *longitude* (bujur) tidak memiliki nilai 0 secara alami. Pada tahun 1884, disetujui bahwa garis bujur dimulai dari Royal Observatory di Greenwich, Inggris. Oleh karena itu, awal dari sistem koordinat geografi adalah perpotongan antara ekuator dan garis lintang yang melalui Kota Greenwich (sebagai garis bujur 0°). Perlu dicatat bahwa garis bujur bernilai 180° merupakan garis penanggalan internasional. Garis bujur yang berada di barat kota Greenwich bernilai 0° hingga 180° Bujur Barat sedangkan yang berada di sebelah timur bernilai 0° hingga 180° Bujur Timur.

Koordinat geografi suatu titik di permukaan bumi ditentukan berdasarkan perpotongan antara bujur dan lintang yang melalui titik tersebut. Nilai koordinat geografi pada suatu titik dinotasikan sebagai (B,L) dengan satuan sudut (derajat, menit, detik), di mana B menunjukkan nilai bujur dan L menunjukkan lintang.

3.5.5 Proyeksi peta di Indonesia

Pembuatan peta umumnya direncanakan dengan kombinasi kedudukan sumbu simetri, bidang proyeksi, dan distorsinya. Dewasa ini dikenal berbagai macam sistem proyeksi. Di Indonesia biasa digunakan beberapa sistem proyeksi saja, seperti proyeksi Polyeder, Mercator, dan UTM (*Universal Transverse Mercator*).

Proyeksi Polyeder

Proyeksi ini digunakan untuk pembuatan peta topografi skala 1:25.000, 1:50.000, 1:100.000. Tipe proyeksi yang digunakan adalah kerucut-normal-konform (Tabel 3.3). Bidang proyeksi berupa kerucut, sumbu simetri berimpit dengan sumbu bumi, dan besar sudut penampang normal di ellipsoid sama dengan besar sudut pada bidang proyeksi (bentuk sama).

Tabel 3.3. Proyeksi polyeder

Parameter	Spesifikasi
Tipe proyeksi	kerucut normal konform
Ukuran derajat	20' x 20'
Titik nol	perpotongan meridian dan paralel tengah setiap bagian derajat
Sumbu Y	Meridian tengah
Sumbu X	Tegak lurus sumbu Y di titik nol
Ordinat Y	dihitung dari sumbu X, positif ke utara
Absis X	Dihitung dari sumbu Y, positif ke timur
Satuan	Meter
Faktor skala paralel di bagian tengah	1.000

Penomoran bagian derajat, mulai nomor 1/1 dengan koordinat geodetik $Lo = 5^{\circ} 50' U$, $Bo = 11^{\circ} 50'$ sebelah barat meridian Jakarta sampai No. L1/96 dengan $Lo = 10^{\circ} 50' S$, $Bo = 19^{\circ} 50' T$.

Proyeksi Mercator

Proyeksi ini digunakan untuk pembuatan peta topografi skala 1:25.000, 1:50.000. Tipe proyeksi silinder-normal-konform. Bidang proyeksi berupa silinder, sumbu simetri berimpit dengan sumbu bumi,

dan besar sudut penampang normal di ellipsoid sama dengan besar sudut pada bidang proyeksi (bentuk sama). Ciri-ciri proyeksi ini ditunjukkan oleh Tabel 3.4.

Tabel 3.4. Proyeksi Mercator

Parameter	Spesifikasi
Tipe proyeksi	Silinder normal konform
Titik nol	perpotongan meridian Jakarta ($106^{\circ} 48' 27,79''$) dengan ekuator
Sumbu Y	Meridian Jakarta
Sumbu X	Ekuator
Ordinat Y	dihitung dari sumbu X, positif ke utara
Absis X	Dihitung dari sumbu Y, positif ke timur
Satuan	Meter
Faktor skala di equator	1.000
ellipsoid referensi	Bessel 1841

Proyeksi *Universal Transverse Mercator* (UTM)

Proyeksi ini untuk menyatukan berbagai macam sistem proyeksi yang ada di Indonesia serta dimulainya suatu pemetaan sistematis. BAKOSURTANAL yang kini berubah nama menjadi BIG (Badan Informasi Geospasial) menetapkan satu sistem proyeksi untuk semua peta dasar bersistem dengan skala 1:50.000 dan skala yang lebih besar yaitu sistem proyeksi UTM. Tipe proyeksi silinder-transversal-konform. Bidang proyeksi berupa silinder, sumbu simetri tegak lurus dengan sumbu bumi, dan besar sudut penampang normal di ellipsoid sama dengan besar sudut pada bidang proyeksi (bentuk sama). Ciri proyeksi ini ditampilkan dalam Tabel 3.5.

Tabel 3.5. Proyeksi UTM

Parameter	Spesifikasi
Tipe proyeksi	Silindertransversal konform
Lebar wilayah (zone)	6 derajat
Titik nol	perpotongan meridian tengah zone dengan ekuator
Sumbu Y	Meridian tengah zone
Sumbu x	Ekuator
Satuan	Meter
Faktor skala di meridian tengah	0,996

Penomoran bagian derajat (zone) 1 dimulai dari bujur 180° B sampai 174° B, Zone 2 dari 174° B hingga 168° B, demikian seterusnya sampai zone 60 dengan bujur 174° T hingga 180° T. Batas lintang 84° U hingga 80° S. Wilayah Indonesia tercakup dalam nomor 46 hingga 54 dengan meridian tengahnya (Bo) berturut-turut: 93°, 99°, 105°, 111°, 117°, 123°, 129°, 135°, 141° BT.

Pada sistem gridmetrik, meridian tengah diberi absis fiktif sebesar 500.000 meter dan untuk menghindari angka negatif bagi ordinat titik di sebelah selatan ekuator, maka ekuator diberi ordinat 10.000.000 meter. Sedangkan bagi ordinat titik-titik di utara ekuator diberi ordinat 0 meter.

Berdasarkan ketentuan di atas, maka untuk menghindari besaran yang bertanda negatif pada sistem koordinat UTM berlaku perhitungan sebagai berikut:

- Bila titiknya di barat meridian tengah, maka
 $X_{utm} = 500.000 - X$
- Bila titiknya di timur meridian tengah, maka
 $X_{utm} = 500.000 + X$

- Bila titiknya di utara ekuator, maka $Y_{utm} = Y$
- bila titiknya di selatan ekuator, maka
$$Y_{utm} = 10.000.000 - Y$$

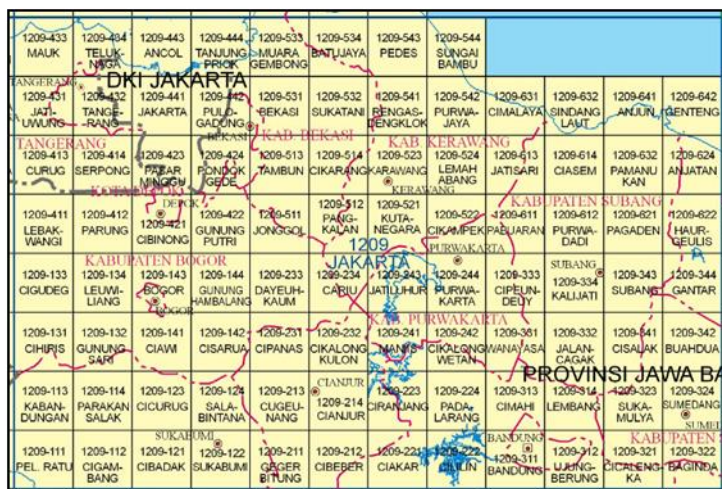
Penulisan koordinat suatu titik dengan sistem koordinat UTM dinyatakan dengan (X UTM, Y UTM) yang disertai dengan nomor zone dan kode jalur tempat titik tersebut berada.

3.6 Ragam Peta

Berdasarkan fungsinya peta dapat dikelompokkan dalam peta dasar dan peta tematik. Kadang-kadang suatu peta tematik disiplin ilmu tertentu dapat menjadi peta dasar bagi disiplin ilmu lainnya. Jadi pengertian peta dasar masih menjadi bahan perdebatan. Barangkali akan lebih cocok kalau istilah peta dasar diganti menjadi peta baku (standar). Contoh yang sering dipakai untuk peta baku adalah peta topografi yang dapat diperoleh dalam berbagai skala, tergantung tingkat kebutuhan terkait dengan akurasi peta tematik yang akan dihasilkan. Beberapa contoh peta tematik diantaranya adalah:

- Peta geologi regional
- Peta tata guna lahan
- Peta seismotektonik
- Peta hidrogeologi
- Peta sebaran gunung api

Peta topografi merupakan gambaran kondisi suatu area tertentu di permukaan bumi pada bidang datar dalam ukuran kecil. Di Indonesia institusi yang memiliki kewenangan untuk menerbitkan peta topografi adalah Bakosurtanal, yang kini telah berganti nama menjadi Badan Informasi Geospasial (BIG). Peta topografi yang diterbitkan oleh BIG dikenal sebagai Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI), yaitu peta topografi yang menampilkan sebagian unsur-unsur alam dan buatan manusia di wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia (<http://www.bakosurtanal.go.id>).



Gambar 3.10. Contoh peta indeks RBI skala 1:25.000

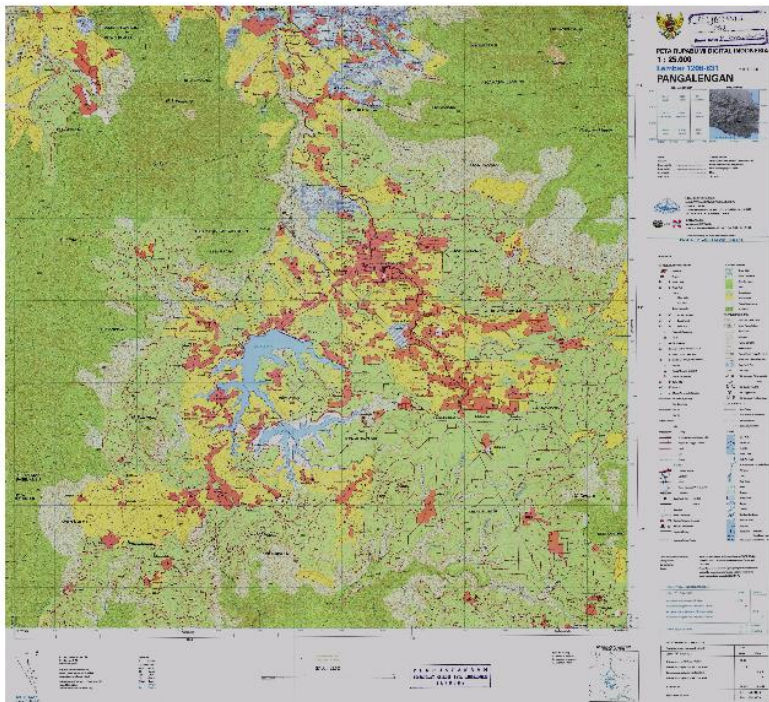
(<http://www.bakosurtanal.go.id>)

Peta RBI tersedia dalam skala 1:250.000, 1:50.000, 1: 25.000, dan 1:10.000. Untuk P. Jawa tersedia Peta RBI dalam skala 1: 25.000, sementara itu di luar P. Jawa paling besar tersedia dalam skala 1:50.000. Untuk kemudahan perolehan peta dasar yang diperlukan, BIG menerbitkan Peta Indeks RBI yang dapat diunduh dari *website* (Gambar 3.10). Contoh peta RBI ditampilkan dalam Gambar 3.11 dan 3.12

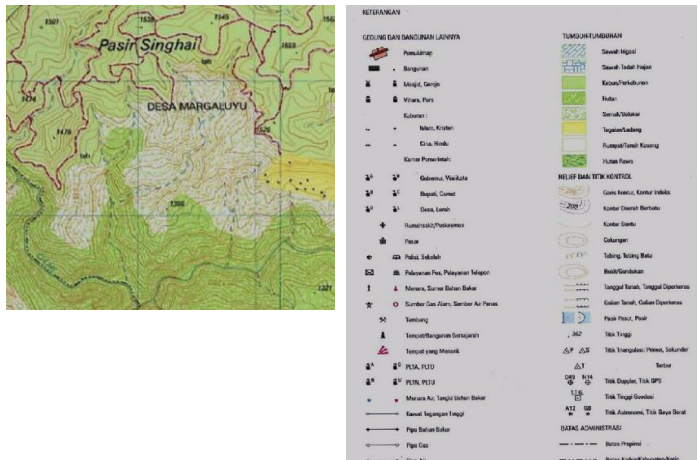
Unsur-unsur kenampakan rupa bumi dikelompokkan menjadi 7 tema, yaitu:

- 1) Tema 1 adalah penutup lahan, berupa area tutupan lahan diantaranya adalah hutan, sawah, pemukiman.
- 2) Tema 2 adalah hidrografi, berupa unsur perairan seperti sungai, danau, garis pantai, dan sebagainya.
- 3) Tema 3 adalah hipsografi, berupa data ketinggian seperti titik tinggi dan kontur.

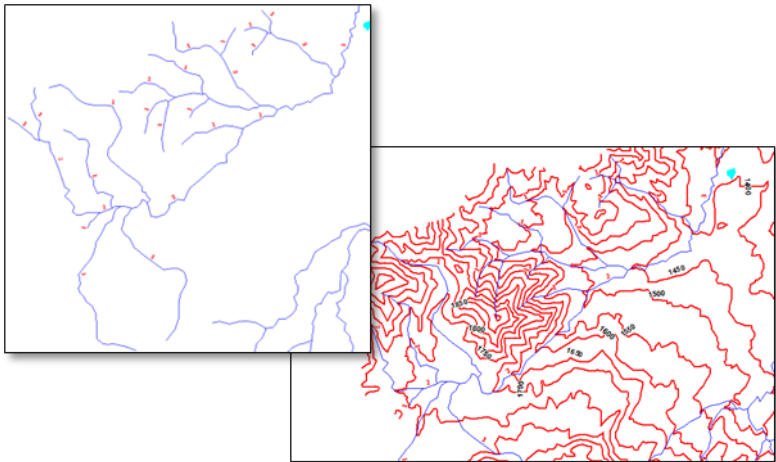
- 4) Tema 4 yaitu bangunan, berupa gedung, rumah, bangunan perkantoran, dan budaya lainnya.
- 5) Tema 5 berupa transportasi dan utilitas, meliputi jaringan jalan, kereta api, kabel transmisi, dan jembatan.
- 6) Tema 6 berupa batas administrasi yang mencakup batas negara, batas provinsi, batas kota, batas kabupaten, batas kecamatan, dan batas desa.
- 7) Tema 7 berupa toponimi yang mencakup nama-nama geografi seperti nama pulau, nama selat, nama gunung, dan sebagainya.



Gambar 3.11. Peta RBI lembar Pangalengan



Gambar 3.12. Sebagian Peta Rupa Bumi Lembar Pangalengan beserta keterangan (legend)



Gambar 3.13. Sebagian Peta Rupa Bumi Lembar Pangalengan dalam format digital

Peta tematik adalah peta yang menyajikan tema tertentu dan untuk kepentingan tertentu (*land status*, penduduk, transportasi, dll.) dengan menggunakan peta rupabumi yang telah disederhanakan sebagai dasar untuk meletakkan informasi tematiknya (<http://www.bakosurtanal.go.id>). Pusat Pemetaan & Integrasi Tematik menyediakan layanan Katalog Data Tematik Sumber Daya Alam Darat, yang meliputi:

- Geomorfologi
- Liputan Lahan
- Lahan Basah
- Kawasan Konservasi
- Potensi Kawasan Lindung
- Ekosistem
- Lahan Kritis
- Resiko Bencana
- Neraca Sumber Daya Lahan
- Neraca Sumber Daya Air
- Neraca Sumber Daya Hutan
- Neraca Sumber Mineral
- Daerah Aliran Sungai
- Integrasi Neraca

Peta- peta tersebut tersedia dengan skala:

- Skala 1:2.500.000
- Skala 1:1.000.000
- Skala 1:250.000
- Skala 1:100.000
- Skala 1:50.000
- Skala 1:25.000

BIG juga menyediakan Peta Kedirgantaraan (LBI dan WAC). Peta LBI adalah peta dasar dalam perencanaan, pengelolaan dan pengembangan kawasan Bandar Udara Indonesia (tercakup berbagai

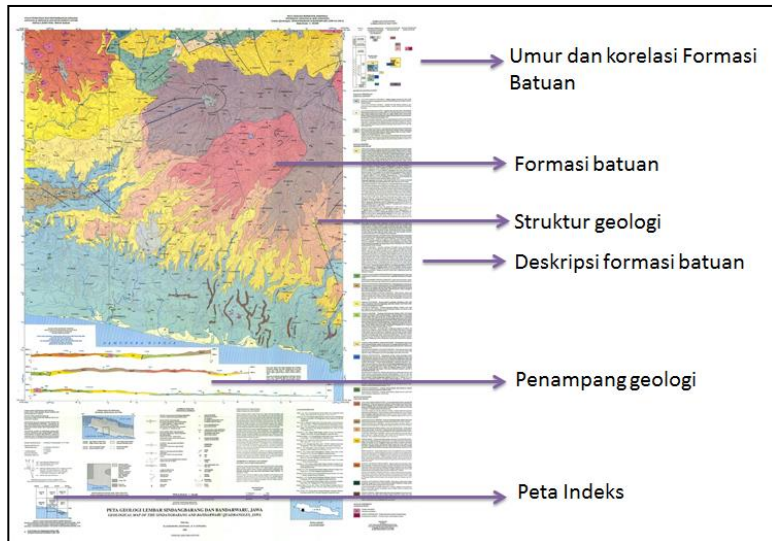
alat bantu navigasi udara dan rintangan-rintangan penerbangan di seputar bandara). WAC (*world aeronautical chart*) adalah peta yang dipergunakan untuk keperluan navigasi secara visual, yang menggunakan proyeksi bidang kerucut dengan tujuan mempertahankan arah.

Peta geologi adalah bentuk ungkapan data dan informasi geologi suatu daerah atau wilayah atau kawasan dengan tingkat kualitas berdasarkan skala (<http://psdg.bgl.esdm.go.id>). Peta tersebut menggambarkan informasi sebaran dan jenis serta sifat batuan, umur, stratigrafi, stuktur, tektonika, fisiografi, sumberdaya mineral & energi. Peta geologi disajikan berupa gambar dengan warna, simbol dan corak atau gabungan ketiganya. Penjelasan berisi informasi, misalnya situasi daerah, tafsiran dan rekaan geologi, dapat diterangkan dalam bentuk keterangan pinggir.

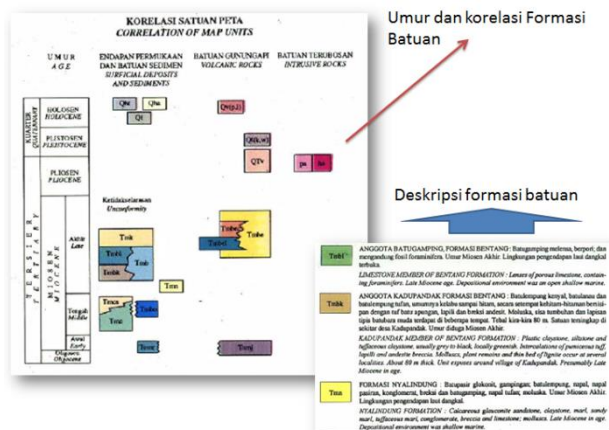
Peta geologi berskala 1:250.000 dan yang lebih besar (1:100.000; 1:50.000; dan seterusnya) disebut peta geologi skala besar, bertujuan menyediakan informasi geologi. Peta geologi berskala 1:50.000 menyajikan informasi yang lebih rinci dari peta geologi berskala 1:100.000 dan seterusnya. Peta geologi berskala 1:500.000 dan yang lebih kecil (1:1.000.000; 1:2.000.000 dan 1:5.000.000) disebut peta geologi berskala kecil, bertujuan menyajikan tataan geologi regional dan sintesisnya.

Seluruh wilayah daratan Indonesia tercakup dalam peta geologi sistematik dari berbagai skala sebagai berikut :

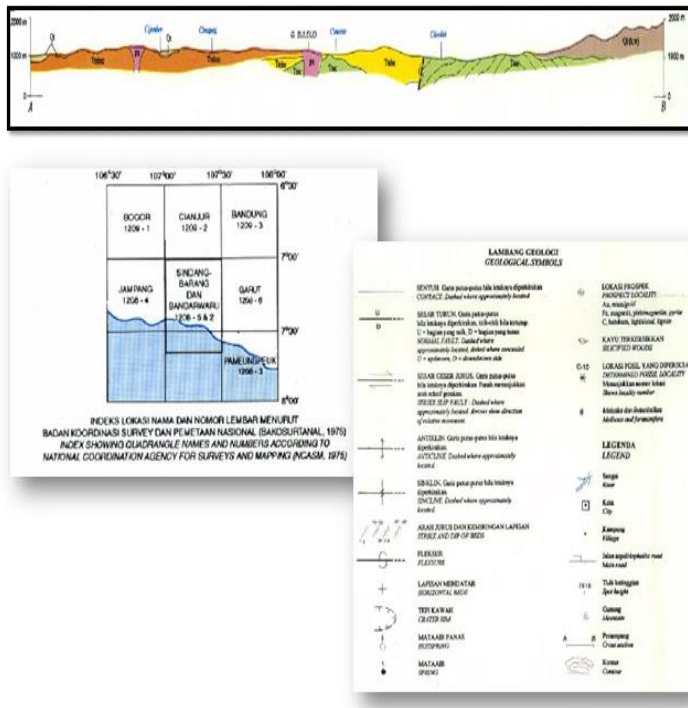
- i) 1007 lembar peta geologi skala 1:100.000.
- ii) 198 lembar peta geologi skala 1:250.000.
- iii) 76 lembar peta geologi skala 1:500.000.
- iv) 16 lembar peta geologi skala 1:1.000.000.
- v) 2 lembar peta geologi skala 1:2.000.000.
- vi) 1 lembar peta geologi skala 1:5.000.000



Gambar 3.14. Peta Geologi skala 1:100.000 beserta legendanya



Gambar 3.15. Legenda peta geologi memberikan informasi umur dan korelasi formasi batuan serta deskripsi batuan

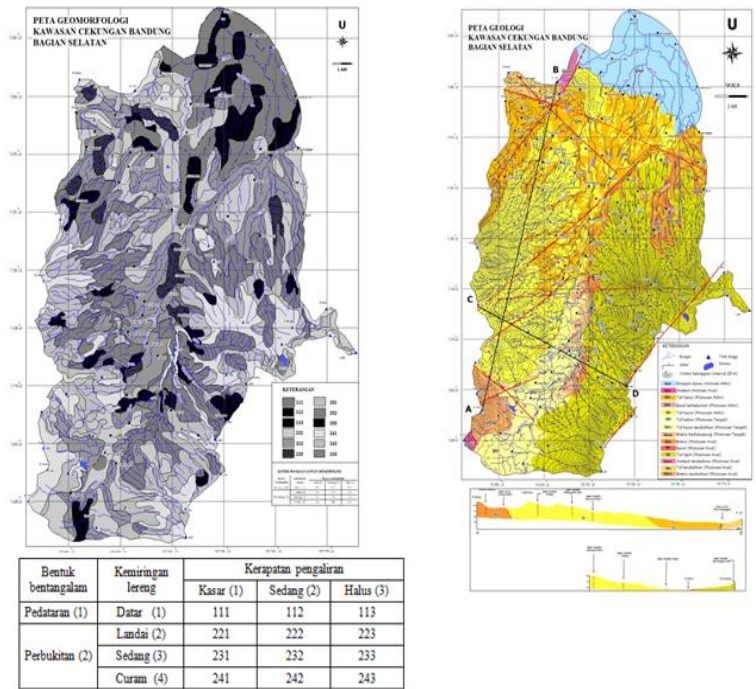


Gambar 3.16. Penampang geologi, peta indeks, dan keterangan lainnya dalam Peta Geologi.

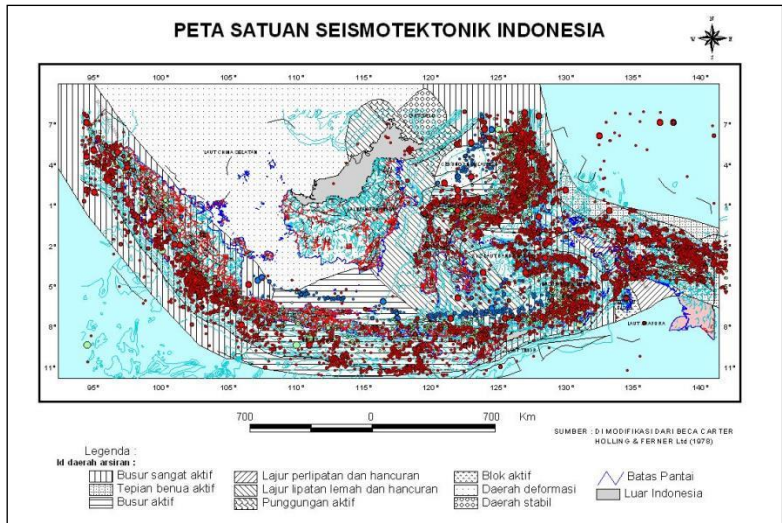
Ragam peta tematik lainnya yang tersedia di BIG, diantaranya:

- i) Peta Tata Guna Lahan adalah Peta yang menampilkan penggunaan lahan di suatu wilayah, bisa diperoleh dari Peta RBI
- ii) Peta hidrogeologi adalah Peta yang menggambarkan pelamparan akuifer, bersama-sama dengan kondisi geologi, hidrogeologi, meteorologi dan tampilan air permukaan yang perlu untuk memahami suatu rejim air tanah (International Legend for Hydrogeological Maps, Unesco, 1983).

iii) Peta seismotektonik adalah Peta yang menampilkan hubungan seismisitas (kegempaan) dan tektonik suatu wilayah, yang juga memperlihatkan pergeseran tanah (*ground faulting*), guncangan tanah (*ground shaking*) beserta bencana ikutannya seperti gerakan tanah (*land slides*) dan pelulukan (*liquefaction*), serta resiko tsunami, yang mencerminkan tingkat kerusakan (Gambar 3.18).



Gambar 3.17. Contoh peta tematik lainnya



Gambar 3.18. Peta seismotektonik Indonesia (Soehaimi dkk, 2004)

BAB 4

PANDUAN PENGGUNAAN PERANGKAT LUNAK SIG

Perangkat lunak berbasis Sistem Informasi Geografis banyak tersedia, bahkan ada yang gratis. Beragam vendor berlomba menawarkan produknya. Biasanya faktor kemampuan perangkat lunak dan harga menjadi indikator perkembangan pesat suatu perangkat lunak.

Beberapa perangkat lunak SIG, diantaranya MapInfo, Global Mapper, Quantum GIS, ARC GIS, ArcView, Arc Info, dsb. Masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan yang dapat saling melengkapi untuk memanjakan pengguna.

Global Mapper memiliki keistimewaan dalam hal kompatibilitasnya dengan banyak sekali format file. Sehingga dapat digunakan oleh banyak orang dari latar belakang pengetahuan perangkat lunak lain yang berbeda-beda. Global Mapper dari Intermap lebih dari sekadar alat penayang yang menampilkan arsiran, elevasi, atau kumpulan data vektor. Perangkat ini juga dapat mengkonversi, mengedit, mencetak, melacak GPS, dan memungkinkan untuk menerapkan fungsi SIG pada kumpulan data dalam satu paket perangkat lunak berbiaya rendah dan mudah digunakan.

Global Mapper mampu menampilkan elevasi data dalam 3D sesungguhnya. File data dapat di-upload sebagai lapisan. Misalnya, Model Elevasi Digital (DEM), dapat di-upload dengan peta topografis yang dipindai, untuk menciptakan tampilan 3D pada peta. Citra digital

dapat diletakkan di atas permukaan bersama dengan vektor kontur untuk menciptakan gambar yang menakjubkan dan informatif. Hasilnya dapat dicetak, atau area kerja dapat diekspor ke citra arsiran resolusi tinggi untuk digunakan dalam presentasi atau laporan.

Global Mapper bukan sekadar perangkat serbaguna, namun memiliki fungsi *built-in* untuk perhitungan jarak dan area, pembauran arsir dan penyesuaian kontras, melihat elevasi, dan perhitungan garis pandang. Kemampuan tingkat lanjut lainnya seperti rektifikasi citra, pembuatan kontur dari data permukaan, analisis tampilan arah aliran dari data permukaan, serta triangulasi dan melakukan *gridding* data titik 3D. Tugas berulang dapat diselesaikan dengan menggunakan fungsi bahasa *script* yang *built-in* atau konversi *batch* secara menyeluruh.

Dalam kaitannya dengan analisis data geomorfologi kuantitatif, buku ini fokus untuk membahas perangkat lunak MapInfo secara umum. Di samping mudah untuk mempelajarinya terutama untuk pemula, juga tidak membutuhkan *space* yang besar.

4.1 Perangkat Lunak MapInfo

MapInfo mulai dikembangkan sejak tahun 1986. Mula-mula ditujukan untuk sistem operasi cakram (DOS, singkatan dari *Disk Operating System*). Software tersebut dapat dilakukan kustomisasi dengan menggunakan MapCode Development Environment yang menggunakan bahasa pemrograman C.

Pada tahun 1990, MapInfo dirancang ulang lebih mudah dan dapat dipergunakan dalam Microsoft Windows, UNIX, serta Machintosh. MapCode Development Environment berubah menjadi bahasa yang lebih baru yaitu MapBasic. Pada versi 4 produk MapInfo yang dirilis tahun 1995, berubah nama menjadi MapInfo Professional. Hingga kini, program tersebut bertahan dengan nama MapInfo Professional. Bahkan seiring dengan perkembangan internet MapInfo Corporation telah mengeluarkan produk yang sanggup melakukan

sharing data dalam format MapInfo melalui internet. Versi MapInfo Profesional terus diperbaharui.

MapInfo Corporation berganti nama menjadi Pitney Bowes MapInfo Corp. pada bulan April 2007. Pitney Bowes MapInfo Corp. sebelumnya merupakan anak perusahaan Pitney Bowes Inc. Perusahaan ini didirikan pada tahun 1986 berbasis di Troy, New York. Kantor tambahan di Greenwich, Australia; Windsor, Inggris; dan Toronto, Kanada. Seiring dengan perkembangan perusahaan vendor tersebut, pada tanggal 7 Juli 2008, Pitney Bowes MapInfo Corp. diakuisisi oleh Pitney Bowes Software, Inc. setelah melakukan reorganisasi internal. MapInfo ProTM v.16 adalah versi terbaru yang dirilis tahun 2017.

MapInfo bersifat *multitasking*, sehingga dapat digunakan bersama-sama dengan fasilitas lain. Konsep ini disebut sebagai *desktop mapping*, sehingga memungkinkan untuk menyajikan data spasial, atribut dan grafik secara bersamaan dan saling berhubungan antara satu sama lainnya. Perangkat lunak ini dapat membuka file dBASE, FoxBASE, ASCII, Lotus 1-2-3 dan Microsoft Excel secara langsung.

MapInfo mempunyai beberapa keunggulan, diantaranya adalah:

- 1) Mampu melakukan impor file grafis dalam berbagai macam format;
- 2) Fungsi-fungsi database dapat dilakukan secara langsung;
- 3) Memiliki beragam tampilan, yaitu Map, Browser, dan Grafik;
- 4) Dapat melakukan akses database seperti Oracle maupun SyBase menggunakan table yang di "link" ke MapInfo;
- 5) Dapat membuat suatu tampilan beberapa file (*layer*) seolah-olah menjadi satu layer (*Seamless layer*).
- 6) Mampu membuat peta bertema tertentu (*thematic map*) dengan berbagai macam tipe dan template tematik yang menggunakan atribut data pada objek layer yang bersangkutan;

- 7) Mampu menampilkan data *raster* yang sesuai dengan sistem koordinat yang dipakai menggunakan metode register dan ditampilkan sebagai *background* data vektor;
- 8) Mampu *query* data untuk file (layer) tunggal dengan kriteria tertentu, bahkan mampu melakukan *SQL Query* yang melibatkan banyak file (layer) untuk mendapatkan analisa berdasarkan kriteria tertentu;
- 9) Mampu membuat *workspace* yang menyimpan semua *setting* baik map, browser, maupun grafis dan membukanya kembali di lain waktu;
- 10) Mampu melakukan OLE (*Object Linking and Embedding*) *map window* ke aplikasi lain;
- 11) Mempunyai sistem perintah komprehensif yang ditampilkan dalam bentuk *icon* maupun *pull down menu*;
- 12) Menyediakan ribuan peta siap pakai yang sudah jadi dan fungsi membuat peta lain berdasarkan peta tersebut;
- 13) Mampu menampilkan *layout window*, untuk mengatur tata letak dan skala peta serta *browser*-nya dan selanjutnya dicetak menggunakan printer atau *plotter*;
- 14) Mampu mengubah sistem proyeksi peta ke berbagai sistem proyeksi lain dengan datum yang berbeda dan menampilkannya di layar tampilan ataupun digunakan pada saat melakukan digitasi.

Namun, perangkat lunak ini pun memiliki kekurangan, yakni tidak mempunyai kemampuan untuk melakukan analisa *overlay* spasial seperti ArcGIS dan tidak mempunyai kemampuan untuk melakukan proses raster to vector menggunakan algoritma tertentu seperti halnya pada ER Mapper.

4.2 File Data

Mapinfo for windows merupakan pengembangan lebih lanjut dari MapInfo for DOS. Pengembangan dalam lingkungan Microsoft Windows menuntut beberapa penyesuaian antara lain format dan

kelengkapan file datanya. File-file data yang digunakan dalam Mapinfo for windows dapat dikelompokkan dalam file data mapinfo dan file data bukan mapinfo.

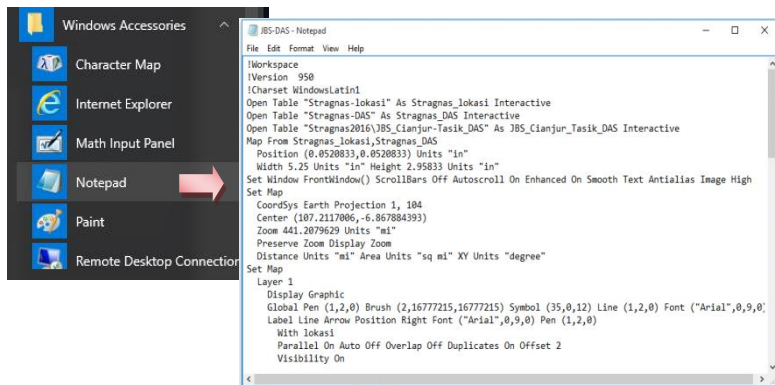
4.2.1 File Data MapInfo for windows

File Data MapInfo for windows terdiri atas beberapa file yang lebih spesifik, memiliki ekstension WOR, TAB, DAT, ID, IDX, MAP, MIF, MID, MB, MBX (Anonim, 1994a).

Tabel 4.1 File data MapInfo for windows

No	Jenis File Data	Keterangan
1.	nama file.WOR	workspace
2.	nama file.TAB	file table
3.	nama file.DAT	file data atribut
4.	nama file.ID	index
5.	nama file.IDX	index
6.	nama file.MAP	file data peta
7.	nama file.MIF	<i>MapInfo interchange format</i> (grafis)
8.	nama file.MID	<i>Mapinfo interchange format</i> (atribut)
9.	nama file.MB	kode program MapBasic
10.	nama file.MBX	program eksekusi MapBasic

WOR merupakan file workspace. Fungsi file ini adalah untuk menyimpan setting data dan tampilan yang telah disusun. Setting data yang telah dimuat dalam workspace merupakan daftar file data yang digunakan pada tampilan tersebut. Sedangkan setting tampilan berkaitan dengan ukuran jendela tampilan, pewarnaan, window data aktif, bahkan program aplikasi yang digunakan pada tampilan tersebut. File workspace ditulis dalam bentuk ASCII. Hal ini memungkinkan untuk mengubah beberapa parameter tampilan secara langsung tanpa perlu menggunakan paket program MapInfo. Misalnya menggunakan Program Notepad, seperti ditampilkan dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Salah satu program komputer untuk editing file workspace

Jenis file ".TAB" merupakan file utama yang dikaitkan sebagai data table dalam MapInfo for windows. Berkaitan dengan konsep SIG yang menggabungkan beberapa jenis informasi termasuk informasi teks dan grafis, maka file table ini akan terkait pada berbagai jenis file lain. Secara umum jenis file table dikategorikan sebagai berikut:

- i) File table Map, berisi tampilan grafis vektor dengan table atribut yang terkait padanya.
- ii) File table Browser, berisi data atribut lain yang dapat dikaitkan dengan file Map.
- iii) File table Raster, terkait pada suatu tampilan gambar raster.

Jenis file ".MIF" merupakan jenis file format *interchange* yang digunakan untuk pertukaran data dengan paket program lain. Pertukaran data ini melalui modul *export-import* baik yang dibuat oleh program MapInfo for windows sendiri, maupun yang dibuat oleh paket program aplikasi SIG yang lain. Format data file ini disimpan dalam format ASCII. File ini memuat informasi objek grafis.

File ".MID" merupakan pelengkap dari format file interchange lain (MIF). Fungsi file ini adalah untuk menangani data atribut. Setiap

data grafis yang disimpan dalam file MIF akan dipadankan dengan satu record pada file MID. Berkaitan dengan struktur data atributnya, maka pendefinisian dilakukan pada file MIF.

File “.MAP” merupakan file yang memuat informasi objek grafis untuk tampilan peta. Isi informasi file ini mencakup objek grafis (*point, line, polyline, region, text*, dan lain lain). Karena format penyimpanan file ini adalah mode biner, maka informasi data grafis tersebut tidak dapat dibaca secara langsung.

File “.DAT” merupakan file yang memuat informasi atribut. Isinya serupa dengan file DBF kecuali penambahan beberapa jenis field yang spesifik digunakan untuk MapInfo for windows. Penambahan field ini misalnya jenis field: *integer, small integer* dan *float*.

File “.ID dan IDX” merupakan file indeks yang menyimpan urutan data grafis maupun atribut berdasarkan aturan tertentu. Maksud model penyimpanan ini adalah untuk mempercepat proses pencarian data.

4.2.2 File Data bukan MapInfo for windows

Istilah tersebut berkaitan dengan fasilitas yang disediakan oleh MapInfo for windows untuk dapat menggunakan file data yang berasal dari paket program aplikasi lain, tanpa perlu konversi terlebih dahulu. Jenis file kelompok ini dapat dibedakan menjadi 2, yaitu: jenis teks atribut dan jenis gambar raster.

File data jenis atribut hanya dapat dibaca oleh MapInfo for windows. Jika akan dilakukan perubahan maka file data tersebut harus disimpan menggunakan format internal MapInfo. File data jenis gambar raster hanya berfungsi sebagai suatu tampilan latar belakang. Kemampuan ini dapat dimanfaatkan untuk melakukan digitasi di layar pada suatu gambar hasil *scanning*. Dapat juga untuk melengkapi penampikan data agar terkesan informasi yang ditampilkan lebih lengkap.

Tabel 4.2. File data bukan MapInfo for windows

No	Jenis file data	Jenis data yang dimuat	Keterangan
1	nama file.TXT	atribut	delimited ASCII
2	nama file.DBF	atribut	Dbase III
3	nama file.WK#	atribut	Lotus 123
4	nama file.XLS	atribut	Microsoft Excel
5	nama file.BMP	gambar raster	Windows Bitmap (hanya format windows)
6	nama file.GIF	gambar raster	Graphic Interchange Format, GIF89a format (hanya jenis non-interlaced)
7	nama file.JPG		Joint Photographic Experts Group
8	nama file.PCX	gambar raster	Zsoft Paintbrush. PCX file format versi 5 (Paintbrush versi 3.0)
9	nama file.BIL	gambar raster	Satelit Pour l'Observation de la Terre
10	nama file.TGA	gambar raster	Truevision TGA, Truevision file format specification 2.0
11	nama file.TIF	gambar raster	Tagged Image File format, TIFF Revision 5.0

4.3 Format Data MapInfo

Berdasarkan fungsi dan informasi yang dimiliki, format file data MapInfo dapat dikelompokkan sebagai berikut:

- File data peta (*Map Table*)
- File data atribut (*Browser Table*)
- File data gambar raster

File data peta merupakan file data yang memuat informasi mengenai peta (grafis). File data peta dapat diperoleh melalui cara *import* dari program aplikasi SIG atau Cad lain, atau dibuat melalui

proses digitasi dengan menggunakan program MapInfo for windows itu sendiri. Setiap objek grafis pada peta juga akan merupakan data tabel, di mana setiap objek grafis tersebut akan terkait pada satu record data tabel. Objek grafis peta yang jenisnya berlainan dapat ditempatkan dalam satu file yang sama. Dengan demikian, pemakai tidak akan menemukan file data grafis yang mutlak untuk jenis tertentu, seperti yang ditemui dalam MapInfo for DOS dengan *Map File*, *Boundary File* dan *Point File*.

Objek grafis yang disediakan oleh MapInfo for windows lebih lengkap. Objek grafis tersebut adalah *point*, *line*, *polygon*, *region*, *text*, *circle*, *ellips*, *box*. Dengan banyaknya pilihan fasilitas objek grafis maka semakin mudah dan efisien dalam penggunaan MapInfo for windows. Data grafis tersebut dapat juga diperoleh melalui proses import dari format data lainnya seperti MBI, MMI, IMG, DXF.

Tabel 4.3. Perbandingan jenis field data

No	DBase	MapInfo for windows
1	Logical	Logical
2	Character	Character
3	Numeric	Decimal
4	Date	Date
5	-	Integer
6	-	Small Integer
7	-	Float

File atribut memuat informasi atribut. Data dalam file ini tersusun sebagai bentuk tabular yang terdiri atas baris dan kolom data. Baris data (membentuk record data) memuat informasi masing-masing *field* secara lengkap, sedangkan kolom data merupakan kelompok data yang tersimpan dalam field tertentu. File data atribut fungsinya sama seperti halnya file *.DBF dalam Dbase. Perbedaan antara keduanya

adalah bahwa jenis *field* yang dimiliki oleh File data MapInfo for windows lebih banyak. Tabel 4.3 memuat perbandingan kelengkapan jenis *field* data tersebut.

Tipe data *logical* adalah tipe data yang digunakan untuk memberi nilai pada hasil perbandingan atau kombinasi perbandingan. Beberapa operasi untuk data jenis *logical* yaitu *and*, *or* dan *not*. *Character* adalah data tunggal yang mewakili semua huruf, simbol baca, dan juga simbol angka yang tidak dapat dioperasikan secara matematis, misalnya 'A', ... , 'Z', 'a', ... , 'z', '?', '!', dan sebagainya. *Decimal* adalah tipe data pecahan, misalnya "0,87". *Date* adalah tipe data yang digunakan untuk tanggal, bulan, dan tahun. *Integer* adalah tipe data untuk angka bulat. *Small Integer* adalah tipe data bilangan bulat yang memiliki rentang lebih kecil dari *integer*. *Float* merupakan tipe data yang dapat menampung bilangan *real* (sama dengan *numeric*).

Fungsi data raster hanya digunakan sebagai tampilan latar belakang, baik untuk melengkapi tampilan peta raster yang ada maupun untuk proses digitasi pada layar (monitor). File data raster dapat diperoleh melalui beberapa cara, yaitu:

- Hasil proses penyiaman (*scanning*) pada foto udara, peta manual, dan sebagainya.
- Data citra satelit yang telah disediakan dalam bentuk digital.

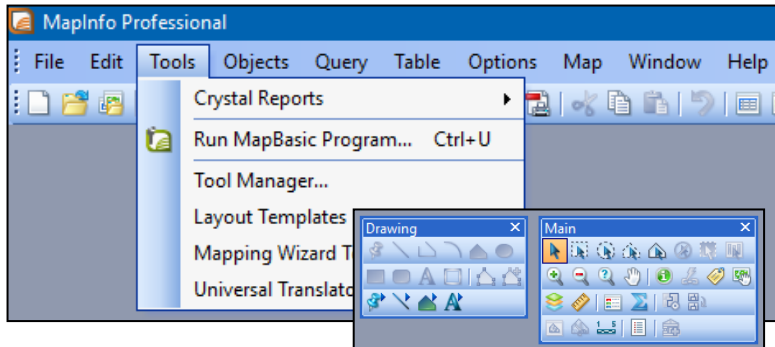
Dalam pembuatan suatu file data raster yang perlu dilakukan hanyalah proses registrasi file gambar raster itu sendiri. Maksud registrasi ini adalah memadankan file gambar raster tersebut dengan suatu ikatan koordinat bumi yang berkesesuaian. File gambar raster yang dapat digunakan sebagai file data raster pada MapInfo for windows adalah BMP, GIF, JPEG, PCX, SPOT, TARGA dan TIFF. Ukuran maksimum citra raster yang dapat digunakan oleh MapInfo for windows adalah 16.000 x 16.000 (pixel).

4.4 Menu MapInfo

Pada umumnya, menu utama MapInfo terdiri atas File, Edit, Objects, Query, Table, Options, Map, Window, dan Help. Masing-masing menu utama memiliki sub menu, yang dapat diakses dengan memilih menu utama (*pull down menu*). Berikut adalah menu dan sub menu dalam Mapinfo beserta penjelasannya:

- Select = Memilih objek atau mengembalikan bentuk mouse menjadi normal
- Radius select = Memilih objek berdasarkan radius tertentu dalam bentuk lingkaran.
- Boundary select = Memilih objek berdasarkan bentuk objek
- Graph select = Memilih grafik yang digunakan
- Marquee select = Memilih objek dalam bentuk persegi empat
- Polygon select = Memilih objek berdasarkan bentuk gambar polygon
- Unselect all = Menandakan objek grafis tidak ada yang terpilih
- Zoom-in = Membesarkan gambar peta
- Zoom-out = Mengecilkan gambar peta
- Grabber = Mengatur posisi gambar
- Change view = Mengganti tampilan peta berdasarkan zoom
- Info = Input atau menampilkan informasi dari peta yang aktif
- Label = Menampilkan label setelah diinputkan melalui sub menu info
- Layer control = Mengontrol layer yang sedang aktif
- Symbol = Memberikan simbol pada gambar peta
- Polyline = Menggambar garis tidak beraturan untuk objek grafis pada peta
- Polygon = Menggambar bentuk area untuk objek

- grafis peta yang tidak beraturan
- Rectange = Menggambar area peta berbentuk persegi empat
 - Text = Menuliskan keterangan gambar peta
 - Reshape = Digunakan untuk edit region, polyline, lines; memindahkan, menambah serta menghapus nodes dalam segmen garis
 - Symbol style = Mengganti tampilan simbol pada peta
 - Region style = Mengganti warna, arsir, dan hal lainnya berkaitan dengan objek grafis polygon pada peta
 - Line = Menggambar garis lurus
 - Arc = Menggambar garis melengkung
 - Ellipse = Menggambar area lingkaran/elips
 - Rounded rectangle = Menggambar area persegi empat dengan sudut tumpul (lengkung)
 - Frame = Membuat frame pada peta
 - Add node = Digunakan untuk menambah node pada tampilan peta (region, polyline dan arc)
 - Line style = Mengganti model garis
 - Text style = Mengganti model tulisan



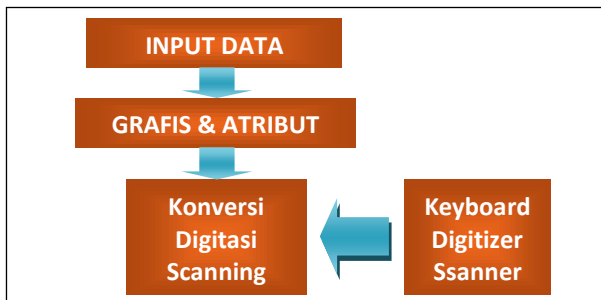
Gambar 4.2. Menu utama dan sub menu dalam MapInfo Professional Version 11.00 Release Build 15

4.5 Tahapan Pembuatan Peta Digital Menggunakan MapInfo

Pembuatan peta menggunakan MapInfo meliputi kegiatan registrasi peta (sumber data), digitasi, editing, modifikasi struktur data, dan layout. Kegiatan input data digital atau dikenal sebagai digitasi melalui tahapan berikut:

- 1) Setelah komputer diaktifkan, buka program MapInfo. Klik Start - Program File - MapInfo.
- 2) Apabila peta tematik sekundernya berupa image hasil scan, maka:
 - Buka table melalui File - Open Table, pilih pada File of Type yaitu Raster image, klik Open maka muncul dialog (pesan) apakah display atau registrasi sehingga mempunyai koordinat, tentunya dipilih registrasi.
 - Kemudian muncul dialog Image Registration, tentukan proyeksi yang digunakan dan tentukan titik-titik kontrolnya, klik OK.
 - Lalu buat table baru untuk mendigitasi peta (image raster) tersebut, dan ketika muncul dialog New Table pilih Add to Current Mapper, maka secara langsung proyeksi dan koordinatnya sama dengan image yang telah diregistrasikan.

- 3) Create informasi, muncul dialog Table Structure. Kemudian isi Field dalam New Table Structure yang disesuaikan dengan informasi apa yang akan digunakan sesuai dengan peta yang didigitasi, dengan mengisi Name, Type, Width.
- 4) Setelah pengisian Field dalam New Table Structure tentukan proyeksi yang digunakan dalam peta sesuai dengan peta tematik sekunder lainnya, melalui klik Projection akan muncul dialog Choose Projection.
- 5) Sesuaikan proyeksi yang digunakan dengan tepat dan tentukan category members, misalkan peta tersebut menggunakan kategori Universal Transverse Mercator (WGS 84) dengan category members UTM Zone 48, Southern Hemisphere (WGS 84), setelah itu OK, klik Create, dan muncul dialog Create New Table.
- 6) Beri nama filenya dan tempatkan di directory mana agar mudah dalam pemanggilan dan penyusunan file-filenya, lalu klik Save.
- 7) Digitasi peta terbagi menjadi tiga macam digitasi yaitu; digitasi garis (line, arc, polyline), digitasi region (polygon) dan digitasi titik (nodes).
- 8) Setiap proses digitasi, table harus dalam keadaan editable yang dapat dicek dalam layer control dan harus memisahkan table-table sesuai dengan karakter grafisnya.



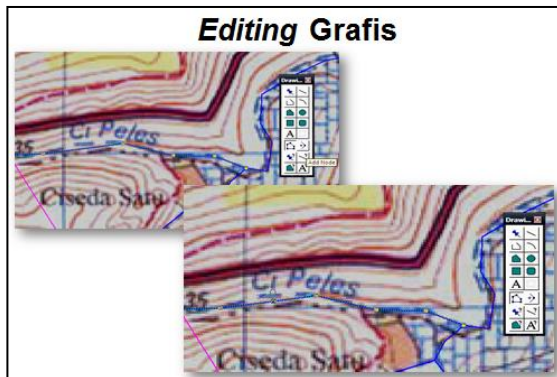
Gambar 4.3. Tahapan input data digital

Setelah input data digital, kegiatan berikutnya adalah penyesuaian data dengan melakukan editing. Adapun langkah-langkah editing, adalah sebagai berikut:

- a. Editing adalah memodifikasi objek yang sudah terbentuk sebelumnya. Dalam proses editing sering dan hampir selalu menggunakan ikon-ikon (tombol).
- b. Ikon-ikon tersebut digunakan untuk memodifikasi, memperbaiki objek, memperluas dan mempersempit region atau garis dalam layer (table) keadaan editable, yang diaktifkan melalui layer control. Klik Map - Layer Control, atau pun dengan klik mouse kanan - Layer Control.
- c. Gunakan Select button untuk memilih objek mana yang akan diedit, ketika objek telah terpilih akan berubah warna sebagai tanda telah terpilih dan siap untuk diedit.
- d. Konversi dari objek region ke objek garis polyline dan sebaliknya Object - Convert to Polylines atau Regions.
- e. Mengedit Node (titik-titik sudut) polygon atau polyline. Pilih Object - klik Reshape Button untuk menampilkan Nodes, pilih salah satu titik untuk mengubah sesuai dengan posisi yang diinginkan. Jika memilih beberapa node sekaligus, gunakan Shift dengan cara ditekan terus sambil pilih beberapa node.
- f. Menambah Node Polygon. Setelah node polygon siap edit, klik Add Node Button kemudian atur posisi cursor pada objek garis atau objek region yang terpilih, diikuti dengan klik tombol mouse untuk menambah node pada posisi tersebut.
- g. Menggabungkan beberapa objek yang sejenis menjadi satu objek. Tekan Shift pilih beberapa objek sejenis yang ingin digabungkan, klik Object - Combine untuk menggabungkan dua atau lebih objek sejenis.
- h. Menghaluskan sudut-sudut polygon atau polyline. Pilih satu atau beberapa objek, klik Object - Smooth.

- i. Menggabungkan objek di dalam region. Pilih objek yang akan digabungkan, klik Object - Set Target untuk mengatur objek terpilih menjadi target, yang ditandai dengan perubahan warna. Selanjutnya pilih objek sebagai objek bantu yang mempunyai fungsi untuk memodifikasi target, klik Object - Combine untuk memodifikasi target dan menggabungkan objek bantu ke dalamnya.
- j. Menghapus sebagian target yang tercakup dalam objek region bantu. Pilih objek yang akan dihapus sebagian, klik Object - Set Target. Buat objek region bantu yang mencakup satu atau beberapa bagian yang akan dihapus, pilih region bantu tersebut, klik Object - Erase untuk menghapus bagian dari target yang tercakup oleh objek region bantu, kemudian Delete objek region bantu.
- k. Menghapus sebagian target di luar cakupan objek region bantu. Pilih objek yang akan dihapus sebagian, klik Object - Set Target. Buat objek region bantu yang mencakup satu atau beberapa bagian yang tidak akan dihapus dari target yang diinginkan, pilih objek region bantu tersebut, klik Object - Erase Outside untuk menghapus bagian di luar cakupan objek region bantu tersebut, kemudian Delete objek region bantu tersebut.
- l. Menambah Node pada target pada titik-titik perpotongan dengan objek region bantu. Pilih objek yang akan ditambah Node kepadanya, klik Object - Set Target. Pilih objek bantu, klik Object - Overlay Nodes untuk menambahkan node pada setiap lokasi perpotongan antara target dengan objek region bantu, Delete untuk menghapus objek region bantu.
- m. Mengubah warna atau pola objek region. Pilih objek yang akan diwarnai atau dirubah, klik Options - Region Style dan pilih warna atau pola yang dikehendaki.

- n. Mengubah warna atau tipe garis pada objek garis. Pilih objek yang akan diwarnai atau diubah, klik Options - Line Style dan pilih warna atau tipe garis dikehendaki.
- o. Mengubah jenis simbol. Pilih simbol yang akan dibuat atau dirubah, klik Options - Symbol Style dan pilih jenis yang dikehendaki.
- p. Mengubah jenis teks. Pilih teks yang akan diubah, klik Options - Text Style dan pilih jenis huruf, ukuran, warna, spasi, dan lain lain yang dikehendaki.

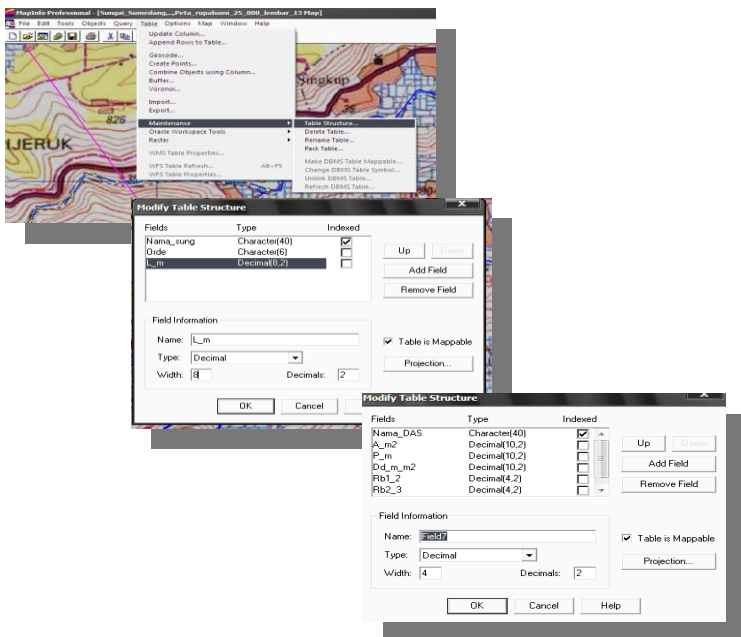


Gambar 4.4. Contoh proses editing

Aktivitas berikutnya adalah memasukan data atribut. Sebelum dimasukkan, maka perlu modifikasi struktur datanya. Langkah modifikasi struktur data adalah sbb:

- Struktur tabel (Table structure) digunakan untuk mengisi dan mengolah data tekstual atau menghubungkan data tekstual dengan data grafisnya, untuk memanggil Table structure klik Window - New Browser Window atau F2, pilih table mana yang akan diberi atau diolah data dan informasinya.

- Pada table structure dapat menghitung luas penggunaan lahan, klik Table - Update Column. Pilih Column to Update pada luas penggunaan lahan, klik Assist, muncul Expression, klik Function pada posisi area untuk menghitung luas, sebelumnya ubah dalam satuan ha (“hectares”), klik OK. Secara otomatis akan muncul angka luas penggunaan lahan yang bersangkutan.



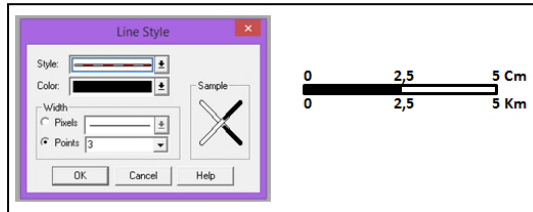
Gambar 4.5. Proses modifikasi struktur data

Layout merupakan langkah terakhir sebelum menampilkan data peta digital. Penampilan data dapat secara visual di layar monitor atau pun dicetak sebagai hardcopy. Adapaun persiapan yang dilakukan adalah:

- 1) Digunakan untuk persiapan pencetakan peta, dengan cara klik Window - New Layout - OK, pilih One Frame of Window - klik OK, muncul tampilan layout.
- 2) Sesudahnya, tentukan ukuran kertas yang digunakan, klik File - Page Setup, muncul dialog Page Setup. Tentukan ukuran kertas, margin dan orientasi disesuaikan dengan bentuk peta, kemudian tentukan skala peta dalam kertas yang siap cetak. Setelah itu buat judul peta dengan menggunakan icon Text, semua tulisan dalam peta disesuaikan dengan ukuran kertasnya.
- 3) Pada posisi table grafisnya (peta), legenda dibuat dengan cara klik Map - Create Legend, muncul dialog Create Legend Step 1 of 3. Pilih objek mana yang akan menjadi legenda dalam Legend Frame, klik Next, isi window title "Legenda" atau yang lain, klik Next, pada legend frame klik satu persatu yang diinginkan pada bagian title ganti dengan nama dan kelompok legenda menurut bahasa Indonesia.
- 4) Pada Styles Form klik Unique Value in Column, sesuai dengan yang akan dilegendakan, pada Label Styles With pilih sesuai dengan informasi yang akan disampaikan, klik Finish. Setelah legenda peta jadi, masukan dalam layout dengan cara mengklik icon frame, drag (geser) secara diagonal dalam layout, muncul dialog Frame Object, pilih Legenda pada bagian window, lalu klik OK.
- 5) Kemudian semuanya diatur secara proporsional, sesuai dengan aturan perpetaan. Peta siap print. Klik File - Print dan muncul dialog print. Sesuaikan kembali ukuran kertas, tipe printer yang digunakan pada properties printernya. Setelah semuanya diatur klik OK, maka proses pencetakan peta akan dimulai sampai selesai.

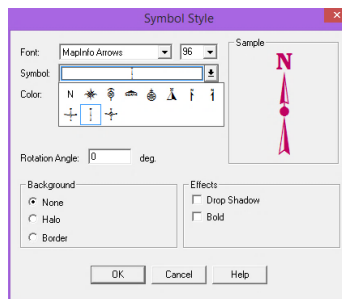
Skala merupakan unsur yang sangat penting dalam layout peta. Di samping dalam bentuk angka (*numeric scale*), penyajian skala dapat dalam bentuk grafis (*bar scale*) seperti tampak pada Gambar 4.6. Skala grafis adalah suatu garis yang menggambarkan hubungan antara

ukuran jarak di peta dengan jarak sebenarnya di lapangan. Bentuk dan tipe garis yang dipilih dapat menggunakan fasilitas yang terdapat dalam perangkat lunak SIG.



Gambar 4.6. Pemilihan simbol skala grafis dapat menggunakan fasilitas tipe garis pada perangkat lunak SIG

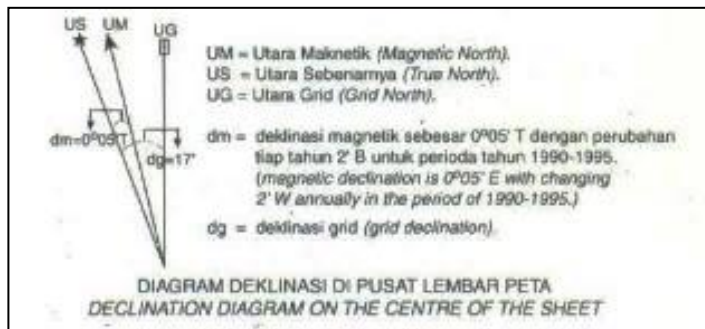
Simbol arah utara pada peta sangat penting karena dapat memudahkan pengguna peta untuk mengetahui orientasi medan dengan cepat. Simbol arah utara pada umumnya menggunakan tipe grafis titik dengan pilihan model dan ukuran beragam (Gambar 4.7).



Gambar 4.7. Beragam pilihan model dan ukuran simbol arah utara pada perangkat lunak SIG

Penempatan arah utara pada peta mengikuti format layout mengacu kepada SNI yang berlaku, contoh untuk Peta Potensi Air

Tanah skala 1:100.000 atau skala yang lebih besar (SNI 13-7121-2005) yang ditampilkan dalam Gambar 4.9. Pada layout peta tersebut, tampak bahwa simbol arah utara ditempatkan di bagian kanan peta di bagian bawah judul peta. Akurasi peta, disamping ditentukan dari skala peta, juga tergantung kepada perubahan arah kutub utara magnetik serta arah utara sebenarnya (Gambar 4.8).



Gambar 4.8. Diagram deklinasi arah utara terhadap utara magnetik

Peta yang sesuai SNI harus dilengkapi dengan legenda yang dapat menjelaskan informasi dan makna simbol yang digunakan dalam peta sebagai penyajian hasil analisis data. Beberapa hal penting yang harus ada dalam legenda (tentatif, disesuaikan dengan jenis peta) yaitu:

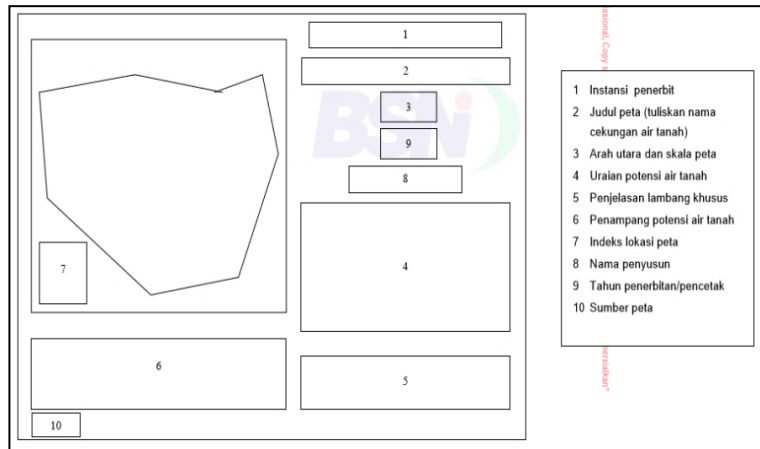
- Nama peta
- Nama formasi
- Keterangan simbol geologi pada peta
- Keterangan simbol topografi
- Kesebandingan stratigrafi (korelasi satuan peta)
- Penyusun peta (penerbit dan nama)
- Sumber data
- Deklinasi peta

Nama peta terkait dengan informasi utama yang dikemas pada sajian peta tematik, misalnya Peta Geologi. Dalam jenis peta ini, maka keterangan nama formasi batuan sangat penting dan harus jelas. Demikian juga keterangan dari simbol sebagai cerminan dari objek geologi. Kesebandingan stratigrafi memberikan informasi urutan umur atau genetika dari formasi batuan yang terdapat pada peta.

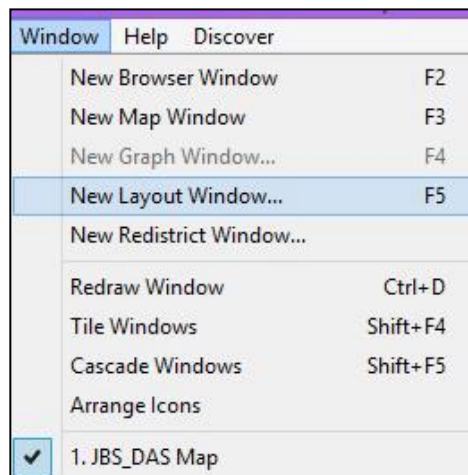
Data yang dimunculkan dalam peta tidak hanya berupa data primer sebagai hasil observasi dan analisis, tetapi kadang-kadang memerlukan juga sumber data dari publikasi sebelumnya. Oleh karena itu pencantuman sumber data harus jelas.

Indeks peta sangat penting dicantumkan dalam penyajian peta-peta tematik, terutama jika peta yang ditampilkan merupakan sebagian dari peta berseri. Contoh peta berseri diantaranya adalah Peta Rupa Bumi yang diterbitkan oleh Badan Informasi Geospasial, Peta Geologi yang diterbitkan oleh Badan Geologi, Peta Seismotektonik, dan sebagainya. Secara keseluruhan, Indeks peta dapat memberikan status dan posisi peta tematik yang tersaji. Penempatan indeks peta dapat dilihat pada contoh peta tematik di Gambar 4.9. Pada layout peta tampak bahwa indeks peta memberikan informasi posisi peta yang disajikan. Informasi yang dapat dimasukkan dalam indeks peta tergantung kepentingannya, diantaranya dapat dipilih sebagai berikut:

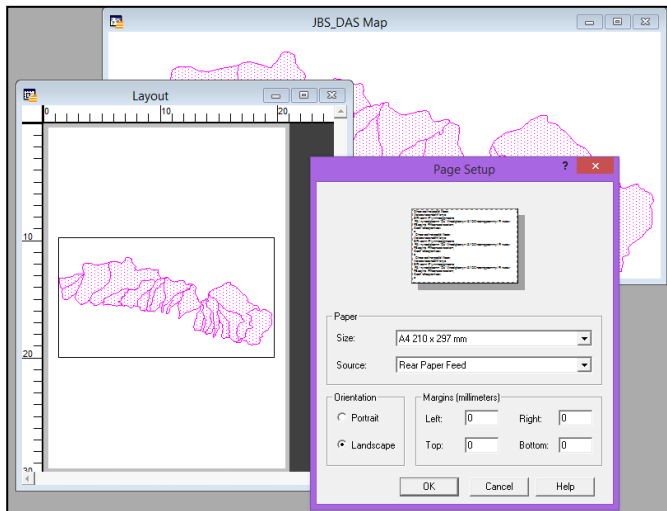
- Peta sebaran pusat gempa bumi
- Peta curah hujan tahunan
- Peta percepatan gempa bumi
- Peta batas administrasi
- Peta geologi
- Peta intensitas gempa bumi
- Peta sumber gempa bumi
- Peta sebaran mineral
- Peta kemiringan lereng
- Peta sumber pembangkit tsunami



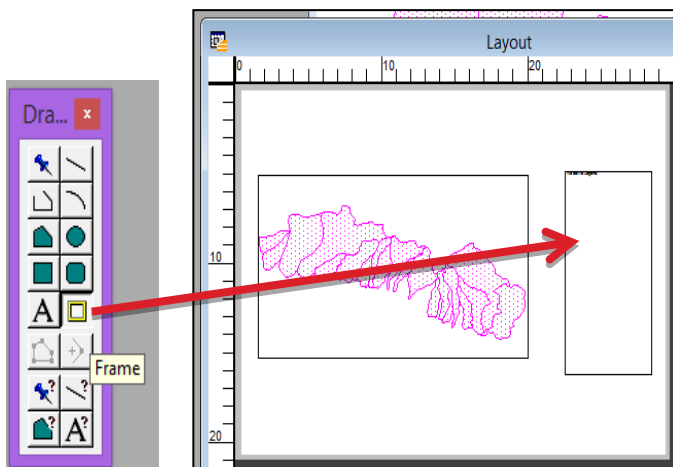
Gambar 4.9. Contoh tata letak (layout) peta potensi air tanah untuk skala 1:100.000 atau skala yang lebih besar (SNI 13-7121-2005)



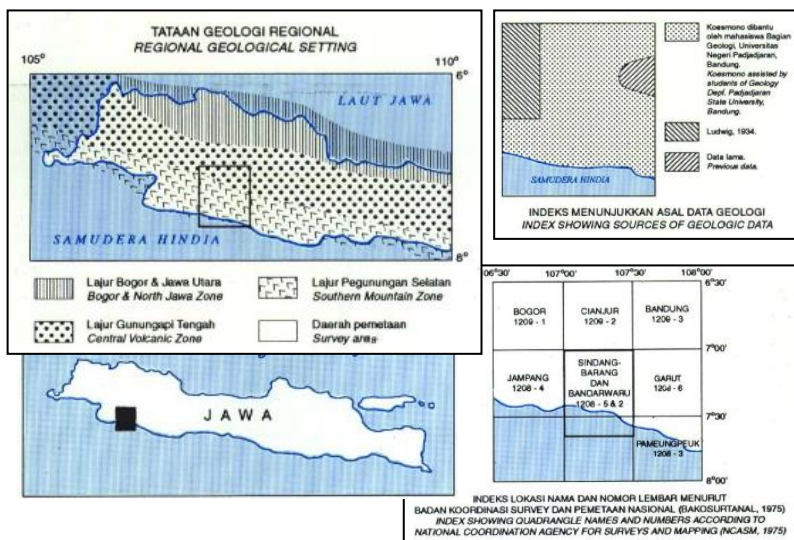
Gambar 4.10. Menu yang digunakan untuk menyusun layout peta



Gambar 4.11. Pengaturan layout peta menggunakan menu pada perangkat lunak SIG



Gambar 4.12. Membuat bingkai untuk legenda peta



Gambar 4.13. Contoh beberapa indeks peta dalam Peta Geologi Regional skala 1:100.000

Sebelum melakukan pencetakan peta, maka perlu diperiksa hal-hal berikut ini:

- Tipe alat cetak diperiksa
 - Kesesuaian tipe alat cetak dengan perangkat lainnya, misalnya dengan perangkat lunak SIG.
 - Kesesuaian Layout Setting dengan acuan SNI peta-peta tematik
- Bila semuanya sudah sesuai, maka dapat memulai pengaturan berikutnya, yaitu pengaturan halaman cetak.

Sebelum memulai tahapan pencetakan, maka harus diperiksa mengenai posisi nomor halaman dan pengaturannya, bila peta yang akan dicetak lebih dari satu dan harus berurut. Adapun pengaturan posisi nomor halaman dapat sebagai berikut:

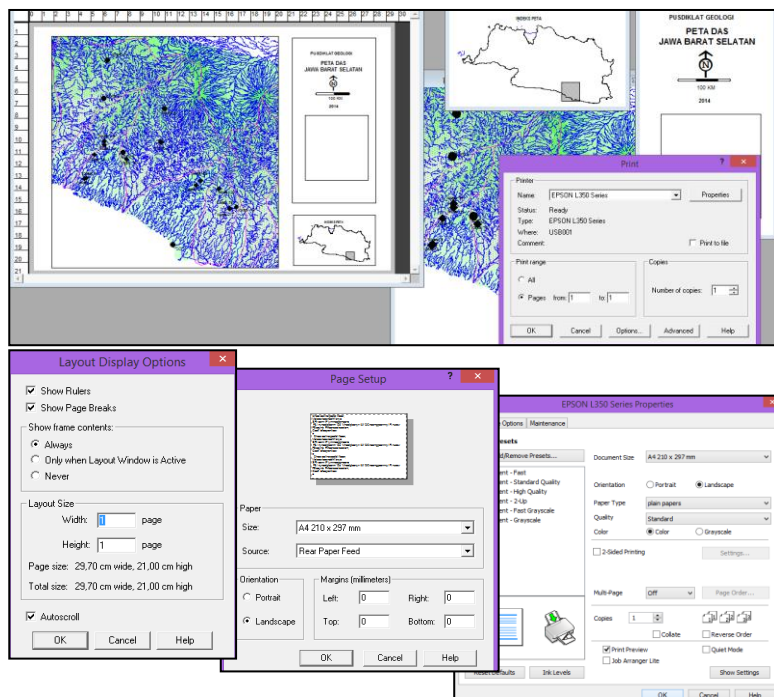
- Di bagian atas tengah

- Di bagian atas samping kanan
- Di bagian bawah samping kanan
- Di bagian bawah tengah

Di samping pengaturan posisi halaman cetak, juga harus dipilih jenis dan ukuran huruf untuk nomor halaman.

Sebelum tombol cetak ditekan, lakukan terlebih dahulu pengaturan-pengaturan berikut ini:

- Penentuan ukuran kertas
- Penentuan kualitas
- Penentuan orientasi cetakan



Gambar 4.14. Pengaturan layout pencetakan peta hasil analisis

Ukuran kertas yang akan digunakan harus ditentukan terlebih dahulu (A4, A3, A2, A1, atau A0). Pilihan ukuran kertas yang muncul tergantung pada tipe printer atau plotter yang sudah diinstall. Kualitas hasil cetakan juga dapat diatur dan dipilih, yaitu kualitas rendah (*draft*), menengah (*standart*), atau halus (*high*). Mode pencetakan apakah hitam-putih (*grayscale*) atau berwarna (*color*). Orientasi halaman cetak, apakah potrait (tegak) atau rebah (*landscape*). Seluruh pengaturan cetakan menunya sudah tersedia dalam perangkat lunak SIG dan perangkat keras yang digunakan.



BAB 5

APLIKASI SIG

Perangkat lunak SIG dapat menjadi alat yang handal untuk analisis data, khususnya yang terkait dengan data spasial. Beberapa kemampuan yang dapat diandalkan adalah analisis spasial (tumpang susun), perhitungan kemiringan lereng, perhitungan erosi, analisis morfometri, eksplorasi sumber energi terbarukan, dan sebagainya. Pada dasarnya penggunaan perangkat lunak SIG untuk analisis data didasarkan pada kemampuannya dalam mengelola data secara terpadu antara data grafis dan atribut.

5.1 Perhitungan Kemiringan Lereng

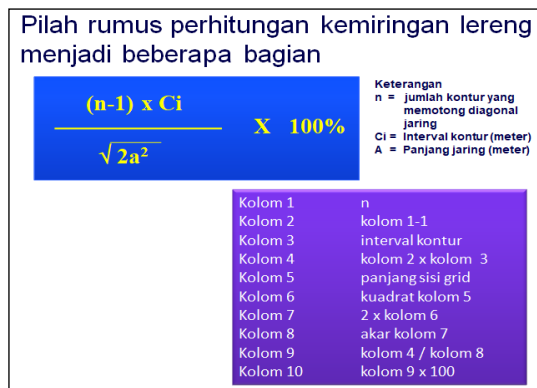
Pada umumnya, vektor merupakan basis data yang digunakan oleh Perangkat lunak SIG. Hal ini menjadi kendala bila digunakan sebagai alat untuk analisis data spasial. Oleh karena itu, diperlukan satu layer (umumnya lebih dari satu file untuk perangkat lunak SIG) data yang mampu mengakomodir kelemahan ini. Layer data tersebut memiliki fungsi sebagai data raster yang mampu melakukan analisis spasial dengan mudah. Layer ini berisi grid-grid yang difungsikan sebagai pixel, unit terkecil dalam data raster. Satu pixel dianggap memiliki karakter yang homogen. Makin kecil ukuran pixel, maka makin tinggi tingkat akurasi. Demikian juga dengan grid, makin kecil ukuran grid maka akan makin akurat hasil analisis spasial yang dihasilkan.

Sebelum melakukan analisis kemiringan lereng, bahan dan metode yang harus dipersiapkan adalah:

- 1) MapInfo Software
- 2) Peta kontur digital
- 3) Metode grid sederhana

Setelah bahan dan peralatan dipersiapkan, selanjutnya pilah-pilah variabel dalam formula perhitungan kemiringan lereng menjadi beberapa bagian agar dapat dibaca oleh perangkat lunak (Formula 2.1). Adapun tahapan perhitungan lereng adalah sebagai berikut:

- 1) Grid dibuat dengan akurasi yang sesuai
 - 2) Atur struktur field (kolom) untuk file grid tersebut
 - 3) Update informasi tiap kolom yang sudah dibuat
 - 4) Lakukan perhitungan secara keseluruhan
 - 5) Klasifikasikan nilai kemiringan lereng hasil perhitungan tersebut
- Secara lebih detail tahapan perhitungan kemiringan lereng ditampilkan dalam Gambar 5.1, 5.2, dan 5.3.

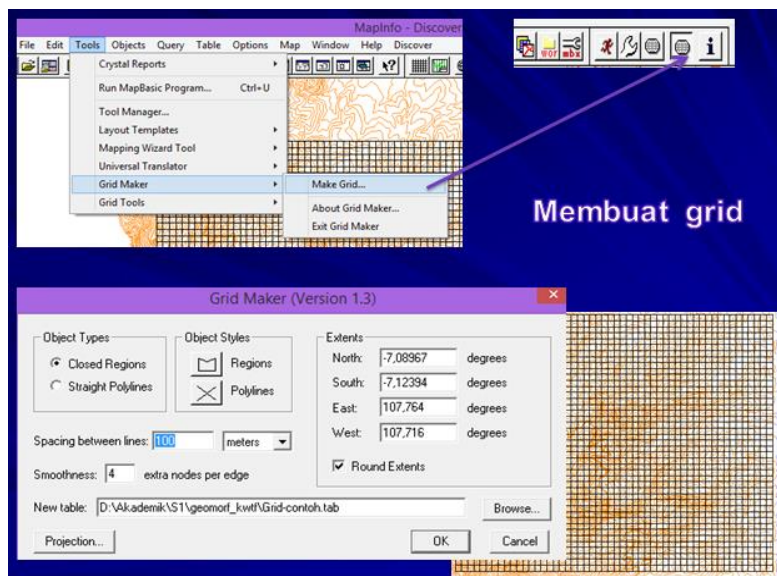


Gambar 5.1. Tahap awal pemilahan formula perhitungan kemiringan lereng dengan satuan %.

Pada Gambar 5.1, tampak bahwa formula perhitungan kemiringan lereng dipilah menjadi beberapa bagian, setidaknya terdistribusi dalam 10 bagian. Hal ini untuk memudahkan perangkat lunak *update* data dari data spasial (grafis). Kesepuluh bagian tersebut adalah:

- 1) Jumlah kontur (n) yang terdapat dalam setiap grid, ini untuk mengisi field (kolom) 1.
- 2) Jumlah kontur dikurangi 1 atau dirumuskan ($n-1$). Karena jumlah kontur ada di kolom 1, maka intruksi untuk bagian ini adalah “kolom 1 – 1”, ditempatkan pada kolom 2.
- 3) Interval kontur (C_i) ditempatkan pada kolom 3.
- 4) Jumlah kontur dikurang 1 atau ($n-1$) dikalikan interval kontur (C_i), maka rumusnya menjadi kolom 2 dikalikan kolom 3. Hasilnya dimasukkan dalam kolom 4.
- 5) Kolom 5 diisi oleh panjang sisi grid (a).
- 6) Kolom 6 diisi kuadrat panjang sisi grid (a^2), dirumuskan oleh kolom 5 dikalikan kolom 5.
- 7) Kolom 7 merupakan hasil perkalian 2 kali kuadrat panjang sisi grid ($2a^2$) atau dituliskan 2 x kolom 6.
- 8) Kolom 8 berisi akar dari ($2a^2$), ditulis sebagai akar dari kolom 7.
- 9) Kolom 9 merupakan hasil pembagian antara ($n-1$)x C_i dan akar dari ($2a^2$), ditulis dengan rumus kolom 4 dibagi kolom 8
- 10) Karena satuannya %, maka hasil pembagian pada kolom 9 dikalikan dengan 100.

Pembuatan file grid dengan cara memunculkan sub sub menu “make grid” yang terdapat dalam sub menu “grid maker” dan menu “tool” (Gambar 5.2). Selanjutnya akan muncul *toolbar* seperti pada gambar tersebut. Jika tombol “make grid” ditekan maka muncul dialog windows. Atur object type, object style, batas-batas koordinat, satuan panjang, sistem proyeksi, dan lokasi penyimpanan file. Check kembali hasil isian form tersebut, sebelum tombol “OK” ditekan.

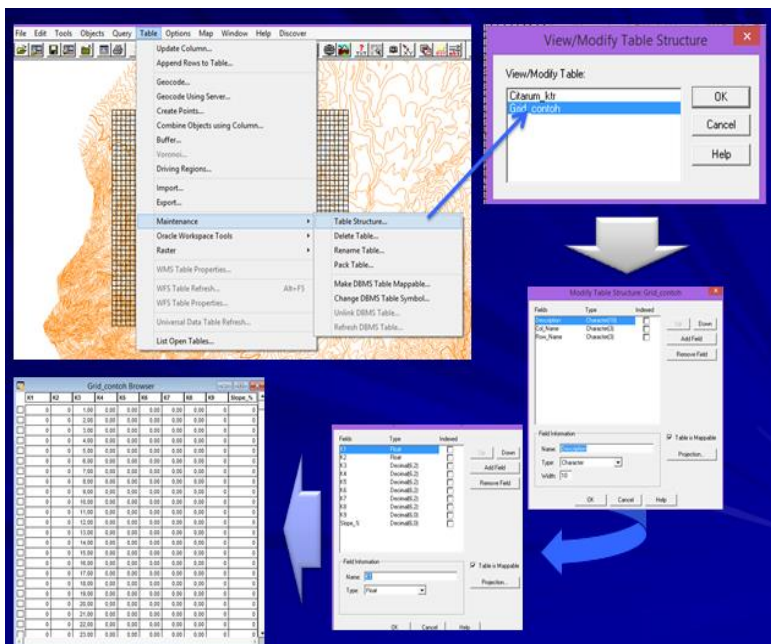


Gambar 5.2. Proses perhitungan kemiringan lereng menggunakan perangkat lunak MapInfo

File grid yang sudah terbentuk perlu diatur struktur penyimpanan data untuk keperluan perhitungan kemiringan lereng. Pengaturan struktur data ada pada menu Table – Maintenance – Table Structure. Atur agar file grid tersebut memiliki 10 kolom dengan tipe data *float* untuk kolom ke-1 dan ke-2, serta desimal untuk kolom selanjutnya hingga kolom ke-10 (Gambar 5.3). Lebar kolom harus cukup, terutama untuk tipe data desimal. Jika ruang data tidak cukup, maka dengan sendirinya data tidak akan tersimpan dengan baik.

Pengisian *field* (kolom) pada file grid dapat dilakukan secara manual atau otomatis dengan menerapkan prinsip *overlay* dalam SIG. Nilai kolom yang dianggap sama, misalnya interval kontur untuk kolom 3 dan panjang sisi grid untuk kolom 5, pengisian dapat sekaligus. Sedangkan untuk jumlah kontur pada setiap grid dapat diisi secara

otomatis dengan mengambil dari data grafis file kontur yang ditumpang-tindihkan. Menu yang digunakan adalah Table – Update Column – isi form yang muncul dengan benar. Lakukan pengisian kolom-kolom yang ada dengan formula yang sesuai. Di kolom terakhir (kolom ke 10), nilai yang muncul adalah kemiringan lereng untuk setiap grid dengan satuan %. Agar penampilan mudah diinterpretasikan, maka kemiringan lereng dalam grid tersebut perlu dikelompokkan berdasarkan klasifikasi yang diacu. Setiap kelas dipilih dan diberikan warna, sehingga dapat diketahui bagaimana distribusi kemiringan lereng di wilayah yang dianalisis.



Gambar 5.3. Proses perhitungan kemiringan lereng lebih lanjut

5.2 Analisis Spasial

5.2.1 Overlay Peta Secara Geografis

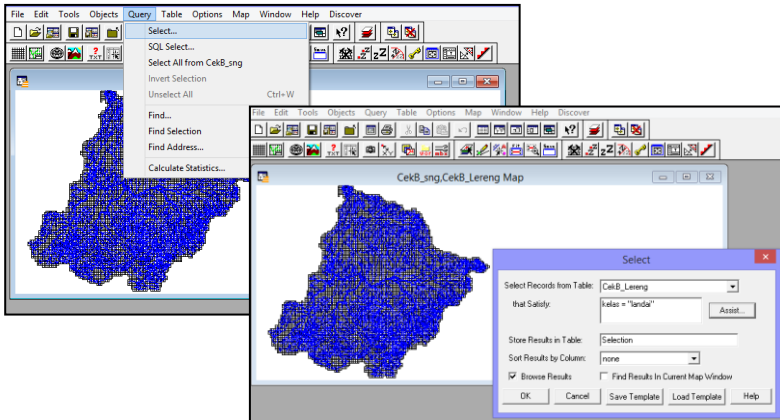
Salah satu tipe analisis data spasial adalah overlay peta secara geografis. Analisis spasial tipe ini menghasilkan tampilan visual sebagai hasil penilaian terhadap parameter-parameter yang digunakan untuk kepentingan tertentu. Misalnya untuk kepentingan permasalahan geologi lingkungan, kebencanaan geologi, dan pengelolaan sumber daya geologi termasuk di dalamnya pengembangan wilayah. Ada beberapa metode overlay peta secara geografis, diantaranya adalah overlay secara aritmatik, overlay secara logik, operasi fungsi geografis, dan operasi konstanta.

Pada overlay secara aritmatik diterapkan operasi matematika berupa penjumlahan, pengurangan, perkalian terhadap bobot dan nilai parameter yang akan dianalisis secara spasial. Contoh analisis spasial dengan menerapkan perkalian dan penjumlahan bobot dan klasifikasi, khususnya untuk perhitungan skor.

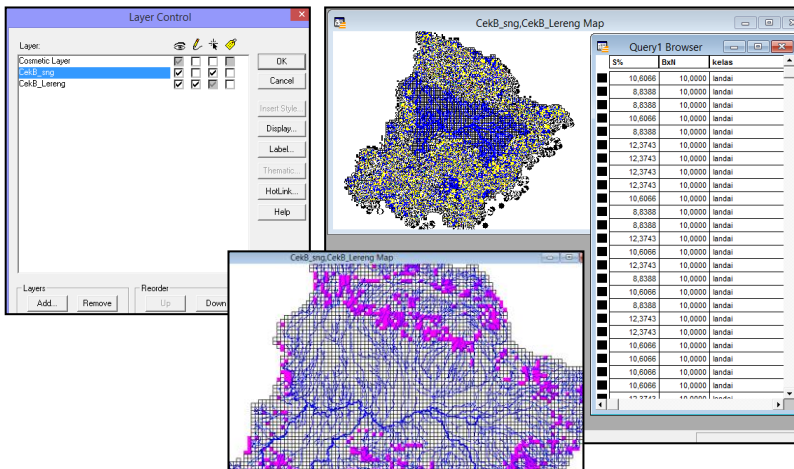
Overlay secara logik digunakan untuk penetapan kondisi tertentu parameter sebagai acuan analisis spasial. Biasanya menggunakan menu dan sub menu yang tersedia dalam perangkat lunak SIG, misalnya MapInfo. Beberapa sub menu yang dapat digunakan misalnya query, select, dan layer tools. Misalnya untuk menampilkan area yang memiliki kemiringan lereng landai, maka proses yang harus dilakukan dan penulisan kalimat yang benar pada perangkat lunak adalah:

- Pilih menu Query - Select, pilih file yang terkait, tulis kalimat bahwa kelas = "landai" (Gambar 5.4).
- Bila kalimat yang dituliskan benar, maka akan muncul seperti ditampilkan dalam (Gambar 5.5).

Penetapan kondisi tertentu menggunakan menu query, select, layer control juga dapat diterapkan untuk parameter kebencanaan geologi, penetapan sumber daya geologi dan pengembangan wilayah.



Gambar 5.4. Pemilihan menu Query untuk menampilkan area dengan kemiringan lereng landai



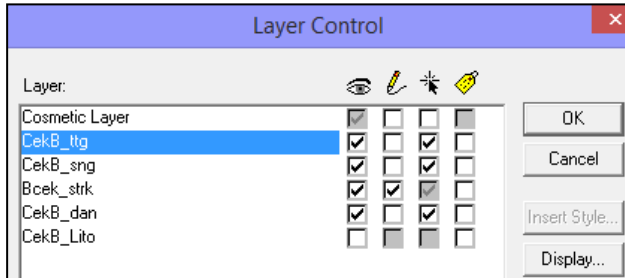
Gambar 5.5. Area yang dipilih yaitu lereng landai ditandai oleh warna hitam pada browser dan warna menyala yang dapat diubah merah

Tabel 5.1. Menu operasi fungsi geografis

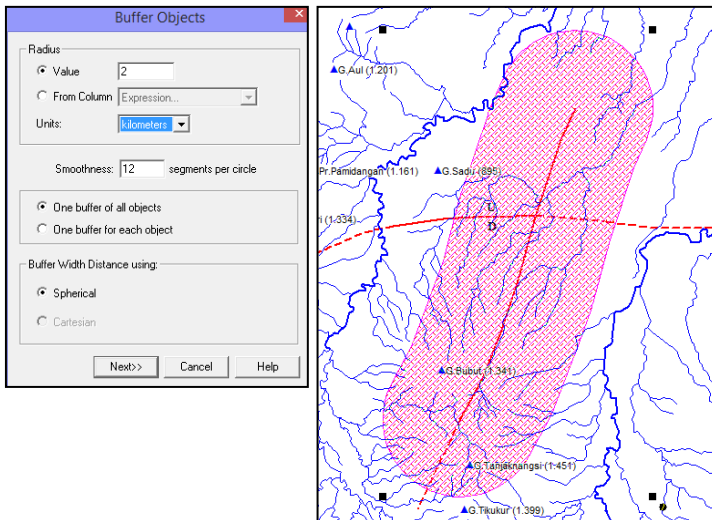
No	Menu	Cara akses	Keterangan
1.	<i>buffer</i>	Pilih objek, tekan menu <i>objects > buffer</i>	Membuat poligon dengan radius tertentu dari suatu objek yang dipilih
2.	<i>erase outside</i>	Pilih objek, tekan menu <i>objects > set target > pilih objek yang menjadi acuan > tekan menu Objects > erase outside</i>	Menghapus sebagian atau seluruh objek yang berada di luar objek grafis lainnya yang dipilih sebagai acuan
3.	<i>erase</i>	Pilih objek, tekan menu <i>objects > set target > pilih objek yang menjadi acuan > erase</i>	Menghapus sebagian atau seluruh objek yang berada di dalam objek grafis lainnya yang dipilih sebagai acuan
4.	<i>combine</i>	Pilih objek, tekan menu <i>objects > combine</i>	Menggabungkan lebih dari satu poligon menjadi satu poligon
5.	<i>split</i>	Pilih objek, tekan menu <i>objects > set target > pilih objek yang menjadi acuan > tekan menu objects > split</i>	Memotong objek grafis berdasarkan objek grafis lainnya

Analisis spasial terhadap parameter geologi berdasarkan posisi geografis, diantaranya menggunakan menu *buffer*, *erase outside*,

erase, *combine*, dan *split*. Tabel 5.1 memberikan penjelasan tentang menu-menu tersebut dengan syarat kondisi layer data aktif (*editable*).

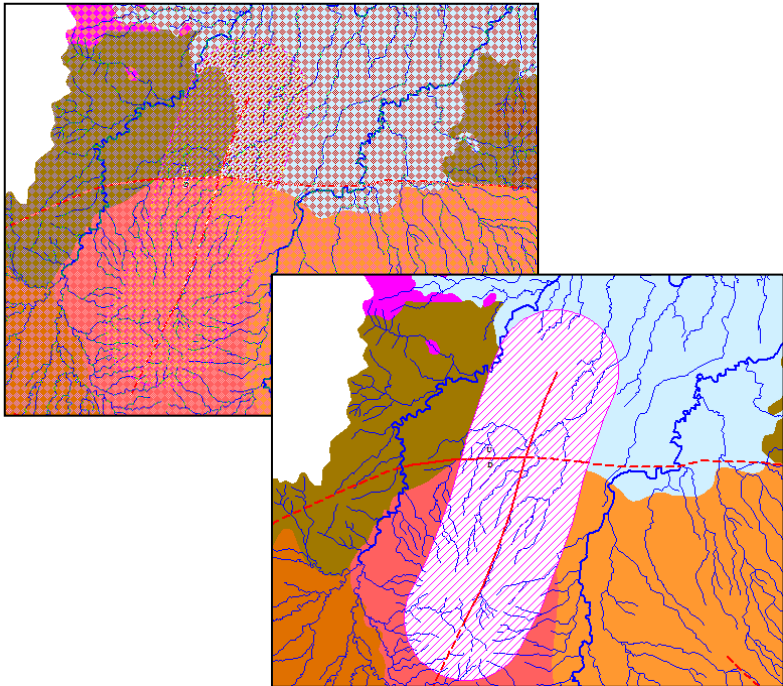


Gambar 5.6. *Layer control* menunjukkan *file* yang memuat struktur geologi dalam kondisi siap *edit*



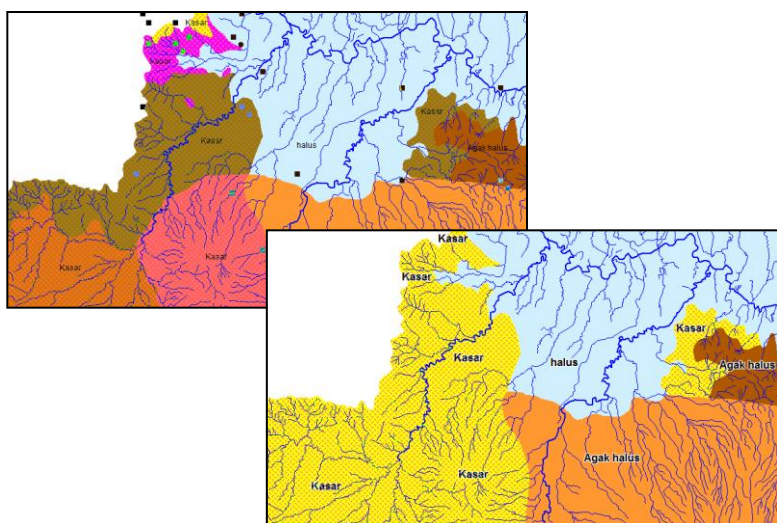
Gambar 5.7. Window untuk penetapan kriteria *buffer* (kiri) dan hasil *buffering* dengan radius 2 km dari sesar berarah hampir utara-selatan

Misalnya untuk menampilkan area yang berjarak 2 Km dari zona sesar. Menu *buffer* dapat digunakan untuk membantu analisis spasial dengan metode fungsi geografis. Layer data yang menampilkan struktur geologi harus dalam kondisi *editable* (Gambar 5.6). Selanjutnya pilih objek sesar yang dikehendaki. Tekan menu *object* diikuti menu *buffer*. Pada jendela *buffer objects* yang muncul, lakukan pengaturan radius dari objek sesar dan unit yang diinginkan. Setelah selesai, lanjutkan dengan menekan tombol *next* (Gambar 5.7).



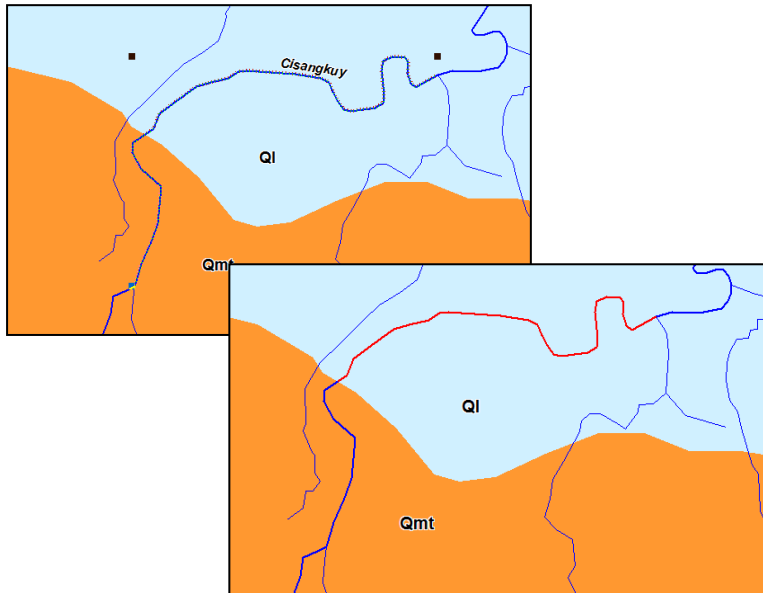
Gambar 5.8. Penggunaan menu *erase* untuk menghapus objek grafis formasi batuan yang berada di dalam zona *buffer*

Area yang tumpang tindih dengan area lainnya dalam *layer* yang berbeda dapat dihilangkan dengan cara menghapus area ini. Area yang dihilangkan dapat berada di dalam area lainnya atau justru yang berada di luar area tersebut. Menu *erase* dan *erase outside* dapat digunakan untuk analisis spasial ini dengan metode fungsi geografis. Misalnya untuk menghapus formasi batuan yang berada dalam radius 2 Km dari sesar berarah hampir utara-selatan (Gambar 5.8).



Gambar 5.9. Penggunaan menu *combine* untuk menggabungkan formasi batuan yang memiliki tekstur kasar

Contoh lainnya dalam analisis spasial adalah penggabungan objek grafis. Misalnya, membentuk satu poligon untuk formasi-formasi batuan yang memiliki tekstur kasar. Menu *combine* dapat digunakan untuk melakukan analisis spasial fungsi geografis (Gambar 5.9). Pada gambar tersebut tampak beberapa formasi batuan yang memiliki tekstur kasar digabungkan menjadi 1 poligon berwarna kuning.



Gambar 5.10. Menu *split* untuk memotong S.Cisangkuy menjadi dua segmen di batas formasi batuan Qmt dan Ql

Pada kasus tertentu, kadang perlu untuk memotong objek grafis. Misalnya sungai berdasarkan pada tumpang tindihnya dengan objek lain, dalam hal ini formasi batuan. Gambar 5.10 menunjukkan proses pemotongan segmen S.Cisangkuy yang melalui 2 formasi batuan, yaitu Qmt dan Ql. Menu *split* dapat digunakan untuk membantu analisis spasial berbasis geografis. Bila objek grafis yang digunakan lebih dari satu, maka proses ini juga dapat dilakukan sekaligus dengan mudah.

Overlay berdasarkan operasi konstanta yaitu analisis spasial terhadap parameter tertentu berdasarkan variabel yang dianggap tetap. Variabel ini dapat berupa string, angka, dan tanggal. Pada umumnya dilakukan melalui data browser yang bersifat kuantitatif.

Prosedur yang mirip dengan pemaparan sebelumnya juga dilakukan dalam analisis spasial terhadap parameter kebencanaan geologi. Demikian juga dalam analisis spasial terhadap parameter sumber daya geologi. Pada dasarnya analisis dengan melibatkan operasi konstanta dilakukan melalui data browser. Mengingat data SIG berbasis koordinat yang sama, maka operasi yang diterapkan pada browser juga akan mengubah data grafis yang terkait.

5.2.2 Aplikasi Analisis Spasial Dalam Pengembangan Wilayah

Analisis spasial pada umumnya dikaitkan dengan kajian pengembangan wilayah. Analisis yang dilakukan dalam kajian pengembangan kawasan pemukiman (misalnya) adalah analisis kemampuan lahan. Analisis ini adalah analisis khusus terhadap data atau aspek yang terkait. Dalam pelaksanaannya berupa superimpose beberapa peta tematik, seperti peta geologi, peta kemiringan lereng, peta penyebaran tanah, peta curah hujan dan sebagainya. Hasil dari superimpose tersebut akan menjadi peta kemampuan lahan yang mendukung perencanaan pengembangan kawasan pemukiman, antara lain Kemampuan Lahan Karakteristik Fisik Batuan, Kemampuan Lahan Drainase, Kemampuan Lahan Tekstur Tanah dan lain-lain. Evaluasi terhadap kemampuan lahan bagi perencanaan pengembangan kawasan pemukiman dilakukan dengan maksud untuk mengenali potensi, kendala dan limitasi yang dimiliki oleh suatu wilayah.

Pada perumusan sistem scoring, sebelum identifikasi faktor-faktor yang berperan, perlu ditentukan dan diketahui lebih dahulu sasaran pengembangan suatu wilayah. Misalnya lokasi lahan permukiman, sehingga faktor-faktor yang berperan dapat dikaji dengan lebih mudah, obyektif dan terarah.

Tingkat kemampuan lahan setiap penggunaan lahan mempunyai nilai dari 5 hingga 0 (Howard & Remson, 1978), dimana nilai yang besar berarti mempunyai kecocokan yang lebih baik, yaitu:

- 5 = Sangat Tinggi
- 4 = Tinggi
- 3 = Sedang
- 2 = Rendah
- 1 = Sangat Rendah
- 0 = Tidak Cocok

Pembobotan kemampuan lahan berdasarkan kepada derajat kepentingannya terhadap suatu penggunaan lahan. Pada umumnya pembobotan memiliki kisaran dari 5 hingga 0 (Howard & Remson, 1978), yaitu :

- 5 = Kepentingan Sangat Tinggi
- 4 = Kepentingan Tinggi
- 3 = Kepentingan Sedang
- 2 = Kepentingan Rendah
- 1 = Kepentingan Sangat Rendah
- 0 = Tidak Ada Kepentingan

Hasil perkalian antara nilai kemampuan dan bobotnya akan mencerminkan tingkat kepentingannya terhadap pengembangan wilayah.

Kemampuan lahan perlu diklasifikasikan untuk mengetahui tingkat kemampuan lahan sebelum dilakukan pengembangan pada suatu lahan. Metode untuk mengetahui klasifikasi kemampuan lahan yang mudah diterapkan jika menggunakan perangkat lunak SIG adalah sistem grid. Kisaran hasil perkalian nilai dengan bobot yang terendah sampai yang tertinggi mencerminkan tingkat kemampuan lahan masing-masing. Dari yang tertinggi atau yang terbaik hingga yang terendah atau terburuk. Hasil perkalian nilai dan bobot merupakan kisaran dari kemampuan lahannya, sebagai contoh kisaran skor tertinggi mencerminkan kemampuan lahan yang baik, sedang kisaran skor terendah mencerminkan kemampuan lahan yang buruk.

Zonasi perencanaan wilayah merupakan penjabaran dari kisaran kemampuan lahan, dibagi menjadi 3 (tiga) macam wilayah, yaitu:

- 1) Wilayah Kemungkinan, yaitu wilayah yang memiliki tingkat kemampuan lahan tinggi (baik) untuk dibangun dan dikembangkan. Wilayah ini trelatif tidak memiliki kendala fisik, maka siap untuk dikembangkan dan dibangun misalnya sebagai daerah permukiman.
- 2) Wilayah Kendala, yaitu wilayah yang memiliki tingkat kemampuan lahan sedang atau kurang untuk dikembangkan dan dibangun misalkan sebagai daerah permukiman. Jika wilayah ini akan dibangun maka diperlukan adanya rekayasa, akibatnya perlu tambahan biaya.
- 3) Wilayah Limitasi, yaitu wilayah dengan tingkat kemampuan lahan yang buruk untuk dikembangkan dan dibangun (termasuk bobot = 0). Wilayah ini lebih cocok dijadikan daerah hijau atau daerah konservasi. Wilayah dengan tingkat kebencanaan yang tinggi seperti banjir, gerakan tanah, patahan aktif, gempa bumi dan letusan gunung api termasuk ke dalam wilayah limitasi.

Aspek yang berperan dalam perencanaan pengembangan suatu wilayah merupakan data yang harus dimasukkan ke dalam komputer. Aspek atau parameter tersebut umumnya divisualkan dalam bentuk peta. Berikut ini adalah peta-peta yang diperlukan:

1. Peta Topografi atau rupa bumi (kontur, jalan, sungai, dan sebagainya)
2. Peta Kemiringan lereng
3. Peta Geologi
4. Peta Sumberdaya mineral
5. Peta Sumberdaya air
6. Peta Penggunaan Lahan
7. Peta Curah Hujan
8. Peta Kebencanaan:

- Peta Kawasan Rawan Gerakan Tanah
 - Peta Kawasan Rawan Banjir
 - Peta Kawasan Rawan Gempabumi dan Tsunami
 - Peta Kawasan Rawan Bencana Vulkanik
9. Peta Geowisata (tapak unik)
 10. Peta Karakteristik tanah
 11. Peta Batas administrasi
 12. Data laporan (misalnya data statistik suatu wilayah kabupaten pada tahun tertentu)

Input data menjadi format digital sehingga mudah melakukan analisis menggunakan SIG, yaitu:

- a) Menggunakan digitizer (peta ditempel pada meja digitasi, selanjutnya input data per segmen)
- b) Menggunakan data hasil scanning (ditampilkan di monitor, registrasi koordinat, selanjutnya digitasi menggunakan mouse di layar komputer)

SIG selain dapat digunakan untuk inventarisasi dan manajemen data juga dapat digunakan sebagai alat (*tool*) analisis. Berikut ini adalah tahapan analisis yang dilakukan bila menggunakan perangkat lunak SIG berformat vektor:

1. Penilaian dan Pembobotan
2. Overlay data:
 - a) vektor: melalui pembuatan grid dengan ukuran tertentu (tergantung tingkat ketelitian), GIS software berformat vektor (MapInfo, ArcInfo, ArcGIS, dan lain lain)
 - b) raster: melalui pixel (tergantung tingkat ketelitian), GIS software berformat raster (ILWIS, ER Mapper, dan lain lain)

Buat field (kolom) sebanyak 3 x jumlah parameter yang digunakan ditambah 1 kolom. Bila parameter yang digunakan ada 5, maka jumlah kolom yang diperlukan pada layer atribut sebanyak 16. Masing-masing digunakan untuk penyimpanan nilai, bobot, dan

nilai X bobot, serta 1 kolom untuk menyimpan jumlah keseluruhan dari nilai X bobot parameter yang digunakan. Isi layer data grid dengan cara bergantian layer demi layer data.

3. Klasifikasi lahan: wilayah kemungkinan, wilayah kendala, wilayah limitasi. Nilai yang diperoleh pada kolom jumlah total selanjutnya dibuat rentang sehingga wilayah yang ada dapat diklasifikasikan menjadi tiga kriteria. Pemberian warna yang berlainan perlu dilakukan untuk setiap kelas grid dengan kriteria tertentu. Agar grid yang telah dikelompokkan menjadi satu poligon (area) gunakan menu combine untuk masing-masing kriteria.
4. Produk yang dihasilkan dari analisis tersebut adalah:
 - Peta alokasi pemanfaatan lahan yang berwawasan lingkungan
 - Peta pengembangan wilayah

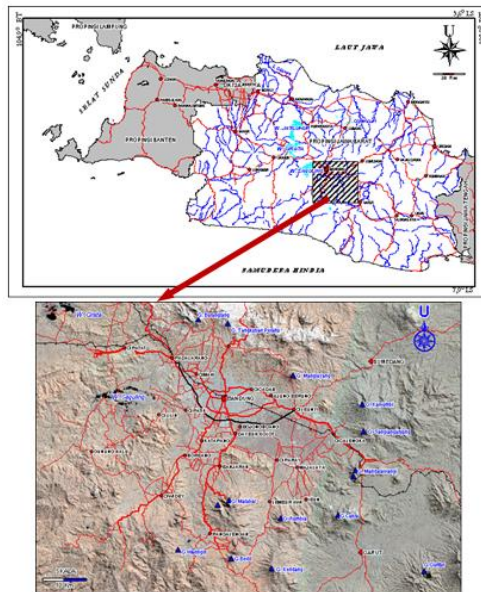
Kemampuan lain yang dapat dimanfaatkan melalui analisis spasial menggunakan SIG adalah *buffering*. Misalnya untuk mengetahui luas dan penyebaran wilayah sempadan pantai atau sungai. Pilih garis pantai atau sungai yang dikehendaki selanjutnya tekan menu buffer. Tampilan menghendaki pengisian radius wilayah yang dikehendaki, selanjutnya secara otomatis perangkat lunak akan menggambarkan areal yang dimaksud.

5.3 Aplikasi Hasil Analisis Morfomeri – Morfotektonik DAS Menggunakan SIG

Pada sub Bab ini dikemukakan hasil penelitian yang memanfaatkan perangkat lunak SIG dalam analisis data dengan pendekatan kuantitatif, khususnya geomorfologi kuantitatif. Hasil penelitian sebagian sudah dipublikasikan dalam jurnal ilmiah maupun dalam seminar nasional dan internasional. Sebagian lainnya masih dalam proses penyusunan, *submit*, dan *review*.

5.3.1 Aplikasi Sistem Informasi Geografis Dalam Penetapan Kawasan Berpotensi Banjir di Kabupaten Bandung Bagian Selatan

Hasil penelitian ini telah dipublikasikan pada Bulletin of Scientific Contribution, Volume 2, Nomor 1, Januari 2004. Pesatnya perkembangan teknologi di bidang informasi memberi kemudahan bagi para peneliti untuk melakukan analisis data. Banyaknya aspek yang harus dianalisis khususnya untuk penetapan kawasan berpotensi banjir menjadi sesuatu yang mudah untuk dilaksanakan dengan memanfaatkan teknologi ini. Permasalahan yang diteliti dalam penelitian ini berupa aspek fisik dasar yang berperan dalam menentukan kawasan rawan banjir.



Gambar 5.11. Lokasi penelitian di wilayah Cekungan Bandung bagian selatan

Bandung bagian selatan merupakan wilayah perbukitan, berbatasan dengan Kabupaten Garut yang melandai ke arah utara membentuk pedataran sebagai pusat cekungan. Sungai-sungai mengalir bersumber dari perbukitan di bagian selatan menuju ke arah pedataran bermuara di S.Citarum. Sungai ini menampung pula aliran air permukaan dari sungai-sungai yang bersumber di perbukitan di bagian utara. Berdasarkan fenomena tersebut, maka dapat diduga wilayah di bagian tengah cekungan berpotensi banjir cukup besar bila dibandingkan dengan wilayah lainnya di cekungan tersebut. Penelitian mengambil lokasi di kawasan Kabupaten Bandung bagian selatan dengan alasan bahwa sebagian daerah hampir setiap tahun merupakan kawasan yang mengalami bencana banjir (Gambar 5.11). Berbagai penanganan telah dilakukan namun banjir tetap melanda kawasan tersebut.

Metodologi penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode induksi. Tahap pertama, memberikan penilaian terhadap parameter-parameter yang diduga berperan dalam pemecahan suatu masalah. Selanjutnya melakukan analisis dan berakhir pada target yaitu suatu kondisi yang memungkinkan mengambil keputusan untuk pemecahan suatu masalah. Secara garis besar langkah-langkah penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Inventarisasi dan preparasi parameter yang berperan menimbulkan banjir.
- Memberikan bobot dan nilai terhadap parameter yang berperan menimbulkan banjir.
- Memberikan penilaian terhadap kondisi lahan ditinjau dari berbagai parameter yang diduga berperan.
- Melakukan *superimpose* di antara berbagai parameter yang telah ditetapkan.
- Analisis hasil *superimpose*.
- Penentuan kawasan berpotensi banjir.

Parameter yang digunakan dalam analisis untuk penetapan kawasan berpotensi banjir meliputi litologi, penggunaan lahan, curah hujan, kemiringan lereng, dan aspek orde sungai. Pemilihan parameter tersebut berdasarkan perkiraan bahwa aspek ini secara fisik cukup berpengaruh terhadap terjadinya banjir di samping kemudahan perolehan data. Penelitian ini menekankan kepada aplikasi teknologi yang digunakan dalam analisis data. Masing-masing parameter diberi bobot sesuai dengan kepentingannya yang berkisar dari 0 (nol) hingga 5 (lima) mengacu kepada Howard & Remson (1978). Selanjutnya setiap unsur dalam masing-masing parameter diberi nilai sesuai dengan kondisinya. *Superimpose* dilakukan dengan memanfaatkan *GIS software* berformat data vektor. Hasil *superimpose* terhadap data parameter yang berperan dapat dimunculkan atau dikonversikan dalam bentuk grafis yang mewakili data spasial.

Tahap-tahap yang dilakukan dalam analisis dengan teknik *superimpose* adalah sebagai berikut:

- *Input* data, yaitu mengubah data dari format konvensional berupa lembaran peta dan data lainnya ke dalam format penyimpanan data *digital*.
- *Editing* dan pengaturan struktur data dalam format penyimpanan yang sesuai.
- Analisis data dengan teknik *superimpose (overlay)*
- Pengaturan *output data layout*.
- Pencetakan *data output*

Peralatan dan bahan yang dibutuhkan untuk mendukung penelitian ini adalah:

- 1) Peta topografi Edisi 2 AMS skala 1:50.000, lembar 4421-I, 4421-II, 4422-II, 4521-I, 4521-III, 4521-IV, 4522-II, dan 4522-III.
- 2) Peta Geologi skala 1:100.000, Lembar Garut dan Pameungpeuk serta Lembar Bandung.
- 3) Peta penggunaan lahan

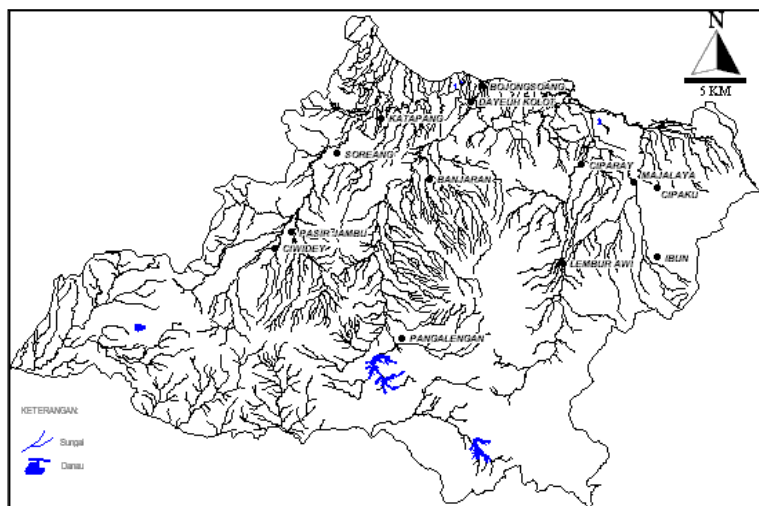
- 4) Peta curah hujan
- 5) Peralatan survei lapangan
- 6) Komputer beserta periferalnya
- 7) Printer L220 Epson
- 8) Scanner L220 Epson
- 9) Perangkat lunak SIG Mapinfo versi 6.0 (Daniel dkk, 1996)

Wilayah Kabupaten Bandung mempunyai iklim bervariasi, yaitu tipe iklim A bersifat lembab dan menempati daerah pegunungan tinggi, tipe iklim B bersifat cukup lembab terdapat di daerah barat daya Kabupaten Bandung, serta tipe iklim yang bersifat tidak terlalu kering yang terdapat di daerah timur laut Kabupaten Bandung. Curah Hujan rata-rata adalah 2.000 hingga 2.500 mm/th. Di daerah Dayeuhkolot, curah hujan berkisar antara 1.750 sampai 2.000 mm/th, sedangkan daerah Cimahi, Batujajar dan Padalarang berkisar antara 1.500–1.750 mm/th. Semakin ke arah selatan, curah hujan semakin tinggi yaitu mencapai lebih dari 4.000 mm/th.

Hasil analisis terhadap peta topografi diperoleh klasifikasi kemiringan lereng yang terdapat di daerah penelitian, yaitu:

- 1) Daerah pedataran dengan kemiringan lereng kurang dari 2%, meliputi wilayah Bojongsoang, Katapang, Dayeuhkolot, Majalaya, dan sekitarnya.
- 2) Daerah agak landai dengan kemiringan lereng antara 3%-7%, meliputi wilayah Cipaku, Banjaran, dan sekitarnya.
- 3) Daerah landai dengan kemiringan lereng antara 8%-13%, meliputi wilayah Pangalengan, Lemburawi, dan sekitarnya.
- 4) Daerah agak terjal dengan kemiringan lereng 14%-20%, meliputi wilayah Pasirjambu, Kertasari, dan sekitarnya.
- 5) Daerah terjal dengan kemiringan lereng 21%-55%, meliputi wilayah Pacet, sebagian Pangalengan, sebagian Pasirjambu, dan sekitarnya.

Keadaan topografi secara tak langsung merupakan kendala aktif atas penggunaan lahan. Tampak daerah pedataran merupakan pusat dari berbagai sektor kehidupan, misalnya permukiman, perkotaan, pesawahan dan kebun palawija. Sedangkan daerah perbukitan dan pegunungan umumnya merupakan kebun-kebun, tanah tegalan, perkebunan permanen, hutan produksi dan hutan lindung.



Gambar 5.12. Peta jaringan sungai di wilayah Kab. Bandung bagian selatan

Aliran sungai di daerah penelitian umumnya bersumber dari dua arah yaitu dari utara mengalir ke selatan dan dari selatan mengalir ke utara, dengan kuala di daerah pedataran yaitu sungai Citarum. Sungai-sungai tersebut membentuk pola *sub-trellis* dan dendritik ditunjukkan oleh cabang anak-anak sungai, sedangkan pola radier ditemukan di daerah pegunungan. Orde sungai cukup bervariasi (Gambar 5.12), di bagian hulu umumnya sungai-sungai berorde antara 1-2, di bagian

tengah antara orde 3-4, dan di sekitar S.Citarum di bagian tengah cekungan Bandung umumnya berorde antara 5-6. Orde sungai sangat berperan terhadap besarnya volume air yang dialirkan oleh suatu sungai. Semakin besar orde sungai maka akan semakin banyak sumber masukan air permukaannya sehingga akan menambah volume air yang ditampung oleh sungai tersebut. Sungai-sungai di daerah Bandung, baik yang berhulu di utara dan selatan, seluruhnya bermuara ke S.Citarum. Jumlahnya kurang lebih 172 batang sungai, 40%-nya mengalirkan air terus menerus sepanjang tahun.

Secara umum batuan yang menyusun daerah penelitian dicirikan oleh hasil kegiatan gunungapi dan endapan sedimen marin berumur Oligosen hingga endapan berumur Holosen & Resen. Batuan tertua berupa batuan sedimen berumur Oligosen-Miosen, bersifat keras karena mengalami kompaksi selama jutaan tahun, tersebar di bagian utara daerah penelitian. Batuan yang lebih muda berupa batuan terobosan, batuan vulkanik dan batuan sedimen berumur Mio-Pliosen, tersebar di bagian utara dan tengah daerah penelitian. Batuan gunungapi yang berumur muda yaitu Plio-Plistosen dan Kuartar tersebar di bagian tengah dan selatan daerah penelitian.

Pemberian bobot dan nilai pada aspek yang terkait dalam analisis penetapan kawasan berpotensi banjir, ditentukan berdasarkan tingkat kepentingan dan kondisi aspek yang bersangkutan. Bobot berupa angka (*numeric*) yang memiliki rentang dari 0 (nol) hingga 5 (lima) yaitu:

- 1) Bobot 5 (lima) artinya sangat tinggi kepentingannya.
- 2) Bobot 4 (empat) artinya tinggi kepentingannya.
- 3) Bobot 3 (tiga) artinya sedang kepentingannya.
- 4) Bobot 2 (dua) artinya rendah kepentingannya.
- 5) Bobot 1 (satu) artinya sangat rendah kepentingannya.
- 6) Bobot 0 (nol) artinya tidak penting.

Demikian juga untuk nilai diberikan dalam format angka yang berkisar 0 (nol) hingga 5 (lima) yaitu:

- 1) Nilai 5 (lima) artinya sangat tinggi.
- 2) Nilai 4 (empat) artinya tinggi.
- 3) Nilai 3 (tiga) artinya sedang.
- 4) Nilai 2 (dua) artinya rendah.
- 5) Nilai 1 (satu) artinya sangat rendah.
- 6) Nilai 0 (nol) artinya tidak mampu.

Tabel 5.2. Penilaian aspek litologi di wilayah Bandung bagian selatan

Litologi	Bobot	Nilai	Bobot X Nilai
Batuan gunungapi (Kuarter)	3	2	6
Batuan terobosan (Mio-Pliosen)	3	4	12
Batuan sedimen (Oligo-Miosen)	3	5	15
Batuan gunungapi (Mio-Pliosen)	3	4	12
Batuan sedimen (Mio-Pliosen)	3	3	9
Batuan gunungapi (Plio-Plistosen)	3	3	9

Penilaian terhadap kondisi aspek litologi diberikan sesuai dengan kemampuannya dalam mengantisipasi tujuan analisis untuk penentuan wilayah berpotensi banjir. Secara lengkap penilaian terhadap kondisi aspek litologi dapat dilihat pada Tabel 5.2. Penilaian terhadap kondisi aspek penggunaan lahan diberikan sesuai dengan kemampuannya dalam mengantisipasi tujuan analisis untuk penentuan lokasi kawasan banjir. Secara lengkap penilaian terhadap kondisi aspek penggunaan lahan dapat dilihat pada Tabel 5.3. Curah hujan rata-rata tahunan di cekungan Bandung bagian tengah cukup bervariasi dari yang sangat rendah di bagian barat daya hingga cukup tinggi di bagian selatan. Penilaian terhadap kondisi aspek curah hujan dapat dilihat pada Tabel 5.4. Penilaian terhadap kondisi kemiringan lereng diberikan sesuai dengan kemampuannya. Secara lengkap penilaian terhadap kondisi aspek kemiringan lereng dapat dilihat pada Tabel 5.5. Penilaian

terhadap orde sungai diberikan sesuai dengan kemampuannya, dalam hal ini untuk analisis wilayah banjir. Secara lengkap penilaian terhadap kondisi aspek orde sungai dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5.3. Penilaian aspek *landuse* di wilayah Bandung selatan

Penggunaan Lahan	Bobot	Nilai	Bobot X Nilai
Industri	5	4	20
Padang Rumput	5	3	15
Hutan	5	0	0
Kebun campuran	5	3	15
Perkebunan	5	1	5
Sawah	5	5	25
Tegalan	5	3	15
Permukiman	5	3	15

Tabel 5.4. Penilaian aspek curah hujan di wilayah Bandung selatan

Curah hujan (mm/Th)	Klasifikasi	Bobot	Nilai	Bobot X Nilai
4000-4500	Sangat tinggi	3	5	15
3500-4000	Tinggi	3	5	15
3000-3500	Agak tinggi	3	4	12
2500-3000	Sedang	3	3	9
2000-2500	Rendah	3	2	6
1500-2000	Sangat rendah	3	1	3

Tabel 5.5. Penilaian aspek kemiringan lereng di wilayah Bandung selatan

Kemiringan lereng (%)	Klasifikasi	Bobot	Nilai	Bobot X Nilai
21 – 55	Terjal	5	0	0
14 – 20	Agak terjal	5	1	5
8 – 13	Landai	5	2	10
3 – 7	Agak landai	5	3	15
0 – 2	Datar	5	5	25

Tabel 5.6. Penilaian aspek orde sungai di wilayah Bandung selatan

Orde sungai	Bobot	Nilai	Bobot X Nilai
Sungai orde 1	5	1	5
Sungai orde 2	5	2	10
Sungai orde 3	5	3	15
Sungai orde 4	5	4	20
Sungai orde 5	5	5	25
Sungai orde 6	5	5	25

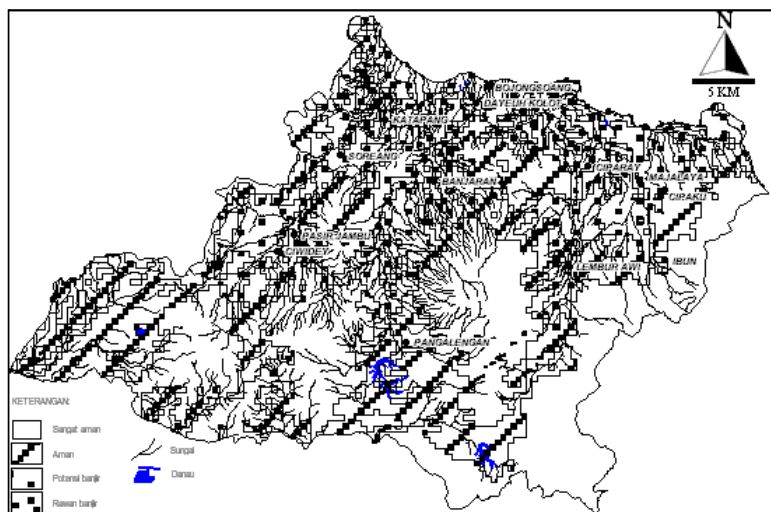
Aspek-aspek yang berkaitan dengan penentuan kawasan berpotensi banjir selanjutnya dianalisis dengan cara tumpang-tindih (overlay) melalui operasi matematika penjumlahan terhadap hasil kali bobot dan nilai. Ketersediaan informasi dan data aspek kemampuan lahan bervariasi sehingga jumlah total penilaian terhadap seluruh aspek tergantung dari jumlah aspek yang dianalisis. Oleh karena itu, perlu kiranya untuk menyeragamkan nilai akhir menggunakan perhitungan statistik metode distribusi normal. Hasil perhitungan terhadap data skor hasil *superimpose* adalah sebagai berikut:

n	=	6.285
x min	=	0
x max	=	96
Σx	=	279.451
$X_{rata-rata}$	=	44,46
varians	=	319,19
stand. dev.	=	17,87

Berdasarkan hasil perhitungan yang ditampilkan pada Tabel 5.7, maka diperoleh klasifikasi daerah rawan banjir mempunyai skor 73-96, daerah berpotensi banjir mempunyai skor 54-71, daerah yang agak aman dari banjir mempunyai skor 36-53, daerah yang aman dari banjir mempunyai skor 0-35 (Gambar 5.13).

Tabel 5.7. Hasil perhitungan batas kelas dengan metode pola distribusi normal

Kelas	$X_{rata-rata}$	Standar Deviasi	Batas bawah	Batas atas	Rentang kelas
1	44,4632	17,8659		17,66435	0 - 17
2	44,4632	17,8659	17,66435	35,53025	18 - 35
3	44,4632	17,8659	35,53025	53,39615	36 - 53
4	44,4632	17,8659	53,39615	71,26205	54 - 71
5	44,4632	17,8659	71,26205		>71



Gambar 5.13. Peta penyebaran kawasan banjir di Kabupaten Bandung bagian selatan

Di kawasan Kabupaten Bandung bagian selatan, daerah yang rawan banjir meliputi Kecamatan Margaasih bagian utara, Soreang timur - timur laut, Ketapang, Dayeuhkolot bagian selatan, Pameungpeuk bagian tengah, Bojongsoang bagian timur, Ciparay

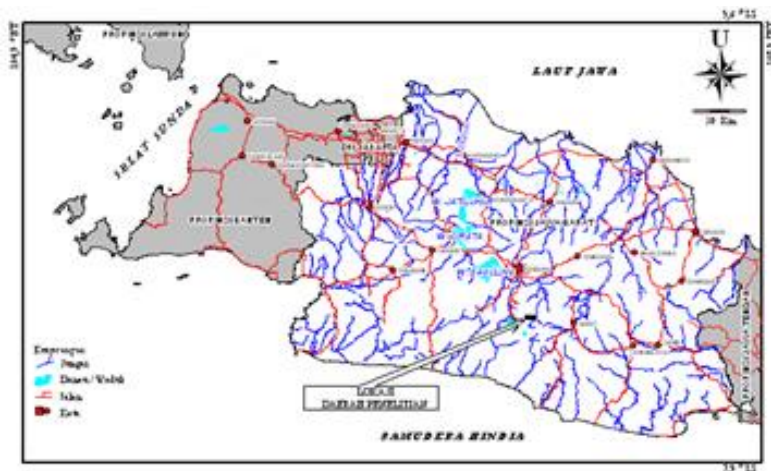
bagian utara, Majalaya, Paseh bagian utara. Wilayah rawan banjir umumnya menempati wilayah di sekitar sungai berorde tinggi. Daerah yang berpotensi banjir umumnya berada di sekitar wilayah yang rawan banjir. Biasanya banjir terjadi bila salah satu faktor memiliki anomali nilai, misalnya hujan terlalu deras dan tiba-tiba, sedimentasi di sungai-sungai sudah melebihi ambang batas, dann sebagainya. Daerah yang relatif aman umumnya menempati topografi perbukitan dan jauh dari lembah sungai, terutama sungai-sungai besar (misalnya S.Citarum). Wilayah tersebut berada di wilayah timur dan selatan berbatasan dengan Kabupaten Garut.

Pelumpuran dapat berlangsung sebagai akibat pengikisan permukaan pada lereng-lereng penggalian bahan galian golongan c yang dapat diamati di kaki lereng. Material kemudian hanyut oleh aliran permukaan ke tempat yang lebih rendah, biasanya meningkat di musim hujan. Demikian halnya dengan penggalian pasir, kerikil, dan kerakal sungai seperti di S.Citarum dan S.Cisangkuy. Tingkat pelumpuran yang tinggi mengakibatkan pendangkalan sungai sehingga daya tampung sungai menjadi semakin kecil, sekaligus akan mengakibatkan banjir. Perluasan daerah banjir akan meningkat apabila terjadi hujan besar karena air sungai dari anak-anak S.Citarum tidak tersalurkan dengan cepat. Sistem drainase yang kurang baik maupun akibat penumpukan sampah juga dapat menyebabkan pendangkalan dan menimbulkan banjir jika terjadi hujan besar.

Bila penyebaran kawasan banjir yang dihasilkan dari hasil analisis menggunakan Sistem Informasi Geografis ini dibandingkan dengan kondisi nyata di lapangan, maka hasilnya tidak jauh berbeda. Kawasan Dayeuhkolot, Bojongsoang, dan sekitarnya, setiap musim penghujan mengalami banjir. Jadi metode yang digunakan dalam penelitian ini cukup memadai untuk dikembangkan.

5.3.2 Analisis kekar untuk deteksi sesar aktif di Daerah Ciparay Bandung bagian selatan Provinsi Jawa Barat

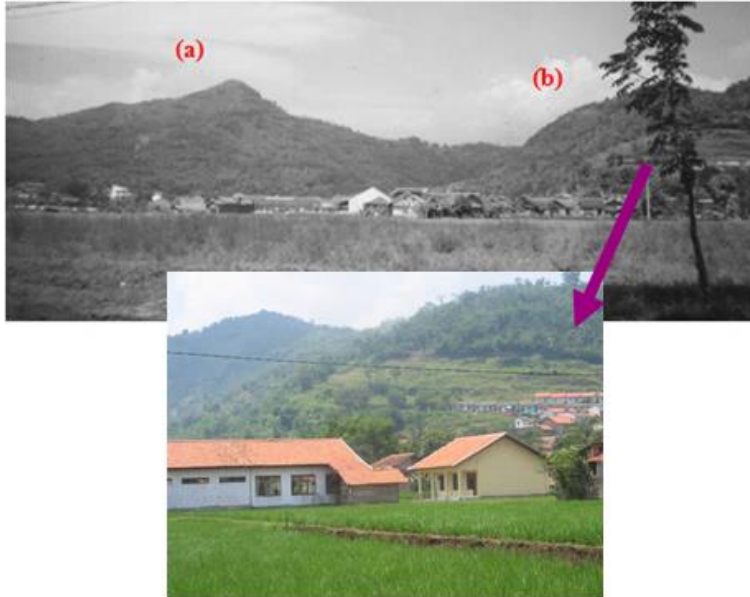
Penelitian ini sudah dipublikasikan dalam PIT IAGI tahun 2005 di Surabaya, dengan judul THE FRACTURES ANALYSIS FOR ACTIVE FAULT DETECTION OF CIPARAY REGION IN SOUTHERN PART OF THE BANDUNG BASIN, JAWA BARAT PROVINCE, INDONESIA (Sukiyah, 2005). Daerah penelitian merupakan lembah yang terletak di antara Gunung Bukitcula (1.073 m) dan Gunung Pasir Nini (1.096 m). Kemiringan lereng cukup terjal mencapai 60% pada lereng bagian timur Gunung Pasir Nini. Secara administratif, daerah penelitian termasuk wilayah Desa Ciheulang, Kecamatan Ciparay, Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat (Gambar 5.14).



Gambar 5.14. Lokasi penelitian di wilayah Ciparay

Daerah Barugbug dan sekitarnya merupakan kawasan yang sangat menarik bagi para investor dalam bidang perumahan. Hal ini dibuktikan oleh adanya kompleks perumahan yang telah mencapai

lereng Gunung Pasir Nini (Gambar 5.15). Beberapa faktor pendukung di kawasan ini adalah litologi yang kompak dan baik untuk fondasi, sumber mata air yang muncul di antara bidang Sesar Barugbug, dan dekat jalan utama Bandung- Majalaya.



Gambar 5.15. Kenampakan kawasan pemukiman yang berkembang di sekitar lembah (a) Gunung Bukitcula dan (b) Gunung Pasir Nini (difoto Januari 2005)

Di sisi lain, faktor bahaya alam harus diperhitungkan. Salah satu faktor bahaya alam di daerah penelitian yang memerlukan perhatian khusus adalah masalah tanah longsor yang sewaktu-waktu dapat melanda kawasan lembah dan lereng bukit. Berdasarkan hasil survei, sesar di kawasan ini diduga masih aktif. Hal ini ditunjukkan oleh

perkembangan intensitas kekar yang secara intensif merusak jalan beraspal yang telah dibangun tahun 1992.

Kerangka pikir penelitian ini mengikuti pola deduktif. Secara umum diketahui bahwa di daerah penelitian terdapat sesar mendatar. Variabel struktur geologi dan bentangalam yang diperoleh melalui pengukuran dianalisis menggunakan beberapa uji statistik. Penggunaan uji statistik dilakukan untuk mengetahui status sesar tersebut pada tingkat keyakinan tertentu. Metode analisis kekar digunakan untuk memperoleh arah umum azimuth kekar-kekar pada zona sesar aktif. Hasil yang diperoleh dibandingkan dengan arah umum azimuth segmen sungai di daerah tersebut. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan pendekatan probabilistik. Uji statistik yang digunakan adalah metode *chi* kuadrat (persamaan 5.1) untuk mengetahui normalitas distribusi data dan *t-test* (persamaan 5.2) untuk mengetahui bahwa pola sungai dikontrol oleh pola kekar pada derajat kesalahan (α) sebesar 5%.

$$\chi^2 = (f_o - f_h)^2 / f_h \dots\dots\dots (5.1)$$

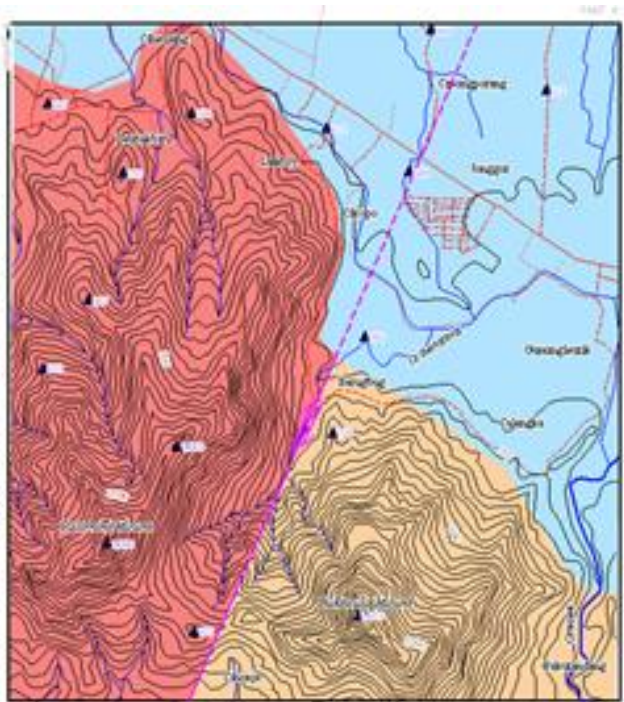
dengan χ^2 (*chi* kuadrat hitung) f_o (jumlah data hasil observasi), f_h (jumlah data yang diharapkan) (Sugiyono, 1999).

$$t = \frac{|\bar{x} - \bar{y}|}{\sqrt{[(Sdx^2/\Sigma nx) + (Sdy^2/\Sigma ny)]}} \dots\dots\dots (5.2)$$

dengan t (t hasil perhitungan), $\bar{x}$ (rata-rata data kekar), $\bar{y}$ (rata-rata data segmen sungai), Sdx (simpangan baku data kekar), Sdy (simpangan baku data segmen sungai), Σnx (jumlah data kekar) dan Σny (jumlah data segmen sungai) (Krumbein & Graybill, 1965).

Bahan dan peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

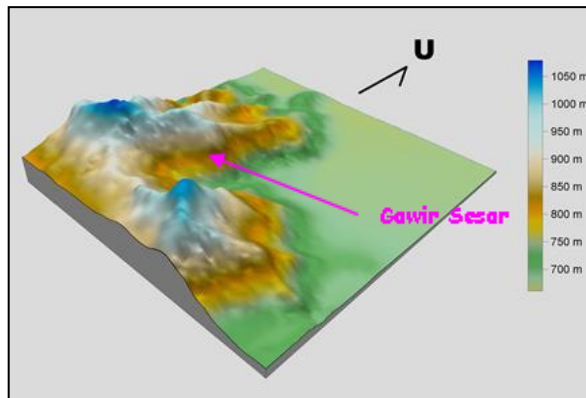
- a. Peta topografi skala 1: 25.000;
- b. Peta geologi skala 1:100.000;
- c. Peralatan survei lapangan, diantaranya kompas geologi, palu geologi, loupe, kamera, dll.;
- d. Komputer beserta periferalnya untuk mendukung analisis data.



Gambar 5.16. Ilustrasi geologi daerah penelitian. Qda (endapan danau dan aluvium) berumur Holosen-Resen, Qmt (tuf dari Gunungapi Malabar-Tilu) berumur Plistosen akhir, Qwb (lava andesit Waringin-Bedil/Malabar tua) berumur Plistosen awal (Alzwar dkk., 1992).

Secara geomorfologi, Cekungan Bandung merupakan dataran tinggi yang dikelilingi oleh rangkaian perbukitan dan pegunungan. Wilayah ini termasuk dalam zona Bandung dan Vulkanik Kuartar berdasarkan pembagian fisiografi oleh Van Bemmelen (1949). Alzwar dkk. (1992) telah menyusun peta geologi lembar Garut dan Pameungpeuk dalam skala 1:100.000, yang di dalamnya tercakup daerah penelitian. Litologi yang menyusun daerah penelitian berupa lava andesit, tuf, endapan danau dan aluvium. Lava andesit dapat dibandingkan dengan andesit Waringin–Bedil (Malabar tua) yang berumur Plistosen awal. Tuf dapat dibandingkan dengan batuan vulkanik Malabar-Tilu yang berumur Plistosen akhir. Endapan danau berumur Holosen dan aluvium hingga kini masih terbentuk.

Struktur geologi yang ada di daerah penelitian berupa sesar oblique yaitu dextral normal. Sesar ini berimpit dengan arah azimuth Sungai Barugbug. Gawir sesar tampak jelas pada ilustrasi bentangalam secara tiga dimensi (Gambar 5.17). Sesar Barugbug diduga sesar aktif karena menerus hingga memotong endapan danau (Gambar 5.16).



Gambar 5.17. Ilustrasi bentangalam Daerah Ciparay dalam bentuk diagram blok

Data hasil pengukuran arah azimuth segmen sungai dan kekar di daerah penelitian berkisar pada rentang antara 0° s/d 179° . Data tersebut ditampilkan dalam bentuk diagram *scatter*. Selanjutnya, data arah azimuth segmen sungai dan kekar dikelompokkan menjadi empat populasi, yaitu I (0° - 45°), II (46° - 90°), III (91° - 135°) dan IV (136° - 179°). Pengelompokan data berdasarkan populasinya perlu dilakukan untuk keperluan uji normalitas distribusi data.

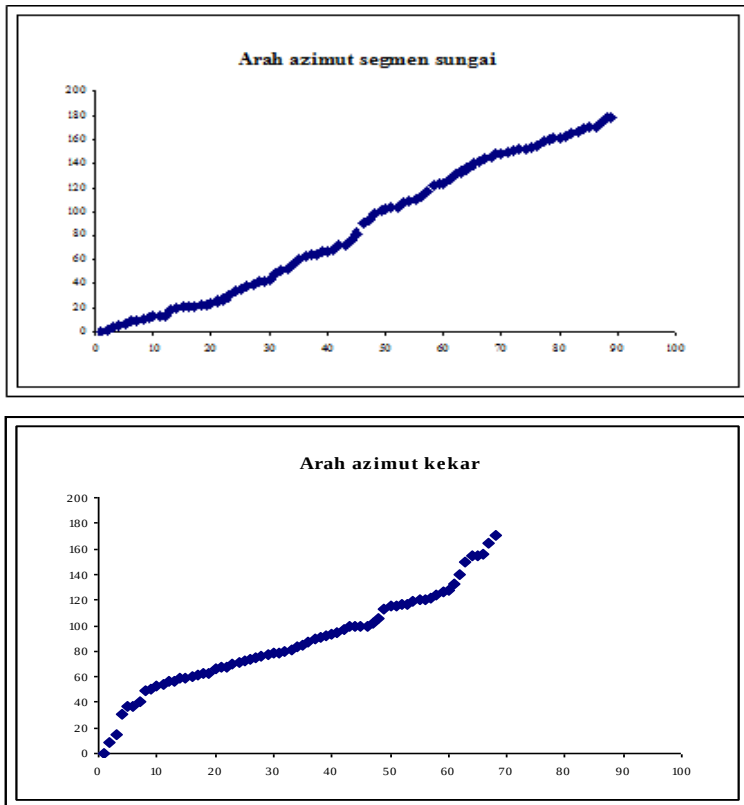
Tabel 5.8. Hasil uji normalitas distribusi data arah azimuth kekar dan segmen sungai

Kelompok (Populasi)	Objek	df	χ^2_{hitung}	χ^2_{tabel}
I	Kekar	6	12	12,592
	Segmen sungai	29	35	42,557
II	Kekar	29	27	42,557
	Segmen sungai	15	18	24,996
III	Kekar	23	27	35,172
	Segmen sungai	17	21	27,587
IV	Kekar	6	10	12,593
	Segmen sungai	24	14	35,415

Tabel 5.9. Hasil uji beda menunjukkan bahwa pola sungai tidak berbeda dengan pola kekar

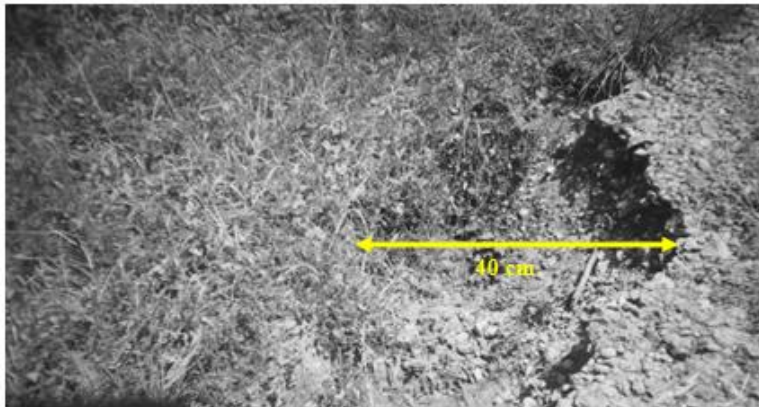
Kelompok (Populasi)	$\bar{x}$	$\bar{y}$	s_x	s_y	df	t_{hitung}	t_{tabel}
I	24,14	20,93	15,94	12,55	35	0,498	1,691
II	68,77	66,06	11,50	11,19	44	0,773	1,681
III	109,92	114,06	12,65	13,08	40	1,029	1,684
IV	155,71	158,12	9,78	11,59	30	0,551	1,697

Uji normalitas terhadap data arah azimuth sungai dan kekar menggunakan metode Chi kuadrat (χ^2). Hasil uji menunjukkan bahwa data yang diperoleh tergolong berdistribusi normal yang ditunjukkan oleh harga χ^2_{hitung} yang selalu lebih kecil dari χ^2_{tabel} (Tabel 5.8). Oleh karena itu, statistik parametrik dapat diterapkan untuk mengetahui apakah pola sungai tidak berbeda dengan pola kekar.



Gambar 5.18. Pola diagram *scatter* arah azimuth segmen sungai (atas) dan arah azimuth kekar (bawah)

Populasi arah azimuth kekar dan segmen sungai dibandingkan dengan melakukan uji beda menggunakan metode t-test. Hasil analisis terhadap empat populasi data menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan di antara keduanya yang ditunjukkan oleh t_{hitung} yang selalu lebih kecil dari t_{tabel} (Tabel 5.9). Hasil analisis tersebut didukung pula oleh diagram scatter yang menunjukkan pola hampir sama (Gambar 5.18).



Gambar 5.19. Kekar merusak jalan yang dibangun pada tahun 1992 di lereng Gunung Bukitcula (difoto Januari 2005)

Kenampakan objek di lapangan juga mengindikasikan bahwa Sesar Barugbug tergolong sesar aktif. Hal ini ditunjukkan oleh rusaknya fasilitas infrastruktur yang dilalui oleh sesar tersebut, misalnya:

- Retakan sepanjang badan jalan utama kawasan perumahan di lereng Gunung Pasir Nini yang dibangun pada tahun 1992 (Gambar 5.19);
- Jalan beraspal di perkampungan Barugbug terpotong oleh sesar dan mengalami pergeseran (Gambar 5.20);

- Sungai Barugbug yang telah dibelokkan arah alirannya mengikuti tepi jalan kembali pada arah semula mengikuti arah azimuth sesar memotong badan jalan.



Gambar 5.20. Sesar aktif memotong jalan utama di perkampungan Barugbug (difoto Januari 2005)

5.3.3 Morfometri Bentangalam Vulkanik Kuartar di Cekungan Bandung Bagian Selatan dan Implikasinya Terhadap Distribusi Daerah Banjir

Hasil penelitian ini telah dipublikasikan dalam Map Asia Conference yang diselenggarakan di Bangkok pada tanggal 29 Agustus sampai 1 September 2006. Judul artikel yang dipublikasikan adalah WATERSHED MORPHOMETRY OF QUATERNARY VOLCANIC TERRAIN IN SOUTHERN PART OF THE BANDUNG BASIN: IT'S IMPLICATION IN DISTRIBUTION OF FLOOD AREA.

Lokasi dianggap strategis ditinjau dari beberapa aspek. Misalnya banyak kota tumbuh dan berkembang di kaki bukit atau gunung, pantai, sekitar sungai besar, dan lain - lain (Legget, 1973). Lokasi

perkotaan menyiratkan di sekitar sungai besar memiliki risiko tinggi terhadap banjir. Banjir terjadi saat drainase yang ada tidak bisa menampung air limpasan, sehingga air melimpah dan banjir terjadi di sekitar daerah tersebut (Strahler & Strahler, 1984).

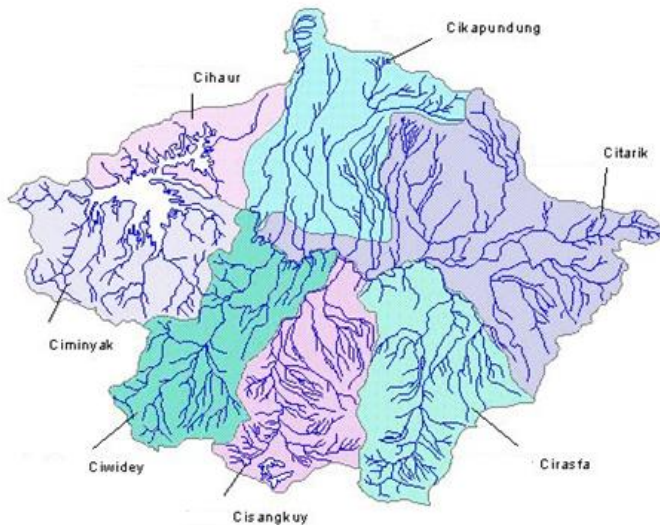
Wilayah Bandung terletak dalam cekungan antar gunung (*intermountain basin*). Di Cekungan Bandung, Sungai Citarum beserta anak-anak sungainya mengalir. Sungai Citarum menjadi sumber kehidupan bagi masyarakat di Kabupaten Bandung, Kota Bandung, dan Kota Cimahi (Anonim, 2005). Sungai Citarum mendukung pembangunan wilayah Bandung dan sekitarnya, namun di sisi lain memiliki banyak permasalahan.

Morfometri Citarum bagian hulu dapat berubah setiap saat karena aktivitas manusia dan fenomena geologi. Morfometri DAS secara dinamis dapat mempengaruhi kapasitas penyimpanan dan limpasan. Studi morfometri secara terus menerus sangat penting untuk mengetahui kapasitas sungai alami pada waktu-waktu tertentu.

Crickmay (1974) telah mendefinisikan *watershed* dan *basin*. *Watershed* adalah batas antara dua *basin*, merupakan batas yang tegas antara dua gradien yang bersebelahan yang dapat menentukan arah air mengalir. Sedangkan *basin* didefinisikan sebagai daerah cekungan, di mana lerengnya ditempati oleh anak-anak sungai sebagai sebuah sistem. Beberapa indikator karakteristik DAS antara lain mencakup aspek topografi, geologi, geomorfologi, tanah, vegetasi, tata guna lahan dan tutupan lahan. Aspek geomorfologi sebagai indikator DAS adalah morfometri. Van Zuidam (1983) mendefinisikan morfometri sebagai kuantifikasi bentuk lahan. Hasil analisis morfometri berupa data numeric dapat menjelaskan karakteristik bentuk lahan. Selanjutnya dapat menjadi data dasar untuk diterapkan dalam hidrologi, pengelolaan bencana, eksplorasi sumber daya alam, dan sebagainya.

Cekungan Bandung bagian selatan terdiri atas bentang alam perbukitan dan pegunungan yang tersusun atas batuan vulkanik

berumur Kuarter. Secara fisiografi, daerah ini merupakan bagian dari zona depresi Bandung dan produk vulkanik Kuarter (van Bemmelen, 1949). DAS Citarum bagian hulu dibagi menjadi 7 sub-DAS (LCLUC, 2001), yaitu Cihaur, Cikapundung, Citarik, Cirasta (Cirasea-Citarum), Cisangkuy, Ciwidey dan Ciminyak. Berdasarkan pembagian tersebut, daerah penelitian termasuk dalam sub-DAS Cirasta (Gambar 5.21).



Gambar 5.21. Sub DAS Citarum bagian hulu dalam cekungan Bandung (LCLUC, 2001)

Pada umumnya, sumber aliran sungai berasal dari pegunungan di bagian selatan. Pegunungan ini diantaranya G.Wayang, G.Windu, G.Gambung, G.Malabar, G.Rakutak. Selanjutnya, sungai mengalir menuju pusat cekungan Bandung. Pola pengaliran di daerah ini terdiri atas *trellis*, *dendritic*, *rectangular* dan *sub radier*. Berdasarkan karakteristik lembah dan pola drainase, misalnya lembah dengan

penampang melintang membentuk modifikasi dari huruf "V" sampai "U", maka tingkat erosi menunjukkan tingkat dewasa. (Thornburry, 1969), kecuali di lereng curam akan membentuk profil lembah "V".

Beberapa peneliti sebelumnya, diantaranya Klompe (1956, dalam Koesoemadinata, 1979), Silitonga (2003), Alzwar dkk (1992) dan Dam (1994) melakukan penelitian geologi dan evolusi Cekungan Bandung. Pada umumnya, komposisi batuan di DAS Cirasta adalah produk vulkanik berumur Kuartar dan sebagian kecil berupa endapan berumur Holosen dan Resen. Produk vulkanik berumur Kuartar berupa tuf, lava andesit-basal, breksi vulkanik dan breksi laharik. Beberapa struktur geologi di daerah ini adalah sesar Lembang (di bagian utara), sesar Ciparay (di bagian selatan), sesar Mandalawangi (di bagian timur) dan sebagainya.

Analisis data menggunakan pendekatan kuantitatif untuk mendapatkan data karakteristik DAS. GIS digunakan sebagai alat analisis geospasial untuk zonasi banjir. Beberapa aspek, yaitu iklim, intensitas hujan, kemiringan lereng, tata guna lahan, orde sungai, dan tipe batuan mengontrol distribusi banjir (Sukiyah dkk, 2004).

Variabel morfometri DAS meliputi beberapa aspek, yaitu panjang, area, dan relief. Aspek panjang yaitu panjang sungai, keliling DAS, panjang dan lebar DAS. Pengukuran aspek area adalah luas DAS dan kerapatan pengaliran. Aspek relief berkaitan perbedaan segmen sungai bagian atas dan bawah untuk setiap orde sungai. Selanjutnya, variabel dihitung; penetapan orde sungai, nilai kerapatan pengaliran dan kekasaran DAS.

Perangkat lunak SIG digunakan untuk analisis geo-spasial. Setiap layer data diberi bobot untuk memudahkan perhitungan sederhana data spasial dalam format vektor. Mader dan Remson (dalam Howard dan Remson, 1978) telah mendesain nilai kemampuan data spasial untuk analisis tingkatan kemampuan lahan. Nilai bobot

diberikan untuk beberapa aspek yang terkait dengan penetapan daerah rawan banjir. Penetapan bobot berdasarkan pada tingkat kepentingan dan kondisi aspek. Bobot numeric memiliki rentang dari 0 (nol) sampai 5 (lima), yaitu 5 (memiliki kepentingan sangat tinggi), 4 (memiliki kepentingan tinggi), 3 (memiliki kepentingan menengah), 2 (memiliki kepentingan rendah), 1 (memiliki kepentingan sangat rendah), dan 0 (tidak penting). Demikian juga kondisi setiap layer data diberi nilai dengan rentang 0 (0) sampai 5 (lima), yaitu 5 (kemampuan sangat tinggi), 4 (kemampuan tinggi), 3 (kemampuan menengah), 2 (kemampuan rendah), 1 (kemampuan sangat rendah) and 0 (tidak mampu). Selanjutnya, aspek yang berkaitan dengan penetapan zona banjir dianalisis dengan metode overlay menggunakan operasi matematika penjumlahan beragam bobot dan nilai. Ketersediaan informasi dan data aspek kemampuan lahan bervariasi. Jumlah skor seluruh aspek tergantung kepada jumlah aspek yang dianalisis. Oleh karena itu, diperlukan perhitungan statistik untuk menyeragamkan nilai akhir, misalnya menggunakan kurva distribusi normal.

Tahapan penelitian dapat dibagi dalam studi literature dan preparasi peta topografi, interpretasi bentangalam vulkanik, pengukuran variabel morfometri, survey lapangan, analisis data, deliniasi distribusi zona banjir, interpretasi pola kurva, dan menetapkan karakteristik morfometri setiap zona banjir.

Sub-DAS Cirasta adalah bagian dari 7 sub-DAS di DAS Citarum hulu (LCLUC, 2001). Sub-DAS ini diperkirakan memiliki luas 272,5 km², Bentuk memanjang dengan arah relatif utara-selatan, lebar maksimum mencapai 15 km. Hasil perhitungan diketahui kerapatan pengaliran mencapai 2,8507 km/km². Jaringan sungai melibatkan sungai orde 1, 2, 3, 4, 5 dan 6. Jumlah keseluruhan segmen sungai sekitar 714 segmen. Tabel 5.10 menunjukkan morfometri sub-DAS Cirasta.

Tabel 5.10. Morfometri sub-DAS Cirasta

Orde (u)	ΣL_u (km)	N_u	$\overline{L}_u$ (km)	$\overline{L}_{u+1}$ (km)	R_1
1	411,1319	534	0,7699	1,4675	0,524640
2	189,3042	129	1,4675	2,6345	0,557022
3	97,4759	37	2,6345	3,5022	0,752237
4	35,0218	10	3,5022	10,3993	0,336771
5	31,1979	3	10,3993	12,3993	0,838701
6	12,6800	1	12,6800	-	-
Total:	776,8117	714			

dengan

ΣL_u = Jumlah panjang sungai orde ke-u

N_u = Jumlah segmen sungai

$\overline{L}_u$ = Rata-rata panjang sungai orde ke-u

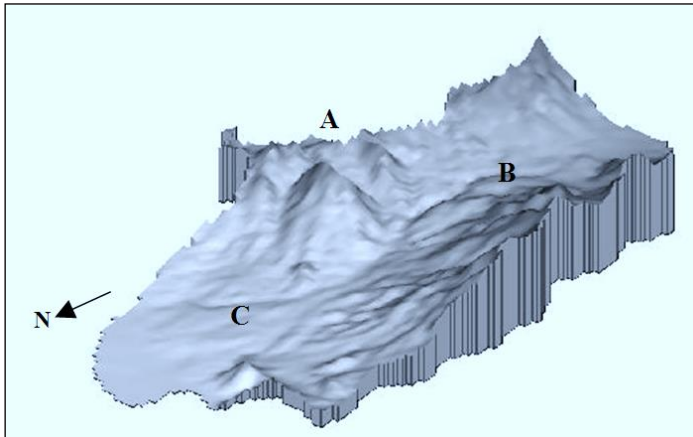
$\overline{L}_{(u+1)}$ = Rata-rata panjang sungai orde ke-(u+1)

R_1 = Rasio rata-rata panjang sungai orde ke-u terhadap rata-rata panjang sungai orde ke-(u+1)

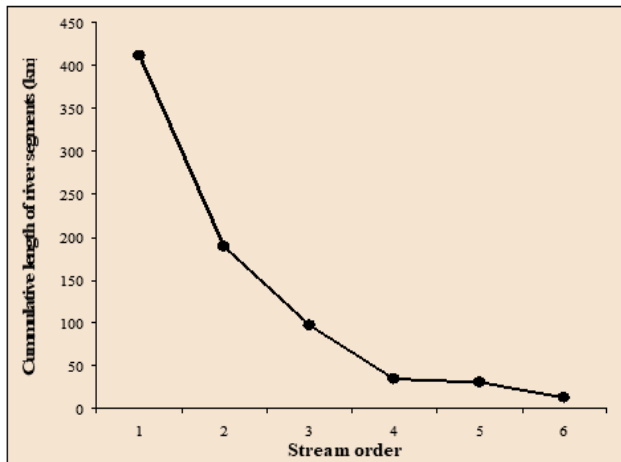
km = Kilo meter

Berdasarkan kekasaran tekstur, morfologi daerah penelitian dapat dikelompokkan dalam 3 satuan yaitu bentangalam bertekstur kasar, bentangalam vulkanik bertekstur agak kasar, dan lembah sungai (Gambar 5.22). Kenampakan tekstur merupakan refleksi kerapatan pengaliran dan sifat batuan vulkanik.

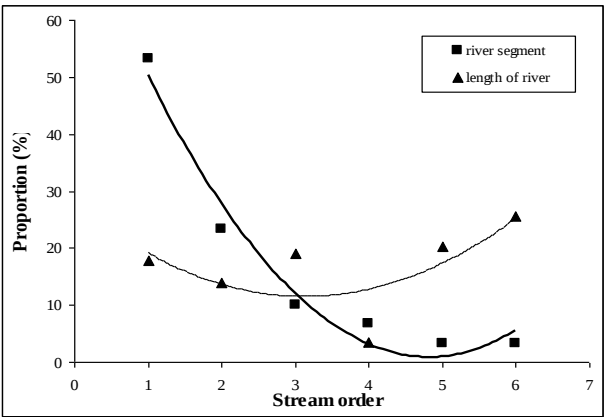
Pola garis kurva tertentu dapat mencerminkan hubungan antara panjang kumulatif segmen sungai dan orde sungai (Gambar 5.23). Orde sungai 4 dan 5 memiliki anomali. Hal itu berkaitan dengan keberadaan sesar aktif. Beberapa segmen sungai mencerminkan fenomena di sekitar sesar. Biasanya, jumlah panjang segmen sungai orde 4 lebih panjang dan orde 5 lebih pendek. Kejadian di lapangan, pengaruh sesar mengakibatkan jumlah panjang sungai orde 4 menjadi lebih pendek sebaliknya orde 5 menjadi lebih panjang.



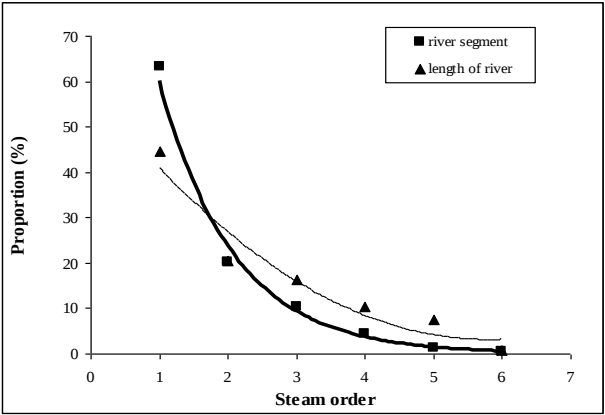
Gambar 5.22. Bentangalam vulkanik di sub-DAS Cirasta (dari arah timur laut). (A) tekstur kasar, (B) tekstur agak kasar, dan (C) lembah sungai



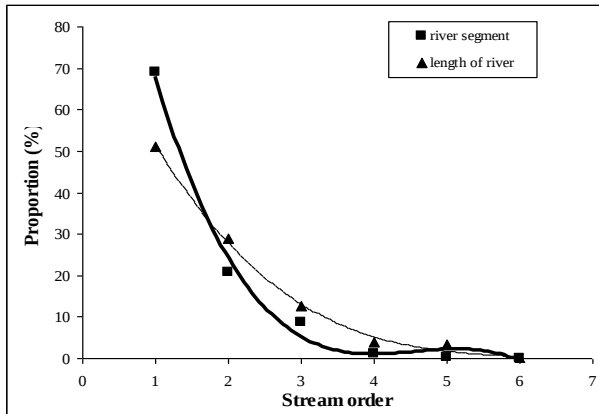
Gambar 5.23. Grafik hubungan antara kumulatif panjang segmen sungai dan orde sungai



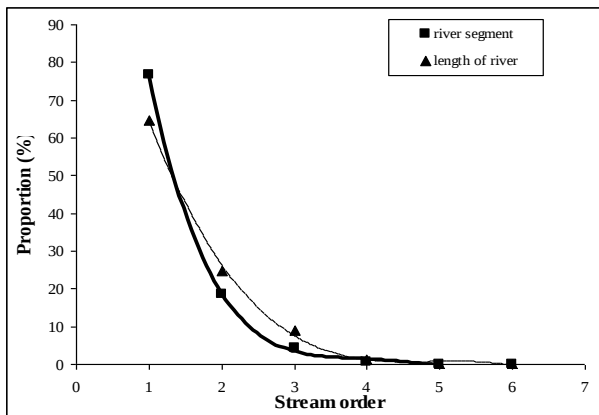
Gambar 5.24. Grafik hubungan antara proporsi jumlah segmen sungai (v1) dan jumlah panjang sungai (v2) terhadap orde sungai pada wilayah rawan banjir di sub-DAS Cirasta



Gambar 5.25. Grafik hubungan antara proporsi jumlah segmen sungai (v1) dan jumlah panjang sungai (v2) terhadap orde sungai pada wilayah berpotensi banjir di sub-DAS Cirasta



Gambar 5.26. Grafik hubungan antara proporsi jumlah segmen sungai (v1) dan jumlah panjang sungai (v2) terhadap orde sungai pada wilayah probabilitas banjir kecil di sub-DAS Cirasta



Gambar 5.27. Grafik hubungan antara proporsi jumlah segmen sungai (v1) dan jumlah panjang sungai (v2) terhadap orde sungai pada wilayah bebas banjir di sub-DAS Cirasta

Kehadiran kontrol tektonik dibuktikan oleh hasil analisis statistik pada beberapa lokasi tertentu. Analisis statistik diterapkan untuk arah azimuth kelurusan segmen sungai dan kelurusan morfologi. Kelurusan morfologi umumnya berkaitan dengan sesar. Hasil analisis menunjukkan tidak ada perbedaan antara azimuth kelurusan segmen sungai dan morfologi. Berdasarkan hasil perhitungan rasio cabang sungai (R_b) pada beberapa bagian dari sub-DAS Cirasta yaitu di Barugbug, Cirawa, Cihejo, Cirasea hulu di Patrol, menunjukkan bahwa ada kontrol sesar aktif. Fenomena ini ditunjukkan oleh $R_b < 3$ or $R_b > 5$ yang bermakna bahwa daerah tersebut dikontrol oleh sesar aktif (Verstappen, 1983).

Hasil analisis geo-spasial menunjukkan bahwa daerah penelitian dapat dibagi dalam 4 zona banjir. Keempat zona tersebut adalah zona rawan banjir, zona berpotensi banjir, zona probabilitas banjir kecil, dan zona bebas banjir. Zonasi banjir berdasarkan pada beberapa aspek, diantaranya iklim, intensitas hujan, kemiringan lereng, tata guna lahan, orde sungai dan tipe batuan. Setiap zona memiliki karakteristik morfometri yang spesifik.

Di bagian hulu S. Citarum, daerah rawan banjir mencapai 19,1 km² dan akan meningkat sejalan dengan perubahan morfometri. Daerah yang berpotensi banjir, distribusinya lebih luas yaitu 69,68 km². Wilayah dekat puncak gunung atau bukit relatif lebih aman dibandingkan daerah lainnya. Daerah ini mencapai 71.67 km² dan daerah bebas banjir mencapai 112,1 km².

Daerah tangkapan air Cicangkuang, Citonjong, dan Cikoneng merupakan bagian dari sub-DAS Cirasta. Hasil analisis jumlah segmen sungai pada setiap orde sungai menunjukkan karakteristik yang tidak berbeda. Selanjutnya, dapat disimpulkan bahwa karakteristik orde sungai di sub-DAS Cirasta relatif sama.

Panjang total segmen sungai berbanding terbalik terhadap peningkatan orde sungai. Fenomena yang sama berlaku untuk jumlah kumulatif segmen sungai. Orde sungai meningkat berbanding terbalik

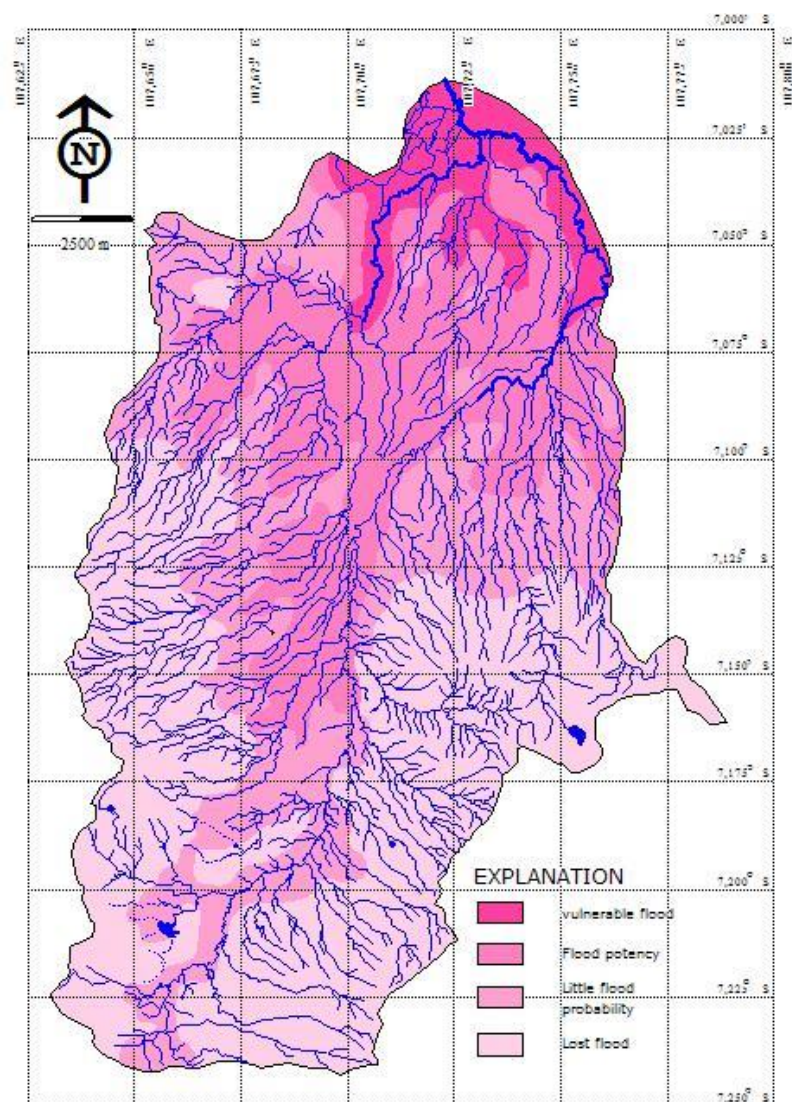
terhadap jumlah kumulatif panjang segmen sungai. Rata-rata panjang segmen sungai sebanding dengan peningkatan orde sungai. Hal ini berarti jika orde sungai meningkat maka meningkat pula panjang segmen sungainya.

Secara keseluruhan sub-DAS Cirasta dapat dianggap normal berdasarkan perhitungan R_b . Kondisi ini menandakan bahwa kontrol tektonik tidak signifikan. Hal ini ditunjukkan oleh nilai R_b yang berkisar dari 3 hingga 4,14. Namun demikian, beberapa bagian dari sub-DAS Cirasta dikontrol oleh sesar, diantaranya Barugbug, Cirawa, Cihejo, Cirasea hulu di Patrol.

Pada grafik korelasi antara kumulatif jumlah segmen sungai (v_1) dan kumulatif jumlah panjang segmen sungai (v_2) terhadap orde sungai, daerah rawan banjir ditunjukkan pola garis kurva yang saling menjauh (Gambar 5.24). Sementara itu, daerah yang tidak rawan banjir dicirikan oleh pola garis kurva yang saling mendekat dan cenderung berimpit (Gambar 5.25, 5.26, dan 5.27).

Secara signifikan morfometri sub-DAS Cirasta telah berubah. Fenomena ini dicirikan oleh distribusi daerah berpotensi banjir yang telah mencapai kawasan hulu sungai (Gambar 5.28). Terlebih lagi, orde sungai bernilai rendah turut meluas ke wilayah potensi banjir. Kondisi tersebut terjadi karena sub-DAS mengalami kerusakan yang sudah mencapai kawasan hulu. Salah satu penyebabnya adalah rusaknya kawasan hutan konservasi oleh aktivitas manusia.

Daerah yang rawan banjir dicirikan oleh peningkatan variasi orde sungai (Tabel 5.11). Distribusi wilayahnya akan berkebalikan sesuai dengan urutan daerah yang cenderung banjir. Fenomena ini didukung oleh hasil analisis pola garis kurva. Ada hubungan nyata antara orde sungai dan distribusi daerah banjir. Fenomena tersebut menunjukkan bahwa bentangalam vulkanik Kuartar memiliki sedikit keteraturan pola untuk menjelaskan daerah rawan banjir.



Gambar 5.28. Peta distribusi daerah banjir di sub-DAS Cirasta

Tabel 5.11 Orde sungai dalam setiap zona banjir di sub-DAS Cirasta

Zona	Orde sungai					
	1	2	3	4	5	6
Rawan banjir	√	√	√	√	√	√
Potensi banjir	√	√	√	√	√	√
probabilitas banjir kecil	√	√	√	√	√	
Bebas banjir	√	√	√	√		

5.3.4 Metode Grid Sederhana dalam Aplikasi SIG Untuk Deliniasi Zona Erosi dan Banjir

Hasil penelitian ini telah dipublikasi dalam SKIM 2007 yang diselenggarakan pada 29 – 31 Mei 2007 di Bangi, Malaysia. Judul artikel ilmiah adalah “The Simple Grid Method in GIS Application for Delineation of Erosion and Flood Zones: Case study at Bandung Basin”.

Analisis data spasial pada umumnya memerlukan waktu yang cukup lama, apalagi jika variabel bersifat numerik dan data bukan dalam format digital. Beberapa model aplikasi analisis spasial diantaranya adalah perhitungan erosi, deliniasi zona banjir, zonasi rawan longsor, zonasi lahan terdampak oleh limbah penambangan, dll.

Perangkat lunak SIG biasanya mengelola data berformat vektor. Jika fasilitas untuk data raster tersedia, biasanya hanya digunakan untuk menampilkan data dan tidak digunakan untuk keperluan analisis. Oleh karena itu, diperlukan metode tambahan untuk analisis geo-spasial yang melibatkan banyak variabel. Metode grid sederhana dengan perhitungan informasi bersifat numerik dapat diterapkan untuk beragam tujuan analisis geo-spasial. Metode ini meliputi tahapan pembuatan grid pada peta kawasan yang akan dianalisis, pembuatan struktur data sesuai dengan variabel yang telah

ditetapkan, pemasukan data dengan sejumlah kriteria untuk analisis, dan perhitungan data dengan pendekatan statistik dan matematika.

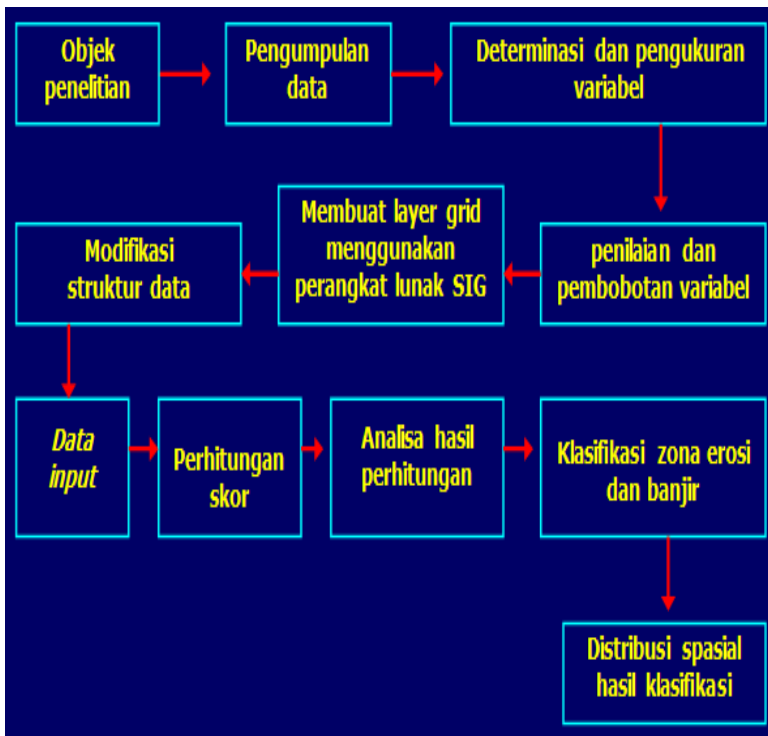
Metode grid sederhana diterapkan untuk deliniasi zona erosi dan banjir di Cekungan Bandung. Cekungan Bandung dikelilingi oleh bentangalam perbukitan dan pegunungan yang tersusun atas batuan vulkanik Kuartar. Beberapa ilmuwan telah melakukan penelitian di kawasan ini, diantaranya adalah Koesoemadinata (1979), Alzwar dkk (1992), Dam (1994), LCLUC (2001), Roswandi (2004), Sukiyah dkk (2004, 2005, and 2006), dll.

Sukiyah (2005) telah mempublikasikan bahwa beberapa besar aktif mengontrol beberapa DAS (Daerah Aliran Sungai) di Cekungan Bandung, diantaranya adalah DAS Barubug. Kondisi tersebut ditunjukkan oleh hasil analisis kekar, dimana pola kekar tidak berbeda dengan pola segmen sungai. Beberapa aspek, misalnya iklim, intensitas curah hujan, kemiringan lereng, penggunaan lahan, orde aliran, tipe batuan, dan tektonik mengontrol distribusi kawasan Cekungan Bandung bagian selatan (Sukiyah dkk, 2004; Sukiyah dkk, 2006).

Variabel yang digunakan dalam analisis erosi dan banjir harus dihubungkan dengan data spasial melalui referensi geografi. Kadang-kadang variabel tidak memiliki tipe numerik yang sama sementara itu operasi matematika memerlukan data numerik yang memiliki tipe sama. Oleh karena itu, metode pembobotan pada variabel yang terkait dengan analisis diperlukan.

Howard dan Remson (1978) telah menggunakan kaidah pembobotan pada variabel untuk perencanaan penggunaan lahan. Dalam studi kasus di Cekungan Bandung, metode ini digunakan untuk menyelaraskan variabel bersifat numerik yang digunakan dalam analisis zonasi erosi dan banjir. Mader dan Remson (dalam Howard dan Remson, 1978) telah menetapkan nilai kemampuan data spasial untuk analisis penilaian kemampuan lahan. Nilai bobot diberikan untuk beberapa aspek yang terkait dalam penetapan zonasi erosi dan banjir berdasarkan kepada tingkat kepentingan dan kondisi aspek. Bobot

numerik berkisar dari 0 hingga 5, yaitu (5) kepentingan sangat tinggi, (4) kepentingan tinggi, (3) kepentingan menengah, (2) kepentingan rendah, kepentingan sangat rendah, dan (0) tidak penting. Selanjutnya, kondisi setiap layer data diberi nilai juga yang berkisar dari 0 sampai 5, yaitu (5) kemampuan sangat tinggi, (4) kemampuan tinggi, (3) kemampuan menengah, (2) kemampuan rendah, (1) kemampuan sangat rendah, dan (0) tidak layak.



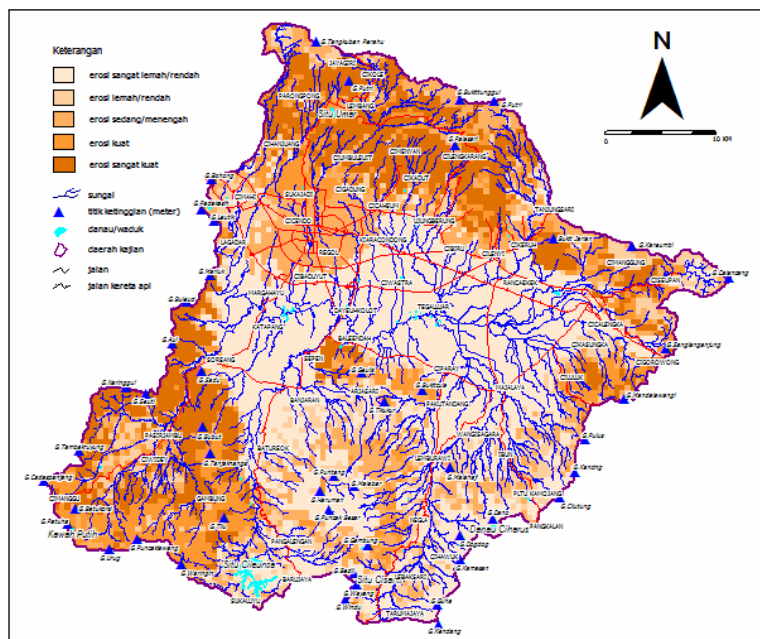
Gambar 5.29. Tahapan analisis geo-spasial menggunakan SIG

Gambar 5.29 menunjukkan tahapan utama dalam analisis geospasial. Tahapan analisis adalah dijitasi data spasial, modifikasi struktur data untuk setiap layer data yang sama, pembaharuan info data spasial yang memiliki referensi koordinat geografi yang sama, membuat layer grid dengan ketelitian tertentu, membuat wadah informasi sebanyak variabel yang dikelola, pembaharuan informasi layer grid dengan informasi yang terkait dengan layer data variabel. Perhitungan seluruh variabel menggunakan operasi matematika penjumlahan pada layer grid. Selanjutnya, hasil perhitungan diklasifikasi dengan pendekatan statistik, contoh dengan kurva distribusi normal. Hasil analisis menggunakan metode grid sederhana diintegrasikan dengan tampilan secara spasial. Cara ini menggunakan pewarnaan yang berbeda pada setiap kelas.

Pendekatan probabilistik digunakan untuk verifikasi. Data hasil analisis dan survei lapangan diverifikasi menggunakan uji beda rata-rata (*t-test*). Jika nilai "*t*" dari hasil perhitungan lebih kecil dari "*t*" dari tabel distribusi "*t*" dengan tingkat kesalahan tertentu, maka hipotesis bahwa data hasil analisis dengan cara perhitungan tidak berbeda dengan data hasil survei diterima. Bila hasil sebaliknya, maka hasil analisis data dengan perhitungan berbeda dengan data hasil survei.

Beberapa variabel yang digunakan untuk penerapan metode ini dalam penentuan zonasi erosi adalah tipe batuan, struktur geologi, kemiringan lereng, tingkat pelapukan, penggunaan lahan, dan intensitas curah hujan. Pemilihan variabel didasarkan pula pada variabel-variabel yang terdapat dalam formula perhitungan erosi secara universal (*USLE = Universal Soil Loss Equation*) yang dikemukakan oleh Wischmeier dan Smith (1978, dalam El-Swaify dkk, 1982). Hasil analisis menunjukkan bahwa Cekungan Bandung dapat dikelompokkan dalam 5 zona, yaitu erosi sangat kuat, erosi kuat, erosi menengah, erosi rendah, dan erosi sangat rendah (Gambar 5.30). Daerah dengan erosi sangat kuat terdapat di Cikapundung bagian hulu, Ciramose, Cicangkuang, Citarik, Cikeruh, dll. Wilayah yang mengalami

erosi kuat diidentifikasi di Cimanggung, Cijagra, Barugbug, dll. Tingkat erosi menengah ditemukan di Cijoho, Cirasea, Wangisagara, Ujungberung, dll. Tingkat erosi rendah terdapat di Cikitu, G.Wayang, Rancakole, dll. Sedangkan tingkat erosi sangat rendah diidentifikasi di Cimulu bagian hulu, Citarik bagian hulu, dll.



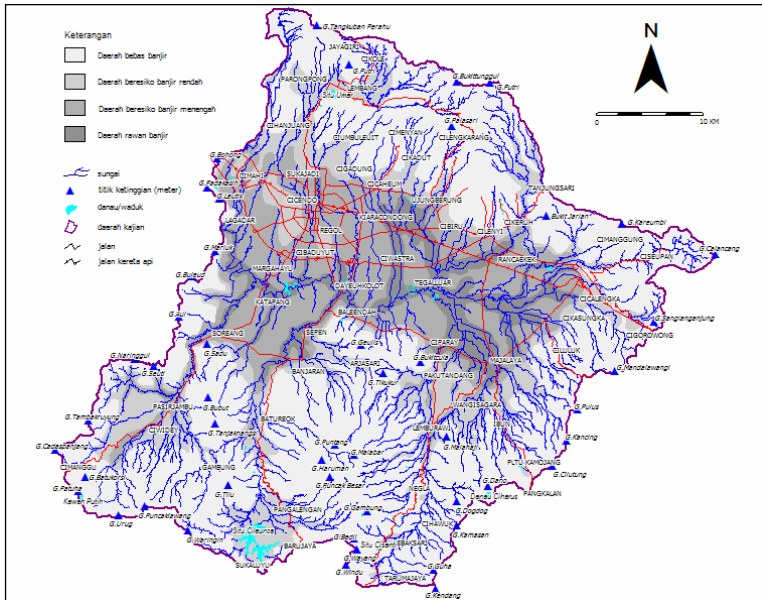
Gambar 5.30. Peta zona erosi kawasan Cekungan Bandung

Erosi tertinggi menempati Daerah Tangkapan Air (DTA) Cimonce yang merupakan bagian dari sub-DAS Ciwidey yaitu mencapai 2.436,29 ton/ha/th. Di sisi lain, erosi terendah menempati DTA Cirenjeng yaitu sekitar 0,97 ton/ha/th. Tingkat erosi yang tinggi di DTA Cimonce dapat dipahami karena indeks variabel-variabel erosi pada umumnya tinggi, diantaranya tekstur tanah kasar, kemiringan lereng curam, dan

penggunaan lahan yang buruk. Erosi total pada suatu DAS tergantung kepada laju erosi per tahun dan dimensi daerah tangkapan air. Berdasarkan perhitungan data secara spasial menggunakan perangkat lunak SIG diketahui bahwa erosi total tertinggi menempati sub-DAS Cikapundung yaitu sekitar 7.425.462,6 ton/th. Fenomena tersebut dapat terjadi mengingat indeks erodibilitas tergolong tinggi, didukung pula oleh kemiringan lereng yang relatif curam dan wilayah tangkapan yang luas sekitar 12.060 ha. Tekstur tanah di sub-DAS Cikapundung pada umumnya tergolong kasar. Kondisi tersebut disebabkan oleh hasil pelapukan dari batuan vulkanik (lava) yang terdeformasi kuat oleh kontrol sesar Lembang. Erosi total terendah terdapat di sub-DAS Cilenyi yaitu sekitar 302,08 ton/th dengan laju erosi rata-rata 99,84 ton/ha/th. Fenomena tersebut dapat terjadi karena wilayah tersebut pada umumnya datar hingga landai dengan tektur tanah penyusun yang halus.

Beberapa aspek yang terkait dengan kemungkinan terjadinya banjir pada suatu wilayah diantaranya adalah litologi (tipe dan tekstur batuan), penggunaan lahan, intensitas hujan, kemiringan lereng, karakteristik aliran (orde aliran), dan deformasi lahan akibat tektonik (morfotektonik).

Tahapan yang serupa dapat pula digunakan untuk deliniasi zona banjir (Gambar 5.31). Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode grid sederhana dapat diketahui distribusi zona banjir di Cekungan Bandung. Zonasi banjir tersebut adalah kawasan rawan banjir sekitar 15.040 ha, kawasan berisiko banjir menengah sekitar 35.360 ha, kawasan berisiko banjir rendah sekitar 33.200 ha, dan kawasan bebas banjir sekitar 98.510 ha. Kawasan rawan banjir menempati wilayah Kiaracondong, Ciwastra, Tegalar, Rancaekek, Babakanmuara, Cijagra, Majalaya, Ciparay, Dayeuhkolot, Sapan, dan Katapang (Gambar 5.31).



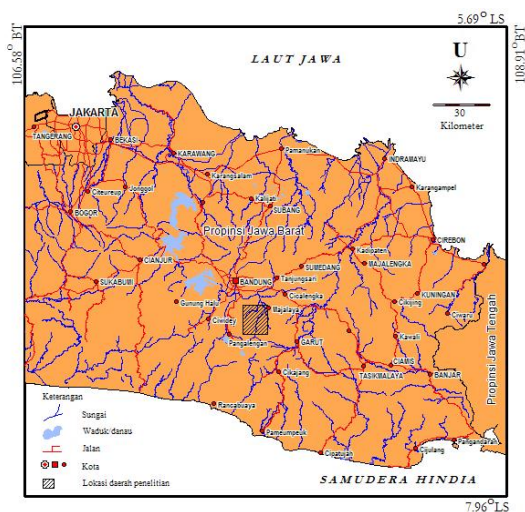
Gambar 5.31. Peta distribusi daerah banjir di kawasan Cekungan Bandung

Daerah rawan banjir pada umumnya menempati wilayah di sekitar muara sungai yang bagian hulunya mengalami tingkat erosi sangat tinggi. Secara morfotektonik, daerah rawan banjir juga menempati bentangalam berupa depresi.

Data hasil analisis dan survei lapangan diverifikasi menggunakan uji beda rata-rata (*t-test*). Hasil verifikasi di 30 lokasi menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan diantara keduanya, dimana " $t_{hitung} < t_{tabel}$ " dengan " $\alpha=0,05$ ". Fenomena tersebut menunjukkan bahwa metode grid sederhana dapat digunakan untuk analisis data geo-spasial terkait dengan aplikasi SIG untuk deliniasi zona erosi dan banjir.

5.3.5 Morfometri Daerah Aliran Sungai Pada Bentangalam Vulkanik Kuarter Terdeformasi

Hasil penelitian ini telah dipublikasikan dalam Bulletin of Scientific Contribution Vol. 5, No. 3, Desember 2007. Penelitian dilakukan pada bentangalam vulkanik di kawasan hulu S.Citarum (Gambar 5.32). Secara hidrologi kawasan hulu S.Citarum dapat dibagi dalam beberapa Daerah Aliran Sungai yang relatif lebih kecil sebagai unit analisis, dalam hal ini disebut sebagai DTA (Daerah Tangkapan Air). DTA Cihejo, Cijoho, Barugbug, dan Cigaluguh dipilih sebagai objek penelitian (Gambar 5.33). Keempat DTA tersebut merupakan pemasok air di kawasan hulu S.Citarum.



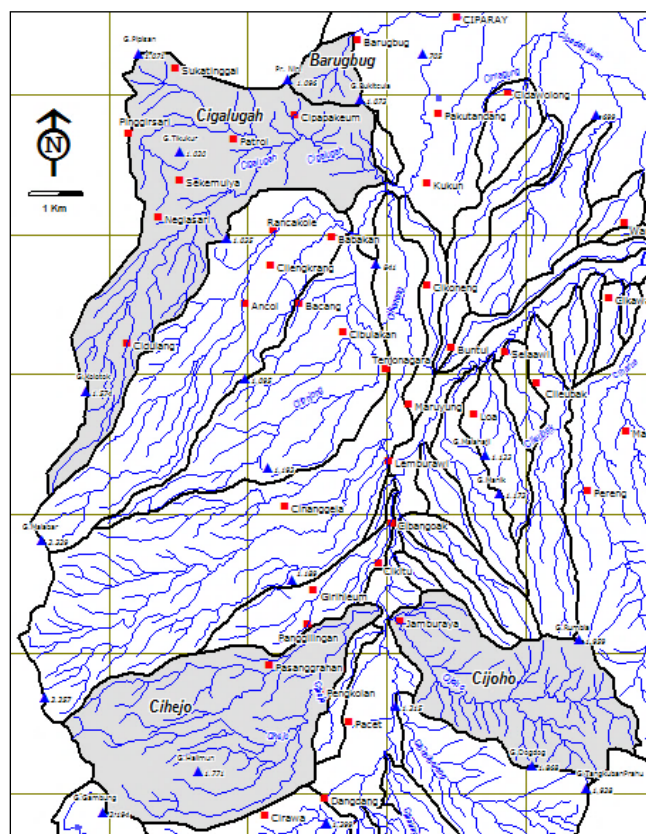
Gambar 5.32. Lokasi penelitian di kawasan hulu S. Citarum

Geologi daerah penelitian telah diteliti oleh van Bemmelen (1949), Alzwar dkk (1992), dan Dam (1994). Berdasarkan hasil penelitian, kawasan tersebut tersusun atas batuan vulkanik berumur Kuarter. Secara genetik, ada empat kelompok batuan vulkanik, yaitu

batuan gunungapi Malabar-Tilu berumur Plistosen Akhir (Qmt), endapan rempah gunungapi tua tak teruraikan berumur Pistosen Tengah (Qopu), batuan gunungapi Guntur - Pangkalan - Kendang berumur Plistosen Awal (Qgpk), dan andesit Waringin-Bedil produk Malabar Tua berumur Plistosen Awal (Qwb). Pada umumnya litologi penyusun formasi tersebut terdiri atas tuf, tuf lapili, breksi vulkanik, dan lava. Sebagian besar batuan vulkanik telah mengalami deformasi. Beberapa sesar aktif relatif berarah barat-timur dan utara-selatan turut mengontrol bentuk bentangalam di daerah penelitian. Di beberapa lokasi ditemukan adanya alterasi hidrotermal yang terdeteksi, baik secara fisik maupun melalui analisis mikroskopik dan kimia (Sukiyah, 2006).

Kondisi geologi dan kemampuan lahan akan tercermin pada karakteristik bentangalam yang meliputi dimensi DAS atau DTA, pola pengaliran, kelurusan morfologi, kerapatan pengaliran, rasio cabang sungai, dan sebagainya. Beberapa parameter penentu karakteristik bentangalam dapat dianalisis secara kuantitatif.

Bahan dan peralatan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah peta rupa bumi skala 1:25.000, peta geologi regional, perangkat lunak Sistem Informasi Geografik (SIG), peralatan survei lapangan, dan sebagainya. Subjek penelitian berupa beberapa variabel morfometri yang dapat diukur pada media peta rupa bumi. Variabel morfometri yang digunakan diantaranya adalah kemiringan lereng dan elevasi, dimensi DAS (luas, keliling, panjang, dan lebar), panjang segmen sungai (L_s), azimuth segmen-segmen sungai, azimuth kelurusan morfologi, kerapatan pengaliran (D_d), orde sungai, dan rasio cabang sungai (R_b). Rasio cabang sungai (R_b) merupakan perbandingan jumlah sungai berorde n dibagi dengan jumlah sungai berorde $n+1$ pada suatu DAS. Bila $R_b < 3$ atau $R_b > 5$ maka DAS tersebut telah mengalami deformasi (Verstappen, 1983).



Gambar 5.33. Ilustrasi pola DTA di kawasan hulu S. Citarum

Beberapa variabel morfometri yang terkait dengan spasial dianalisis menggunakan metode grid sederhana untuk mempermudah proses perhitungan (Sukiyah dkk, 2007). Seluruh data yang tersedia dibuat dalam format digital melalui proses dijitasi menggunakan perangkat lunak SIG. Pendekatan probabilistik digunakan untuk mengetahui perbedaan karakteristik morfometri keempat DTA yang

diteliti. Normalitas distribusi data perlu diketahui sebelum uji statistik digunakan.

Bentangalam di daerah penelitian pada umumnya merupakan kawasan perbukitan dan lereng pegunungan. Kemiringan lereng di DTA Cijoho, Cihejo, dan Barugbug bervariasi dari landai hingga curam, sedangkan di DTA Cigalugah berkisar dari datar hingga curam. Elevasi DTA Barugbug berkisar pada 687,5 hingga 1.096 mdpl. Sementara itu, DTA Cigalugah berelevasi 750 sampai 2.100 mdpl, elevasi DTA Cihejo berkisar 1.025 sampai 2.237,5 mdpl, dan elevasi DTA Cijoho berkisar pada 1.037,5 hingga 1.959 mdpl. Variasi kemiringan lereng dan elevasi terjadi kemungkinan akibat adanya keragaman karakteristik batuan vulkanik maupun pola struktur di kawasan tersebut.

Pengelompokan pola pengaliran di daerah penelitian mengacu pada klasifikasi pola pengaliran yang dikemukakan oleh Howard (1967). Berdasarkan hasil analisis, pola pengaliran pada umumnya cukup kompleks. Pola dasar atau modifikasi yang ideal sangat jarang ditemukan. Beberapa pola pengaliran menunjukkan anomali. Misalnya Pola pengaliran DTA Cigalugah, di bagian hulu menunjukkan pola subdendritik, ke arah hilir terjadi kombinasi antara anular, rectangular, dan menangga (Gambar 5.33). Fenomena tersebut menunjukkan bahwa tatanan geologi cukup kompleks.

Hasil pengukuran dan analisis beberapa variabel morfometri ditampilkan pada Tabel 5.12. Berdasarkan data tersebut tampak bahwa semakin luas suatu DTA yang tersusun atas batuan vulkanik, maka akan semakin besar jumlah panjang segmen sungai-sungainya ($\sum L_s$). Secara umum bentuk DTA akan ditentukan oleh perbandingan antara dimensi panjang dan lebarnya. Bentuk DTA Barugbug relatif membulat ($P_b/L_b = 1,08$) dibandingkan DTA Cijoho yang relatif elips ($P_b/L_b = 2,12$). Sedangkan DTA Cigalugah memiliki bentuk yang kompleks ($P_b/L_b = 2,51$). Hal ini kemungkinan disebabkan oleh pola struktur geologi yang kompleks pula.

Tabel 5.12. Karakteristik morfometri DTA Cijoho, Cihejo, Barugbug, dan Cigalugah

DTA	Parameter								
	A_b	K_b	P_b	L_b	ΣL_s	D_d	Rb_{1-2}	Rb_{2-3}	Rb_{3-4}
Cijoho	10,23	15,25	5,57	2,63	38,68	3,78	2,37	1,73	0,79
Cihejo	15,35	18,10	6,66	3,45	46,14	3,01	1,74	2,11	2,25
Barugbug	1,41	4,80	1,57	1,45	3,31	2,35	2,50	1,00	-
Cigalugah	18,36	27,96	9,21	3,67	58,93	3,21	2,04	1,77	1,44

Keterangan: A_b (luas DTA), K_b (keliling DTA), P_b (panjang DTA), L_b (lebar DTA), ΣL_s (jumlah panjang segmen sungai), D_d (kerapatan pengaliran), Rb_{1-2} (rasio cabang sungai orde 1 dan orde 2)

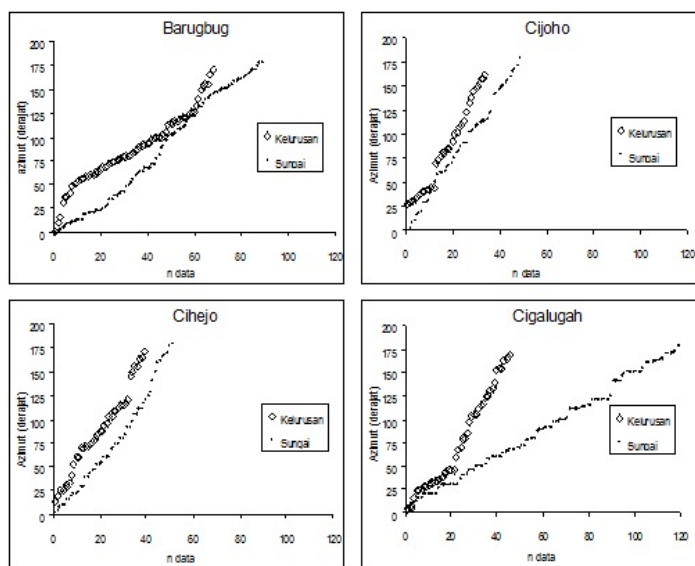
Nilai D_d tertinggi dicapai oleh DTA Cijoho (3,78), sebaliknya nilai terendah terdapat pada DTA Barugbug (2,35). Fenomena tersebut merupakan refleksi dari perbedaan sifat batuan vulkanik yang menyusun kedua DTA tersebut. DTA Cijoho tersusun oleh tuf yang relatif lebih lunak, sedangkan DTA Barugbug tersusun atas lava andesit yang relatif lebih keras.

Pada keempat DTA tersebut diketahui nilai Rb lebih kecil dari 3. Kondisi ini menunjukkan bahwa keempat DTA telah mengalami deformasi. Ada kecenderungan terjadi peningkatan nilai rasio cabang sungai ke arah hilir pada DTA Cihejo, sementara itu terjadi penurunan pada ketiga DTA yang lain. Peningkatan nilai rasio cabang sungai (Rb) ke arah hilir mengindikasikan bahwa deformasi yang relatif kuat telah terjadi di bagian hilir DTA Cihejo.

Hasil analisis normalitas distribusi data azimuth kelurusan morfologi dan azimuth segmen sungai diketahui bahwa populasi data tersebut berdistribusi normal. Harga χ^2_{hit} selalu lebih kecil dibanding χ^2_{tab} dengan taraf kesalahan $\alpha=0,05$ (Tabel 5.13).

Tabel 5.13. Hasil uji normalitas distribusi data azimuth kelurusan dan segmen sungai di DTA Cijoho, Cihejo, Barugbug, Cigalugah

Populasi	Objek	Cijoho			Cihejo			Barugbug			Cigalugah		
		df	χ^2_{hit}	χ^2_{tab}	df	χ^2_{hit}	χ^2_{tab}	df	χ^2_{hit}	χ^2_{tab}	df	χ^2_{hit}	χ^2_{tab}
I	Kelurusan	11	10,24	19,68	7	3,30	14,02	6	12,00	12,59	19	17,44	30,14
	Segmen sungai	11	10,99	19,68	15	10,24	24,99	29	26,75	42,56	29	6,00	42,56
II	Kelurusan	6	3,80	12,59	13	3,88	21,03	29	27,00	42,56	6	10,59	12,60
	Segmen sungai	12	7,09	21,03	14	8,74	23,69	15	18,11	25,00	29	25,85	42,56
III	Kelurusan	7	8,67	14,02	10	11,39	18,31	22	27,00	33,92	10	15,98	18,31
	Segmen sungai	11	4,06	19,68	10	12,74	18,31	17	21,07	27,59	29	29,25	42,56
IV	Kelurusan	6	3,80	12,59	6	7,84	12,59	6	10,00	12,59	7	12,93	14,02
	Segmen sungai	11	12,85	19,68	8	5,17	15,51	24	13,71	35,42	29	26,00	42,56



Gambar 5.34. Pola grafik azimuth kelurusan morfologi dan segmen sungai di DTA Barugbug, Cijoho, Cihejo, dan Cigalugah.

Hasil uji beda rata-rata terhadap data azimuth kelurusan morfologi dan segmen sungai pada keempat DTA ditampilkan pada Tabel 5.14. Pola sungai di DTA Cijoho yang berada pada arah 90° - 179° dikontrol oleh tektonik aktif, ditunjukkan oleh harga $t_{hit} < t_{tab}$ ($\alpha=0,05$), sedangkan pada arah lain pola sungai tidak dikontrol oleh tektonik aktif ($t_{hit} > t_{tab}$ dengan $\alpha=0,05$). Sementara itu, pola sungai di DTA Cihejo, Barugbug, dan Cigalugah secara umum dikontrol oleh tektonik aktif yang ditunjukkan oleh harga $t_{hit} < t_{tab}$ ($\alpha=0,05$).

Pola grafik pada Gambar 5.34 menunjukkan adanya perbedaan karakteristik morfometri di antara keempat DTA. Kombinasi kontrol litologi dan tektonik terhadap pola azimuth segmen-segmen sungai yang terbentuk dicerminkan oleh pola grafik tersebut. Dibandingkan tiga DTA lainnya tampak bahwa DTA Cigalugah memiliki pola grafik yang lebih ekstrim. Fenomena tersebut sejalan dengan variasi litologi dan tektonik yang kompleks di kawasan tersebut.

Tabel 5.14. Hasil uji beda antara pola sungai dan pola kelurusan di DTA Cijoho, Cihejo, Barugbug, dan Cigalugah

Populasi	Cijoho		Cihejo		Barugbug		Cigalugah	
	t_{hit}	t_{tab}	t_{hit}	t_{tab}	t_{hit}	t_{tab}	t_{hit}	t_{tab}
I	3,618	2,074	1,453	2,074	0,498	1,691	0,886	2,013
II	2,190	2,101	2,005	2,056	0,773	1,681	0,491	2,032
III	0,101	2,101	0,257	2,086	1,029	1,684	1,446	2,023
IV	1,198	2,110	0,960	2,145	0,551	1,697	0,022	2,029

5.3.6 Model Erosi Bentangalam Vulkanik Kuarter

Aplikasi SIG dalam perhitungan erosi telah menghasilkan beberapa publikasi ilmiah yang dipresentasikan dalam seminar

nasional maupun internasional. Beberapa judul artikel terkait diantaranya adalah:

- 1) THE EROSION MODEL BASED ON GRAINSIZE DISTRIBUTION RATIOS OF WEATHERING PRODUCT OF QUATERNARY VOLCANIC DEPOSITS, dipresentasikan pada FIG Congress 2010 di Sydney, 11-16 April 2010.
- 2) AN ASSESSMENT OF THE EROSION INTENSITY OF QUATERNARY VOLCANIC ROCKS IN THE UPPER STREAM OF CITARUM RIVER SOUTHERN PART OF BANDUNG BASIN, dipresentasikan pada The 39th IAGI Annual Convention and Exhibition yang diselenggarakan di Lombok, 22-25 November 2010.

Penelitian dilakukan di sub DAS Citarum Hulu, kawasan Bandung Selatan. Intensitas erosi suatu wilayah dapat diprediksi dengan mengetahui kondisi iklim, bentangalam, batuan dan hasil pelapukannya, tektonik, serta pemanfaatan lahan. Jumlah material yang tererosi dalam suatu wilayah dan kurun waktu tertentu, dapat dihitung menggunakan beberapa formula yang telah banyak dipublikasikan. Salah satu diantaranya adalah formula USLE, yang dipublikasikan oleh Wischmeier & Smith (1978; dalam El-Swaify dkk., 1982).

Faktor-faktor yang terlibat dalam perhitungan erosi menggunakan USLE, merupakan data berformat spasial. Data tersebut terdiri atas dua komponen utama, yaitu grafis dan atribut. Oleh karena itu, diperlukan alat yang mampu mengelola format data spasial agar lebih efektif. Konsep SIG (Sistem Informasi Geografis) digunakan untuk mendukung analisis data. Sedikit modifikasi dilakukan dalam pemanfaatan SIG untuk perhitungan erosi menggunakan USLE. Metode grid sederhana merupakan salah satu cara untuk mengoptimalkan pemanfaatan SIG dalam analisis data spasial (Sukiyah dkk., 2007).

Metode grid sederhana melibatkan grid sebagai satuan luas terkecil dalam analisis data spasial. Satu layer grid dapat memuat ribuan grid dalam luasan tertentu, tergantung ketelitian data. Adapun langkah perhitungan erosi didukung metode grid sederhana adalah sebagai berikut:

- Membuat layer grid dengan luas tertentu, dalam penelitian ini masing-masing grid seluas 25 ha. Jumlah grid untuk wilayah penelitian sebanyak 1.187 grid.
- Modifikasi struktur data sesuai dengan jumlah faktor yang terlibat dalam erosi beserta tipe datanya, yaitu R, K, LS, CP, dan kolom terakhir A.
- Mengisi nilai-nilai R, K, LS, CP, sesuai dengan posisi spasialnya.
- Mengisi A dengan cara mengalikan R, K, LS, CP. Harga yang muncul merupakan intensitas erosi dengan satuan ton/ha/th untuk setiap gridnya.

Indeks erosivitas hujan dapat diperoleh dengan menghitung besarnya energi kinetik hujan (E_k) yang ditimbulkan oleh intensitas hujan maksimum selama 30 menit (EI_{30}). Intensitas curah hujan diperoleh dari data curah hujan yang dipublikasikan oleh BMG sekarang BMKG, setelah dianalisis menggunakan metode Thiessen. Data dari hasil pengukuran curah hujan di stasiun Cibeureum, Kamojang, dan Soreang (Tabel 5.15). Perhitungan indeks erosivitas hujan (R) didukung oleh perangkat lunak MS Excel 2003.

Indeks erodibilitas tanah diperoleh dari publikasi Departemen Kehutanan (1985; dalam Sukiyah, 2009). Erodibilitas tanah juga ditentukan oleh jenis batuan vulkanik yang menjadi sumber material pelapukannya. Keterkaitan antara nilai K dan formasi geologi ditampilkan dalam Tabel 5.16. Berdasarkan hasil deskripsi secara megaskopik karakteristik tanah, diidentifikasi ada tiga jenis tanah di daerah penelitian. Ketiga jenis tanah tersebut adalah *loam* lempungan, *loam* pasir, dan lempung.

Tabel 5.15. Intensitas curah hujan dan indeks erosivitas di Kawasan hulu S.Citarum

Stasiun	Tahun	Intensitas curah hujan tahunan (mm)	R	
			Tahunan	Rata-rata
Kamojang	2000	2.672,0	2.228,62	2.203,20
	2001	3.361,0	2.861,77	
	2003	2.044,9	1.665,01	
	2004	2.306,0	1.898,02	
	2005	2.819,0	2.362,59	
Cibeureum	1999	1.913,0	1.548,29	1.647,82
	2000	2.007,0	1.631,40	
	2001	2.436,0	2.014,94	
	2003	1.844,0	1.487,52	
	2004	2.074,0	1.690,85	
	2005	2.299,0	1.891,74	
	2006	1.595,0	1.269,97	
Soreang	2001	2.073,2	1.690,14	1.478,49
	2002	1.865,9	1.506,79	
	2003	1.904,8	1.541,06	
	2004	1.780,4	1.431,69	
	2005	2.031,6	1.653,21	
	2006	1.337,3	1.048,03	

Indeks topografi (LS) menggunakan kriteria berdasarkan publikasi dari Departemen Kehutanan (1986; dalam Sukiyah, 2009). Kondisi bentangalam juga berperan dalam penentuan indeks topografi. Kemiringan lereng terendah di daerah penelitian 0% dan tertinggi 65% maka harga indeks LS berkisar dari 0,25 sampai dengan 12 (Tabel 5.17). Indeks penggunaan dan pengelolaan lahan (CP) mengacu pada kriteria yang dipublikasikan oleh Departemen Kehutanan (1985; dalam Sukiyah, 2009), ditampilkan dalam Tabel 5.18.

Tabel 5.16. Nilai erodibilitas tanah di kawasan hulu S.Citarum

No	Formasi (Alzwar dkk., 1992)	Kode	Karakteristik tanah	K
1	Andesit Waringin-Bedil-Malabar tua	Qwb	Loam lempungan	0,04
2	Andesit Waringin-Bedil-Malabar tua	Qwb	Loam pasiran	0,30
3	Endapan danau	Qd	Lempung	0,02
4	Rempah lepas gunungapi tua	Qopu	Lempung	0,02
5	Rempah lepas gunungapi tua	Qopu	Lempung	0,02
6	Batuan gunungapi Malabar-Tilu	Qmt	Lempung	0,02
7	Batuan gunungapi Malabar-Tilu	Qmt	Lempung	0,02
8	Batuan gunungapi Guntur-Pangkalan-Kendang	Qgpk	Loam lempungan	0,04
9	Andesit Waringin-Bedil-Malabar tua	Qwb	Loam pasiran	0,30
10	Batuan gunungapi Malabar-Tilu	Qmt	Loam pasiran	0,30
11	Batuan gunungapi Malabar-Tilu	Qmt	Lempung	0,02
12	Batuan gunungapi Guntur-Pangkalan-Kendang	Qgpk	Lempung	0,02
13	Batuan gunungapi Malabar-Tilu	Qmt	Lempung	0,02
14	Rempah lepas gunungapi tua	Qopu	Loam pasiran	0,30
15	Batuan gunungapi Malabar-Tilu	Qmt	Loam pasiran	0,30
16	Batuan gunungapi Malabar-Tilu	Qmt	Lempung	0,02
17	Batuan gunungapi Malabar-Tilu	Qmt	Loam lempungan	0,04
18	Batuan gunungapi Malabar-Tilu	Qmt	Lempung	0,02

Tabel 5.17 Indeks panjang dan kemiringan lereng (LS) berdasarkan kemiringan lereng (Departemen Kehutanan, 1986)

No	Kemiringan lereng (%)	LS
1.	0 - 5	0,25
2.	5 - 15	1,20
3.	15 - 35	4,25
4.	35 - 50	7,50
5.	> 50	12,0

Tabel 5.18 Indeks penggunaan dan pengolahan lahan (CP) (Departemen Kehutanan, 1985)

No	Penggunaan lahan	CP
1.	Permukiman	0,60
2.	Kebun campuran / belukar	0,30
3.	Sawah	0,05
4.	Tegalan	0,75
5.	Perkebunan	0,40
6.	Hutan	0,03

Harga beragam indeks faktor erosi dikaitkan dengan data spasial pada masing-masing layer atau *file* (dalam MapInfo dikenal sebagai “table”). Perhitungan matematika sederhana dilakukan menggunakan fasilitas “menu” yang ada dalam perangkat lunak MapInfo. Erosi yang diperoleh selanjutnya dimodifikasi, mengacu pada karakteristik tanah sebagai hasil pelapukan batuan vulkanik berumur Kuarter di wilayah Cekungan Bandung bagian selatan.

Intensitas erosi, selain diperoleh dengan metode USLE, juga dapat diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan. Ada beberapa cara pengukuran erosi di lapangan, diantaranya adalah:

- (1) Pengukuran erosi lembaran (*sheet erosion*) pada petak uji (demplot)
- (2) Pengukuran erosi sungai (*bank erosion*) pada posisi tertentu segmen sungai yang dipilih.

Variabel yang diukur dalam pengukuran erosi di lapangan adalah proporsi muatan melayang (SI) dan muatan dasar (BI).

Tabel 5.19. Hasil pengukuran erosi secara langsung dan hasil perhitungan USLE di Cekungan Bandung bagian selatan (Sukiyah, 2009)

No	Petak uji	Batuan alas	Jenis tanah	Luas (ha)	Erosi (ton/th)	USLE (ton/th)	ΔE	Proporsi ΔE	k
1	Cirasea hulu	Qbk	MH	2,15	296,77	353,3	56,53	0,16	0,84
2	Barugbug	Qanu	MH	70,51	81.844,70	99.810,63	17.965,93	0,18	0,82
3	Cicangkuang	Qth	MH	80,07	10.296,10	12.870,08	2.573,98	0,20	0,80
4	Cirawa	Qtr	MH	218,08	216.421,92	281.067,46	64.645,54	0,23	0,77
5	Sadatapa	Qtr	MH	92,32	68.376,35	91.168,44	22.792,09	0,25	0,75
6	Wangisagara1	Qtr	MH	27,84	605,8	931,98	326,18	0,35	0,65
7	Ciramose	Qtl	CH	94,88	2.851,14	5.001,99	2.150,85	0,43	0,57
8	Malimping 2	Qbx	CH	410,21	8.128,00	15.335,90	7.207,90	0,47	0,53
9	Malimping 1	Qbx	CH	410,21	7.821,30	15.335,90	7.514,60	0,49	0,51
10	Galugah1	Qtu	CH	220,4	7.970,82	16.267,01	8.296,19	0,51	0,49
11	Galugah13	Qts	CH	27,11	395,65	879,24	483,59	0,55	0,45

Keterangan: Qtr (satuan tuf kasar), Qth (satuan tuf hablur), Qbx (satuan breksi), Qbk (basal terkekarkan), Qts (satuan tuf halus), Qanu (andesite terubahkan), Qtu (tuf terubahkan), Qtl (tuf lapilli). MH = lanau plastisitas tinggi, CH = lempung plastisitas tinggi.

Pengukuran erosi lembaran hanya dapat dilakukan bila kondisi alam sedang hujan pada intensitas tertentu. Sedangkan pengukuran erosi sungai dapat dilakukan sepanjang waktu (musim kemarau maupun musim penghujan), yang terpenting aliran air pada tubuh sungai tersedia. Erosi lembaran pada umumnya terjadi di lereng perbukitan dengan kemiringan lereng tertentu. Material yang tererosi diyakini mencerminkan material penyusun tubuh lereng. Fenomena ini belum tentu terjadi pada material yang terangkut oleh aliran sungai, terutama jika DAS mencakup wilayah yang cukup luas. Berkaitan dengan penelitian model erosi, maka pengukuran erosi lembaran lebih sesuai dilakukan dibandingkan erosi sungai. Lokasi pengukuran erosi secara langsung dilakukan pada 11 petak uji (demplot), yang diyakini mencerminkan kondisi bentangalam vulkanik berumur Kuarter di daerah penelitian (Tabel 5.19).

MapInfo sebagai perangkat lunak SIG digunakan untuk mempermudah perhitungan erosi secara spasial, baik dalam perhitungan erosi menggunakan metode USLE maupun hasil pengukuran erosi di lapangan. Hasil pengukuran erosi perlu dihitung kembali agar dapat dibandingkan dengan hasil perhitungan erosi menggunakan USLE, yang menganut asumsi-asumsi tertentu. Kegiatan tersebut perlu dilakukan, mengingat pengukuran erosi tidak dilakukan secara terus menerus selama 1 tahun. Pengukuran di lapangan hanya dilakukan pada waktu-waktu tertentu di mana kondisi memungkinkan dengan peralatan yang tersedia. Setelah disesuaikan dengan luas petak uji yang diperlukan untuk melakukan pemodelan erosi dan memperhitungkan kecenderungan (*trend*) intensitas hujan selama tahun tersebut, maka diperoleh nilai-nilai seperti tertera pada Tabel 5.19.

Penentuan batuan alas berdasarkan hasil pemetaan geologi dan studi literatur dari publikasi peneliti terdahulu. Jenis tanah berdasarkan klasifikasi USCS yang diperoleh dari hasil analisis mekanika tanah di laboratorium. Nilai "k" diperoleh dari hasil

perhitungan dengan membandingkan antara erosi hasil pengukuran dan erosi hasil perhitungan menggunakan USLE pada petak uji yang sama.

$$\text{Bila } E_L = k \times E' \quad \dots\dots\dots (5.1)$$

Dengan E_L merupakan erosi hasil pengukuran, k = koefisien, dan $E' =$ erosi USLE, maka

$$\begin{aligned} k &= E_L / E' \\ k &= 68.376,35 / 91.168,44 \\ k &= 0,75 \end{aligned}$$

Jadi harga " k " untuk tanah jenis lanau plastisitas tinggi (MH) pada petak uji Sadatapa sebesar 0,75. Cara yang sama dilakukan terhadap perhitungan erosi di beberapa petak uji lainnya (Tabel 5.19). Pada Tabel tersebut, tampak bahwa jumlah proporsi ΔE dan k adalah 1.

Jika harga " k " antara dua jenis tanah yang berbeda dibandingkan maka hipotesis statistik yang diuji adalah $H_0: k \text{ (MH)} = k \text{ (CH)}$ melawan hipotesis tandingan $H_a: k \text{ (MH)} \neq k \text{ (CH)}$. Hasil uji normalitas distribusi harga " k " masing-masing populasi (MH dan CH) diketahui berdistribusi normal, varians homogen, jumlah data dari masing-masing populasi berbeda ($n_1 \neq n_2$), maka uji statistik yang digunakan adalah uji beda beda rata-rata (*t-test*) *polled varians* dengan $dk = n_1 + n_2 - 2$. Hasil uji statistik terhadap kedua populasi harga " k " selengkapnya ditampilkan dalam Tabel 5.20.

Hasil uji statistik menunjukkan bahwa koefisien erosi (k) pada jenis tanah hasil pelapukan batuan vulkanik berupa lempung plastisitas tinggi (CH) dan lanau plastisitas tinggi (MH) berbeda secara signifikan pada taraf nyata (α) 0,05; 0,10; dan 0,20. Kondisi tersebut ditunjukkan oleh harga t_{hit} (hasil perhitungan) yang selalu lebih besar dari t_{tab} (dari tabel distribusi *student*).

Tabel 5.20. Homogenitas *varians* dan hasil pengujian hipotesis antara k [MH] dan k [CH] hasil pelapukan batuan vulkanik berumur Kuartar

Hipotesis	x_1	x_2	s_1	s_2	F_{hit}	F_{tab}	t_{hit}	t_{tab}		
								$\alpha=0,05$	$\alpha=0,10$	$\alpha=0,20$
k[MH] vs k[CH]	0,77	0,51	0,068	0,0447	2,31	6,26	7,303	$\pm 2,262$	$\pm 1,833$	$\pm 1,383$

Keterangan: x_1 = k populasi MH dan x_2 = k populasi CH

Tabel 5.21. Validasi USLE untuk bentangalam vulkanik berumur Kuartar di daerah Tropis (Sukiyah, 2009)

Petak uji	Erosi (ton/th)	USLE				k	USLEv			
		USLE (ton/th)	ΔE	Proporsi ΔE	error		USLEv (ton/th)	ΔE	Proporsi ΔE	error
Cirasea hulu	296,77	353,3	56,53	0,19		0,84	272,04	24,73	0,08	
Barugbug	81.844,70	99.810,63	17.965,93	0,22		0,82	76.854,19	4.990,51	0,06	
Cicangkung	10.296,10	12.870,08	2.573,98	0,25		0,8	9.909,96	386,14	0,04	
Cirawa	216.421,92	281.067,46	64.645,54	0,30		0,77	216.421,94	0,02	0,00	
Sadatapa	68.376,35	91.168,44	22.792,09	0,33		0,75	70.199,70	1.823,35	0,03	
Wangisagara 1	605,8	931,98	326,18	0,54		0,65	717,62	111,82	0,18	
Ciramosi	2.851,14	5.001,99	2.150,85	0,75		0,57	2.551,01	300,13	0,11	
Malimping 2	8.128,00	15.335,90	7.207,90	0,89		0,53	7.821,31	306,69	0,04	
Malimping 1	7.821,30	15.335,90	7.514,60	0,96		0,51	7.821,31	0,01	0,00	
Galugah 1	7.970,82	16.267,01	8.296,19	1,04		0,49	8.296,18	325,36	0,04	
Galugah 13	395,65	879,24	483,59	1,22	0,61	0,45	448,41	52,76	0,13	0,06

Pada Tabel 5.20 diketahui bahwa simpangan baku hasil pengukuran erosi pada kedua jenis tanah relatif kecil, yaitu 0,068 untuk lanau plastisitas tinggi dan 0,0447 untuk lempung plastisitas tinggi. Oleh karena itu, selanjutnya dapat dirumuskan penerapan formula USLE untuk bentangalam vulkanik Kuartar, yaitu:

$$E_{MH} = 0,77 \text{ RKLSCP} \dots\dots\dots (5.2)$$

$$E_{CH} = 0,51 \text{ RKLSCP} \dots\dots\dots (5.3)$$

dengan E_{MH} = intensitas erosi pada tanah lanau plastisitas tinggi (ton/ha/th); E_{CH} = intensitas erosi pada tanah lempung plastisitas tinggi (ton/ha/th); 0,77 dan 0,51 = koefisien USLE.

Formula erosi pada persamaan 2.33 yang telah ditampilkan pada halaman 84 merupakan validasi USLE. Validasi ini memberi keyakinan bahwa perhitungan erosi dengan formula tersebut lebih sesuai diterapkan di daerah vulkanik berumur Kuartar dibandingkan USLE. Selanjutnya formula ini disebut USLEv. Tabel 5.21 membuktikan bahwa USLEv lebih *powerful* dibandingkan USLE karena memiliki error rata-rata 6% sedangkan USLE memiliki error 61%. Oleh karena itu, prediksi erosi di daerah vulkanik berumur Kuartar untuk daerah tropis lebih teliti bila menggunakan USLEv.

5.3.7 Energi terbarukan dan Pengembangan Wilayah

Publikasi terkait hasil penelitian yang mengkaji morfotektonik dan potensi energi terbarukan sudah dilakukan dalam berbagai seminar dan jurnal ilmiah. Beberapa diantaranya adalah:

- 1) Karakteristik geomorfologi yang berkaitan dengan potensi energi terbarukan di wilayah Kuningan Jawa Barat; Majalah Geologi Indonesia Vol. 2, No. 2, 2011.
- 2) Karakteristik sumber daya geologi di kawasan Jawa Barat bagian selatan sebagai referensi pengembangan sumber energi alternatif; HAGI_IAGI Join Convention di Makassar, 27-29 September 2011.
- 3) Peran morfotektonik DAS terhadap potensi energi mikro hidro di Cianjur-Garut bagian selatan; Bionatura Vol. 14, No. 1, 2012.

Geologi Jawa Barat Selatan

Penelitian dilakukan di Jawa Barat bagian selatan. Kawasan ini memiliki karakteristik yang khas, baik geomorfologi, litologi, maupun tektonik. Interaksi antara litologi dan tektonik menghasilkan bentangalam yang bergunung-gunung dengan lembah yang sempit. Jarak pengaliran dari hulu hingga muara relatif lebih pendek,

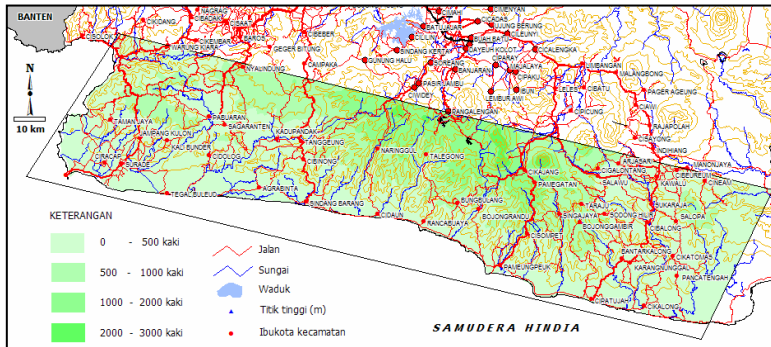
dibandingkan dengan wilayah lainnya (Jawa Barat bagian tengah dan utara). Kondisi tersebut memungkinkan debit air di sungai-sungai relatif lebih tinggi dan sangat potensial untuk dikembangkan sebagai sumber energi listrik tenaga mini hidro dan mikro hidro.

Elevasi di wilayah Jawa Barat bagian selatan berkisar dari 0 sampai 3.000 kaki di atas permukaan laut (Gambar 5.35). Wilayah yang memiliki ketinggian 0 sampai 500 kaki cukup luas penyebarannya. Ketinggian ini menempati kawasan pantai hingga ke wilayah perbukitan landai, meliputi Pelabuhan Ratu, Jampang Kulon, Surade, Ujung Genteng, Tegal Buleud, Tanggeung, Sindangbarang, Cidaun, Rancabuaya, Pameungpeuk, Cipatujah, Kawalu, dsb. Sedangkan kawasan yang memiliki ketinggian 500 sampai 1000 kaki terdapat di wilayah pedalaman, meliputi Jampang Tengah, Sagaranten, Naringgul, Bungbulang, Cisarupan, Cisompet, Singajaya, Taraju, dan sebagainya. Sementara itu, wilayah yang memiliki ketinggian lebih dari 1000 kaki terdapat di bagian tengah Cianjur dan Garut, membatasi Jawa Barat bagian selatan dengan bagian tengah.

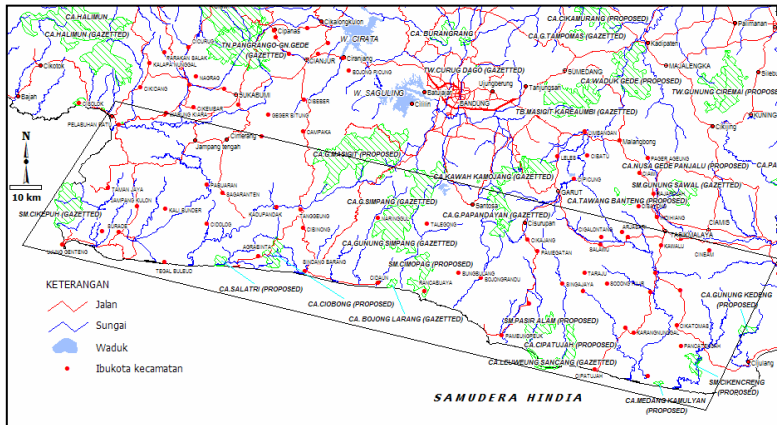
Kemiringan lereng sangat bervariasi dari datar hingga sangat terjal. Kawasan yang relatif datar pada umumnya terdapat di wilayah pesisir selatan hingga radius berkilo-kilo meter ke arah daratan di wilayah Sukabumi, Cianjur, Garut, dan Tasikmalaya. Sementara di beberapa wilayah pesisir tertentu, misalnya di wilayah Pelabuhan Ratu hingga ke Ciwaru (Sukabumi), Cidaun (Cianjur) hingga Pameungpeuk (Garut), wilayah pedataran pada umumnya relatif sempit dibandingkan wilayah pesisir lainnya. Sementara itu kawasan yang landai berada pada kaki-kaki perbukitan yang membatasi kawasan pesisir dengan kawasan perbukitan dan pegunungan. Sedangkan kawasan relatif terjal dan curam menempati kawasan perbukitan dan pegunungan. Kawasan yang relatif terjal terdapat di sekitar Pelabuhan Ratu dan Jampang Tengah (Sukabumi), Tanggeng-Cibinong-Naringgul (Cianjur), Cisewu-Bungbulang-Cisompet-Cisarupan-Singajaya (Garut), dan Awilega-Taraju-Suniabana (Tasikmalaya).

Morfologi di wilayah Jawa Barat bagian selatan dapat dikelompokkan dalam pedataran, perbukitan dengan punggung yang sejajar, perbukitan dengan punggung yang tidak beraturan, dan perbukitan karst. Punggungan yang sejajar pada umumnya menempati kawasan yang tersusun oleh batuan berumur tua dan dikontrol oleh struktur geologi. Sedangkan perbukitan dengan punggung yang tidak beraturan menempati hampir sebagian wilayah Jawa Barat bagian selatan yang ditempati oleh batuan vulkanik berumur Kuarter. Sedangkan perbukitan karst banyak ditemukan di wilayah selatan Tasikmalaya yang tersusun oleh batugamping.

Pola pengaliran menunjukkan variasi yang cukup beragam. Beberapa pola pengaliran menunjukkan adanya kontrol struktur, misalnya pola menangga atau trellis dan menyiku (rectangular) seperti di S.Cimandiri (Sukabumi), S.Cijampang dan S.Cibalaputang (perbatasan Cianjur-Sukabumi), S.Ciselang bagian hulu, S.Cisadea terutama segmen Cicangkareng-Muarakadu, S.Cibuni bagian hulu, S.Cipandak, S.Ciburial (Cianjur), S.Cikahuripan, S.Cilayu, S.Cilaki, S.Cibodas (perbatasan Cianjur-Garut), S.Cirompong, S.Cikandang, S.Ciarinem, hulu S.Cihideung, S.Ciawi, S.Cisangiri, S.Cikaingan (Garut), S.Cilamping, S.Cicacaban, S.Ciwulan, S.Cigugur, dan S.Cikembang (Tasikmalaya). Pola pengaliran lainnya adalah anular (di wilayah Tasikmalaya bagian tenggara), paralel, dendritik, anastomotik (di wilayah pesisir), radial, dsb. Adanya kontrol struktur pada beberapa DAS juga ditunjukkan oleh tersingkapnya batuan-batuan berumur tua, misalnya Formasi Jampang di wilayah Garut bagian selatan. Singkapan batuan berumur tua memanjang sepanjang lembah sungai yang tertoreh dalam dan terjal. Jeram banyak muncul di sungai-sungai yang memiliki gradien relatif curam. Biasanya sungai-sungai tersebut berorde rendah (1 sampai dengan 3). Pada sungai-sungai berorde tinggi (lebih dari 4), kemunculan jeram lebih disebabkan oleh kontrol struktur geologi dan kontak batuan yang ekstrim.



Gambar 5.35. Elevasi di Jawa Barat Selatan



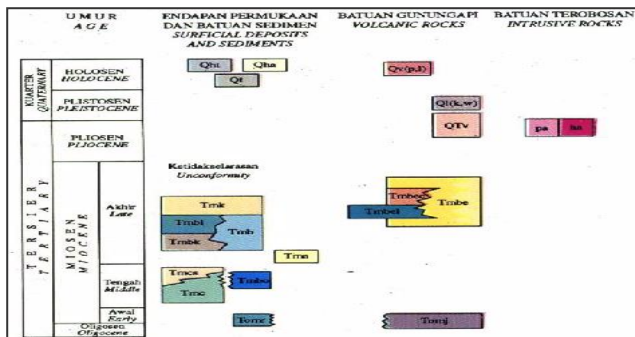
Gambar 5.36. Cagar alam di Jawa Barat Selatan

Keberadaan morfologi yang terjal dan hutan yang masih lebat di kawasan Jawa Barat bagian selatan, mengakibatkan wilayah ini cocok sebagai kawasan cagar alam (Gambar 5.36). Beberapa cagar alam bahkan memasukkan unsur tapak unik (pemandangan dan nilai keilmuan) sebagai salah satu objek yang harus dilindungi, di samping fauna.



Gambar 5.37. Gawir sesar G.Subang (kiri) dan Gawir sesar di sekitar lembah S.Cipandak di Naringgul, kawasan Cianjur Selatan

Kawasan Jawa Barat bagian selatan telah dipetakan dalam Peta Geologi skala 1:100.000 oleh beberapa peneliti terdahulu menjadi 4 (empat) lembar, yaitu lembar Jampang untuk wilayah Sukabumi Selatan, lembar Sindangbarang & Bandarwaru untuk wilayah Cianjur Selatan, lembar Garut & Pameungpeuk untuk wilayah Garut Selatan, dan lembar Karangnunggal untuk wilayah Tasikmalaya selatan.



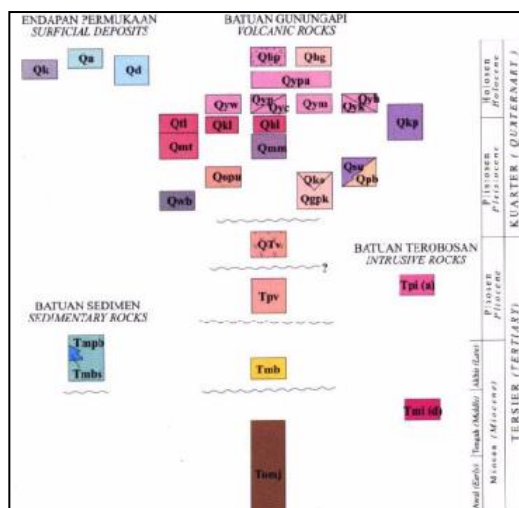
Gambar 5. 38. Korelasi satuan batuan di Cianjur bagian selatan (Koesmono dkk., 1996)



Gambar 5.39. Endapan piroklastik (Q_{tv}) tersingkap di hulu S.Cipandak (atas) dan Batupasir Formasi Bentang di Desa Panglayungan di kawasan pantai Sindangbarang-Cidaun (bawah)



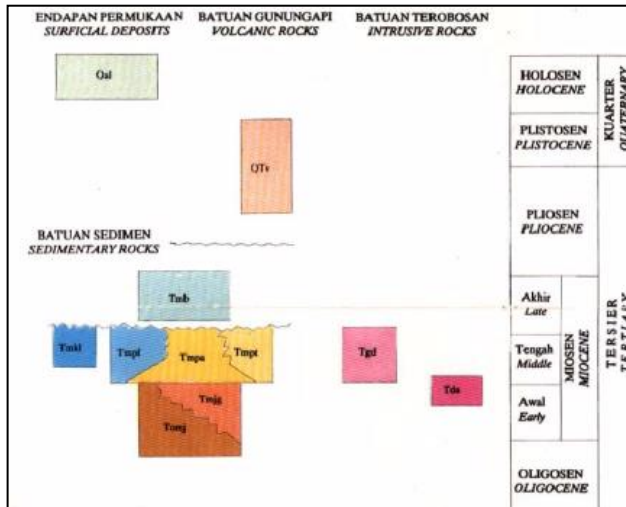
Gambar 5.40. Gumuk-gumuk pasir di sepanjang pantai Cidaun wilayah Cianjur Selatan yang banyak mengandung pasir besi.



Gambar 5.41. Korelasi satuan batuan yang terdapat di wilayah Garut bagian selatan (Alzwar dkk., 1992)

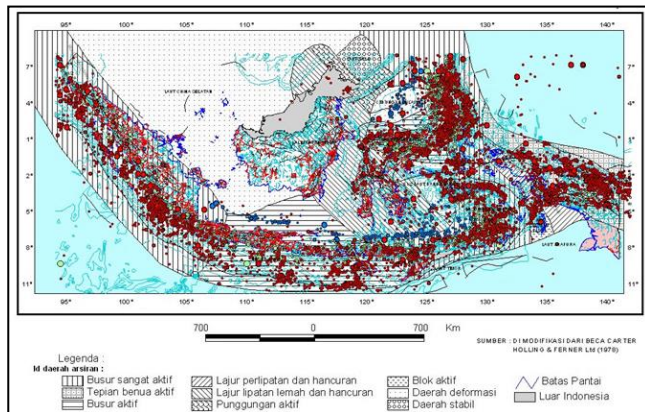


Gambar 5.42. Indikasi struktur geologi pada singkapan lava (Formasi Jampang) yang tersingkap di perbatasan Garut-Tasikmalaya bagian selatan



Gambar 5.43. Korelasi satuan batuan di wilayah Tasikmalaya bagian selatan (Supriatna dkk., 1992)

Kawasan Jawa Barat bagian selatan secara tektonik berdekatan dengan zona subduksi di selatan Jawa. Zona subduksi ini membujur dari barat Sumatera, selatan Jawa, hingga ke Nusa Tenggara. Aktivitas subduksi ini masih tinggi, ditengarai oleh kejadian gempa bumi yang sering terjadi. Peristiwa gempa bumi yang cukup tinggi intensitasnya adalah gempa bumi Tasikmalaya 7,3 skala Richter pada 2 September 2009. Gempa bumi memporakporandakan wilayah pesisir Jawa Barat selatan, bahkan hingga ke Pangalengan yang sebenarnya berada di wilayah Jawa Barat bagian tengah. Di wilayah Cianjur selatan, bukit Cicangkareng longsor hingga menutupi kawasan seluas 5 ha akibat getaran gempa bumi tersebut. Gambar 5.44 berikut ini menunjukkan bahwa kawasan pesisir Jawa Barat bagian selatan rawan akan bahaya gempa bumi, yang sewaktu-waktu dapat diikuti oleh ancaman tsunami. Kondisi ini menjadi salah satu kendala yang harus dihadapi dalam upaya pengembangan wilayah Jawa Barat bagian selatan.



Gambar 5.44. Episentrum gempa di wilayah Indonesia (Soehaimi dkk., 2004)

Struktur geologi Jawa Barat bagian selatan mengontrol bentuk-bentuk morfologi. Punggungan berarah tertentu, lembah yang tersayat dalam, dan kemiringan lereng curam dan terjal merupakan beberapa respon akibat peristiwa tektonik. Sebagian sesar-sesar tersebut ada yang masih aktif hingga kini. Keberadaan sesar dicirikan oleh munculnya banyak mataair di sepanjang tebing, kelurusan morfologi, zona hancuran yang ditandai oleh banyaknya kejadian longsor, air terjun, dsb. Pada batuan sedimen keberadaan sesar dan lipatan dicirikan oleh variasi pengukuran *strike* dan *dip* perlapisan. Kekar-kekar yang ditemukan pada batuan berumur tua pada umumnya telah diisi oleh material lain, dapat berupa kuarsa, karbonat, oksida besi, dll.

Struktur geologi yang terdapat di wilayah Jawa Barat bagian selatan terdiri atas sesar, lipatan, dan kekar yang dijumpai pada batuan berumur Oligo-Miosen hingga Kwartir. Sesar di wilayah Sukabumi selatan, Cianjur selatan, Garut selatan, dan Tasikmalaya

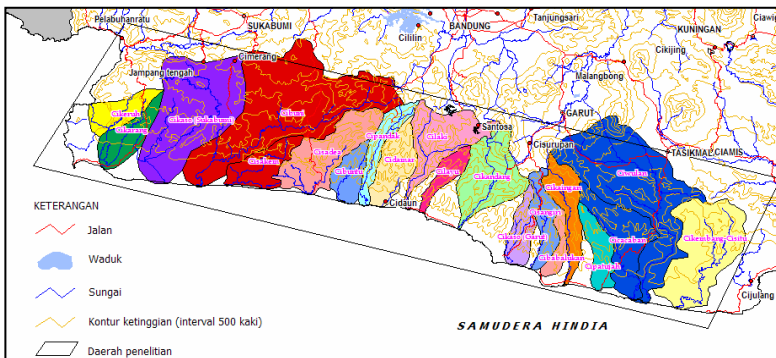
selatan berupa sesar mendatar dan sesar normal. Sesar mendatar pada umumnya berarah utara barat laut – selatan tenggara (NW-SE) serta utara-selatan (N-S), sedangkan sesar normal utara – selatan atau tenggara (N-S atau N-SE) dan timur-barat (E-W). Pola lipatan yang dijumpai berupa antiklin yang berarah barat daya – timur laut (SW-NE) dan fleksur berarah barat – timur (W-E). Pada batuan berumur Kwartir dijumpai kelurusan morfologi yang diperkirakan sesar berarah barat laut – tenggara (NW-SE) dan barat daya – timur laut (SW-NE). Kekar-kekar pada umumnya terekam pada batuan beku yang berumur Oligo-Miosen hingga Kuarter. Tektonik yang terjadi di Jawa Barat bagian selatan menghasilkan dua pola struktur yang berbeda, melibatkan batuan berumur Miosen Akhir, menghasilkan suatu pengangkatan dan kemudian diikuti oleh terobosan batuan berumur Pliosen menembus Formasi Bentang. Formasi Cimandiri terlipatkan, membentuk suatu antiklin dan sinklin. Sementara itu Formasi Beser, Formasi Bentang, dan Formasi Koleberes tersesarkan yang membentuk sesar normal dan sesar mendatar.

Sumber Daya Air

Sumber daya air di kawasan Jawa Barat bagian selatan terdiri atas aliran air permukaan berupa sungai-sungai dan mata air. Berdasarkan daerah tangkapan air, wilayah ini dapat dibagi dalam 20 Daerah Aliran Sungai (DAS), yaitu (Gambar 5.45):

- 1) DAS Cibabalukan (89,11 km²)
- 2) DAS Cibuni (1.428,00 km²)
- 3) DAS Cibuntu (164,50 km²)
- 4) DAS Cicacaban (405,70 km²)
- 5) DAS Cidamar (271,40 km²)
- 6) DAS Cikaingan (261,70 km²)
- 7) DAS Cikandang (456,60 km²)

8)	DAS Cikarang	(229,10 km ²)
9)	DAS Cikaso – Garut	(166,90 km ²)
10)	DAS Cikaso – Sukabumi	(972,70 km ²)
11)	DAS Cikembang-Cisitu	(692,10 km ²)
12)	DAS Cikeruh	(190,20 km ²)
13)	DAS Cilaki	(415,70 km ²)
14)	DAS Cilayu	(126,60 km ²)
15)	DAS Cipandak	(183,20 km ²)
16)	DAS Cipatujah	(188,70 km ²)
17)	DAS Cisadea	(466,10 km ²)
18)	DAS Cisakem	(238,40 km ²)
19)	DAS Cisangiri	(196,40 km ²)
20)	DAS Ciwulan	(1.166,00 km ²)



Gambar 5.45. Distribusi DAS di wilayah Jawa Barat Selatan

Sungai utama dalam setiap DAS tersebut mengalir ke arah selatan dan bermuara di wilayah pesisir selatan Jawa Barat. Masing-masing DAS memiliki morfometri yang berbeda-beda. Morfometri tersebut dipengaruhi oleh litologi penyusun, struktur geologi dan tektonik, serta iklim. DAS terluas di wilayah ini adalah DAS Cibuni,

terletak di Kabupaten Sukabumi dengan luas mencapai 1.428 km². DAS terluas ke-2 adalah DAS Ciwulan di Kabupaten Tasikmalaya dengan luas 1.166 km². Sedangkan DAS yang paling sempit di antara ke 20 DAS tersebut adalah DAS Cibabalukan di wilayah Kabupaten Tasikmalaya yang memiliki luas 89,11 km².

Bentuk DAS pada umumnya berbentuk bulu burung, agak melebar di bagian hulu atau tengah. DAS yang berbentuk relatif kompleks adalah DAS Cikaso (Sukabumi), DAS Cibuni, DAS Cisakem, DAS Cisadea, DAS Cilaki, DAS Cikandang, DAS Cicacaban, DAS Ciwulan, dan DAS Cisitu-Cikembang. Dalam kaitannya dengan debit air permukaan, maka bentuk DAS mirip bulu burung memiliki debit yang relatif tinggi dibandingkan dengan bentuk DAS yang kompleks. Fenomena tersebut didukung oleh hasil observasi lapangan di S.Cipandak yang memiliki bentuk DAS relatif memanjang. Sungai tersebut memiliki debit yang cukup tinggi hingga ke bagian hulu. Kondisi ini mempengaruhi ketersediaan potensi energi listrik yang akan dihasilkan oleh sumber energi air. Bentuk DAS yang relatif memanjang akan menguntungkan untuk energi listrik mini hidro atau mikro hidro karena sungai-sungai biasanya memiliki gradien yang tinggi. Debit air dan gradien dasar sungai yang tinggi dapat meningkatkan kapasitas energi listrik yang dihasilkan.

Di Jawa Barat bagian selatan, khususnya morfologi perbukitan berlereng terjal, biasanya banyak ditemukan air terjun. Di samping sebagai aset pariwisata, keberadaan air terjun merupakan sumber energi terbarukan untuk membangkitkan energi listrik. Hasil observasi lapangan menunjukkan bahwa di wilayah Tasikmalaya bagian selatan yang berbatasan dengan Kabupaten Garut, Kabupaten Sukabumi bagian tengah, Kabupaten Cianjur yang berbatasan dengan Kabupaten Bandung dan Kabupaten Garut, dan di Kabupaten Garut, keberadaan air terjun berlimpah. Kenyataan ini merupakan potensi yang perlu dikembangkan untuk memajukan kawasan Jawa Barat bagian selatan.



Gambar 5.46. Air terjun di wilayah Tasikmalaya bagian selatan



Gambar 5.47. Air terjun di Neglasari Kabupaten Garut (a,b), air terjun pada gawir sesar di lembah S.Cipandak bagian hulu (c) dan air terjun di antara jalur Cibeber-Campaka Kabupaten Cianjur (d)



Gambar 5.48. Curug Cikante di Kabupaten Sukabumi

Pada umumnya air terjun berada pada wilayah perbukitan dan lereng pegunungan yang berkemiringan terjal. Sebagian besar wilayah tersebut tersusun atas batuan vulkanik, baik yang berumur Tersier maupun Kuarter. Batuan tersebut pada umumnya bersifat keras dan masif. Hanya sebagian kecil saja air terjun yang ditemukan pada

wilayah yang tersusun oleh sedimen. Beberapa sungai terutama di wilayah Tasikmalaya bagian selatan ditemukan dalam keadaan kering jika musim kemarau. Di musim penghujan, sungai-sungai tersebut selalu berlimpah air. Kondisi tersebut akan mempengaruhi perhitungan potensi energi listrik tenaga mini hidro dan mikro hidro yang diinventarisasi dari wilayah ini. Namun demikian, hasil perhitungan dapat dimodifikasi untuk mendapatkan energi yang diinginkan dengan cara mengubah ketinggian efektif (H) dari sumber energi air yang akan dimanfaatkan.

Potensi Energi Listrik Tenaga Mini hidro dan Mikro hidro

Berdasarkan hasil penelitian Sudradjat dkk (2009) pada empat wilayah, yaitu Sukabumi, Cianjur, Garut, dan Tasikmalaya memberikan data seperti tertera di Tabel 5.22. Berdasarkan tabel tersebut tampak bahwa kawasan Cianjur bagian selatan memiliki potensi energi mini hidro dan mikro hidro yang berlimpah dibandingkan wilayah lainnya.

Tabel 5.22. Potensi energi listrik tenaga mini hidro dan mikro hidro di wilayah Jawa Barat bagian selatan (Sudradjat dkk, 2009)

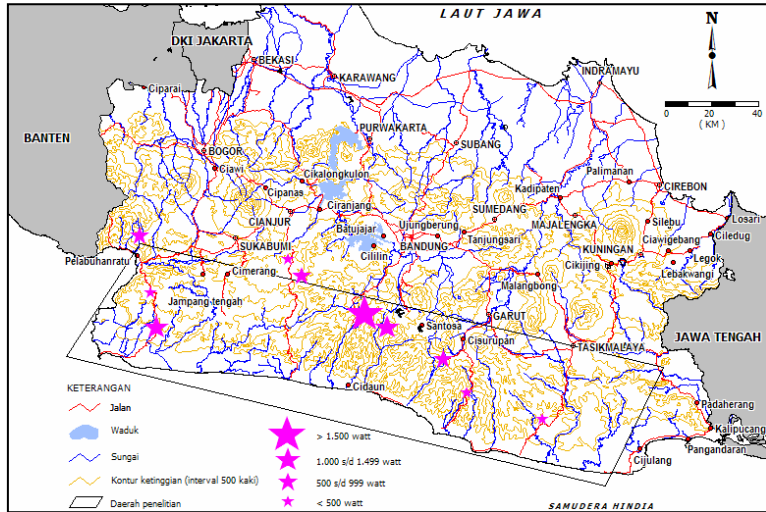
No	Lokasi	Potensi (watt)	Tipe pembangkit
1.	108° 11' 32,4" BT & 7° 39' 45,6" LS Tasikmalaya Selatan	121,13	Mini hidro
2.	108° 04' 44,0" BT & 7° 39' 12,1" LS Tasikmalaya Selatan	276,44	Mini hidro
3.	107° 48' 1,73" BT & 7° 31' 29,7" LS Neglasari, Garut Selatan	43,26	Mikro hidro
4.	107° 48' 50,3" BT & 7° 30' 17,9" LS Neglasari, Garut Selatan	259,57	Mini hidro

5.	107° 49' 33,1" BT & 7° 29' 42,8" LS Neglasari, Garut Selatan	187,47	Mini hidro
6.	107° 49' 31,7" BT & 7° 29' 42,0" LS Neglasari, Garut Selatan	108,16	Mini hidro
7.	107° 44' 9,6" BT & 7° 23' 12,9" LS Curug Orok, Garut Selatan	519,15	Mini hidro
8.	107° 8,762 BT & 6° 58,655" LS Cianjur Selatan	113,56	Mini hidro
9.	107° 8' 23,6" BT & 6° 59' 30,1" LS Cianjur Selatan	108,16	Mini hidro
10.	107° 7' 54,30" BT & 7° 1' 36,01" LS Cianjur Selatan	180,26	Mini hidro
11.	107° 8' 8,4" BT & 7° 4' 4,59" LS Sukanagara, Cianjur Selatan	576,83	Mini hidro
12.	107° 8' 30,1" BT & 7° 4' 53,81" LS Sukanagara, Cianjur Selatan	144,21	Mini hidro
13.	107° 8' 36,6" BT & 7° 22' 8,16" LS S.Cisadea, Cianjur Selatan	36,05	Mikro hidro
14.	107° 20' 29,9" BT & 7° 18' 39,1" LS S.Cipandak, Cianjur Selatan	57,68	Mikro hidro
15.	107° 22' 10,6" BT & 7° 17' 26,4" LS S.Cipandak, Cianjur Selatan	1.442,07	Mini hidro
16.	107° 21' 52,9" BT & 7° 16' 37,2" LS S.Cipandak, Garut Selatan	1.413,23	Mini hidro
17.	107° 20' 43,5" BT & 7° 15' 44,7" LS S.Cipandak, Garut Selatan	1.442,07	Mini hidro
18.	107° 23' 0,1" BT & 7° 15' 30,03" LS S.Cipandak, Garut Selatan	1.622,33	Mini hidro
19.	107° 23' 51,8" BT & 7° 14' 16,9" LS S.Cipandak, Garut Selatan	1.730,48	Mini hidro

20.	107° 21' 16,6" BT & 7° 13' 41" LS S.Cipandak, Garut Selatan	1.622,33	Mini hidro
21.	107° 22' 5,7" BT & 7° 12' 43,8" LS S.Cipandak, Garut Selatan	1.730,48	Mini hidro
22.	107° 25' 3,4" BT & 7° 13' 30,3" LS S.Cipandak, Garut Selatan	1.925,16	Mini hidro
23.	107° 24' 34,25" BT & 7° 12' 43,8" LS S.Cipandak, Garut Selatan	1.326,70	Mini hidro
24.	106° 33,286' BT & 6° 56,983' LS Kp. Pojok, Sukabumi	540,78	Mini hidro
25.	106° 35,077' BT & 7° 05,425' LS Jampang Tengah, Sukabumi	180,26	Mini hidro
26.	106° 36,988' BT dan 7° 11,175' LS Curug Gentong, Sukabumi	207,30	Mini hidro
27.	106° 37,496' BT dan 7° 16,085' LS Curug Cikante, Sukabumi	1.009,45	Mini hidro

Berdasarkan data pada Tabel 5.22, selanjutnya dibuat peta distribusi potensi sumber energi listrik tenaga mini hidro dan mikro hidro menggunakan perangkat lunak SIG (Gambar 5.49). Pada peta tampak bahwa kawasan yang memiliki potensi tinggi (lebih dari 1000 watt) terdapat di wilayah perbukitan dan pegunungan terjal. Biasanya morfologi ini dikontrol struktur geologi dan litologi yang bersifat keras. Daerah tersebut adalah kawasan Surade (Kabupaten Sukabumi) dan kawasan lembah S.Cipandak (Kabupaten Cianjur). Kawasan ini pada umumnya memiliki aksesibilitas yang kurang baik, sehingga agak sulit dicapai. Oleh karena itu, potensi energi yang ada perlu dikembangkan agar masyarakat setempat dapat menikmati laju pembangunan. Industri skala kecil bisa dikembangkan di kawasan tersebut. Wilayah Garut selatan dan daerah di sekitar Pelabuhan Ratu, memiliki potensi energi sedang. Kawasan Tasikmalaya bagian selatan paling rendah

potensinya dibandingkan daerah lain. Namun demikian, sekecil apapun potensi yang ada jika dikelola dengan baik, akan mendatangkan manfaat terutama bagi masyarakat setempat.



Gambar 5.49. Distribusi potensi energi listrik di Jawa Barat bagian selatan (sudradjat dkk., 2009)

Pengembangan Wilayah Jawa Barat Bagian Selatan

Jawa Barat secara tidak formal khususnya dalam aspek penyusunan perencanaan pembangunan wilayah, dapat dibagi menjadi 3 (tiga) bagian wilayah, yakni Jawa Barat Utara, Jawa Barat Tengah, dan Jawa Barat Selatan. Setiap wilayah pengembangan tersebut memiliki karakteristik yang berbeda. Karakteristik wilayah ini di satu sisi dapat menjadi pendukung, namun di sisi lain dapat pula menjadi kendala. Pengenalan dan pemahaman karakteristik wilayah menggunakan parameter yang jelas akan memudahkan dalam proses perencanaan maupun pelaksanaannya.

Jawa Barat Utara secara geologis-fisiografis didominasi oleh bentangalam pedataran serta pantai. Dalam proses geomorfologi, bagian utara ini merupakan wilayah pengendapan (agradasi) material yang berasal dari bagian tengah Jawa Barat. Daerah ini merupakan lahan subur karena banyak mengandung unsur hara hasil rombakan endapan vulkanik. Secara klimatologis memiliki curah hujan tinggi dan merupakan bagian hilir dari sistem pola pengaliran Jawa Barat ke sayap utara. Kondisi fisiografis-meteorologis tersebut memungkinkan wilayah Jawa Barat bagian utara berkesesuaian tinggi (*hight suitability*) untuk lahan pertanian tanaman basah.

Namun wilayah ini mempunyai kontradiktif dalam perencanaan wilayah karena kesesuaiannya juga dapat menunjang pertumbuhan kawasan industri yang berbasis ekspor. Dukungan yang memadai berupa sarana dan prasarana termasuk transportasi jalan dan pelabuhan serta aksesibilitas dan kedekatan dengan pusat pertumbuhan nasional. Nampak bahwa Jawa Barat bagian utara inilah yang menjadi pusat pertumbuhan di kawasan Jawa Barat. Posisi Jawa Barat bagian utara yang secara geologis, geografis, klimatologis, dan fisiografis sangat mendukung untuk berbagai kepentingan maka posisinya menjadi sumber konflik kepentingan lahan. Oleh karena itu, dapat dipahami bila pemerintah pusat maupun Provinsi mempunyai kepentingan yang tinggi serta perhatian yang prima terhadap wilayah ini. Kondisi tersebut menyebabkan alokasi pendanaan untuk infrastruktur termasuk penyediaan energi listrik dan sebagainya menjadi skala prioritas penting untuk Jawa Barat bagian utara ini. Dapat dikatakan bahwa Jawa Barat bagian utara adalah *front area* dalam sebuah perencanaan pembangunan.

Bagian pengembangan wilayah ke-dua di Jawa Barat dikenal sebagai bagian tengah. Wilayah ini secara geomorfologi dan fisiografis mempunyai lereng yang lebih terjal dengan beberapa puncak gunungapi diselingi oleh batuan sedimen, merupakan wilayah penyangga pertumbuhan bagian utara yang ideal. Pada wilayah

pengembangan ini terdapat pusat pertumbuhan regional Bandung yang pada kenyataannya lebih banyak memberikan dukungan (*support by naturally*) yang lebih memadai ke arah Jawa Barat bagian utara dibandingkan Jawa Barat bagian selatan. Wilayah tengah ini secara geomorfologi merupakan zona tangkapan hujan, sehingga memunculkan banyak mata air yang kemudian merupakan hulu dari sungai-sungai yang bermuara di bagian utara. Dukungan secara alami ini menunjukkan bahwa Jawa Barat bagian tengah merupakan bagian dari sebuah ekosistem dengan Jawa Barat bagian utara (*hinterland area*).

Bagian pengembangan wilayah ke-tiga dari Jawa Barat adalah Jawa Barat bagian selatan. Secara geomorfologis terdiri atas perbukitan bergelombang tidak teratur akibat interaksi antara struktur geologi dan batuan yang terdapat di wilayah ini. Interaksi tersebut menghasilkan lembah terjal dengan aliran sungai yang relatif pendek dibandingkan dengan sungai-sungai yang mengalir ke arah utara. Lembah lembah ini berarah utara-selatan, sehingga secara horizontal barat-timur akan diduduki oleh profil-profil lembah berbentuk huruf "V". Inilah karakter Jawa Barat bagian selatan sehingga menjadi faktor pertimbangan dominan dalam perencanaan pembangunan di Jawa Barat.

Nampak bahwa ketertinggalan Jawa Barat bagian selatan memang diawali oleh bentuk bentang alamnya yang tidak mendukung perencanaan pembangunan yang normal. Dengan kata lain harus ada perencanaan yang spesifik untuk Jawa Barat bagian selatan, baik dari penyediaan infra struktur maupun model penyebaran pusat pertumbuhan yang direncanakan. Kondisi alamiah itu pula yang menyebabkan corak pertanian didominasi non sawah (prosentase sawah kurang dari 20%) dengan populasi penduduk masih jarang. Belum tumbuhnya perekonomian lainnya selain sumberdaya alam dan pertanian rakyat, mengakibatkan pendapatan per kapita menjadi sangat rendah. Apalagi jika dibandingkan dengan Jawa Barat bagian

tengah dan Jawa Barat bagian utara. Dengan pola pengembangan wilayah yang secara normal dilaksanakan saat ini, nampak bahwa upaya pembangunan yang dilaksanakan oleh pemerintah untuk Jawa Barat bagian selatan belum memberikan *multiplier effect* yang signifikan. Oleh karena itu, perlu secara khusus dibuat perencanaan pengembangan wilayah bagian selatan dengan mempertimbangkan keunggulan komparatif (*comparative advantages*) berbasis sumberdaya alam dan bantuan akselerasi yang dapat mempercepat pengembangan wilayah Jawa Barat bagian selatan.

Keunggulan komparatif tersebut adalah sebagai berikut:

- Jumlah penduduk per satuan lahan yang masih rendah,
- *Geohistory* termasuk proses tektonik dan mineralisasi, maka bahan pertambangan yang dimiliki beragam dan menyebar dalam skala yang kecil-kecil. Penduduk yang masih jarang dan penggunaan lahan yang belum intensif diharapkan pembukaan lahan pertambangan tidak menjadi konflik sosial yang tajam.
- Walaupun keterdapatan sumberdaya air tidak terlalu berlimpah dibandingkan dua wilayah Jawa Barat lainnya, namun karena kondisi perbukitan dengan lereng yang terjal, maka dalam perjalanannya aliran air ini memberikan efek gaya berupa air terjun.
- Panorama (view) yang bergunung-gunung dengan air terjun dan pantai yang masih “perawan” yang berbeda dibandingkan pantai Jawa Barat bagian utara, dapat dipertimbangkan untuk pengembangan pariwisata (geotourism).

Identifikasi air terjun menjadi sangat penting dalam rangka memberikan input utama untuk pertimbangan pusat pertumbuhan yang harus direncanakan secara menyebar (*scattered pole development*) sehingga efek yang dihasilkan lebih cepat menyebar. Pusat pertumbuhan yang direncanakan harus dipertimbangkan dengan matang dari segi infra struktur, khususnya rencana penyediaan energi dan transportasi.

Pembuatan kerangka transportasi tetap harus memperhatikan hubungan utara-selatan (*vertical linkage*) yang menghubungkan sumber-sumber dana pembangunan yang berada di wilayah Jawa Barat bagian selatan serta Jawa Barat bagian tengah. Namun demikian juga harus mempertimbangkan efek sinergi antar pusat pertumbuhan di selatan Jawa Barat dengan jalan lokal yang memadai berarah barat-timur. Sementara itu, saat ini jalan yang menghubungkan kota-kota kecamatan **Pelabuhan Ratu, Sindangbarang, Cidaun, Rancabuaya, Bungbulang, Cipatujah, Cimerak, Pangandaran** dapat lebih ditingkatkan sebagai cikal bakal poros selatan. Poros selatan menjadi amat penting untuk pertumbuhan ekonomi, namun juga perlu mendapat perhatian yang serius penanganannya dalam aspek pertahanan keamanan, khususnya dari negara tetangga Australia, serta posisinya yang tidak mendekati pantai dalam rangka upaya mitigasi bencana. Oleh karena itu, kota kecamatan tersebut perlu mendapat prioritas sebagai pusat pertumbuhan lokal.

Khusus untuk Pelabuhan Ratu dan Pangandaran, pertimbangan kawasan andalan Jawa Barat yang berupa kawasan wisata perlu secara khusus diperhatikan masalah transportasi udara. Penting mempertimbangkan kedua kota ini sebagai wilayah otonomi administratif dalam rangka upaya desentralisasi berbasis pertumbuhan ekonomi. Bahkan Pelabuhan Ratu harus segera mempersiapkan prasarana lokasi pelabuhan udara. Dukungan energi merupakan kebutuhan pokok yang harus dipertimbangkan secara mendalam. Apalagi di kawasan ini ada Ciletuh yang diusulkan sebagai Geopark nasional menuju internasional.

Salah satu pusat pertumbuhan yang dapat diusulkan yakni Cidaun di kawasan Cianjur selatan, harus menjadi prioritas dalam kebutuhan energi listrik. Pembangkit listrik tenaga mini hidro (*mini hydro power*) dapat secepat mungkin diusulkan dengan dukungan potensi sumber daya air yang terdapat di sekitarnya. Sementara pusat

pertumbuhan lainnya dapat diurutkan dalam skala prioritas yang berbeda.

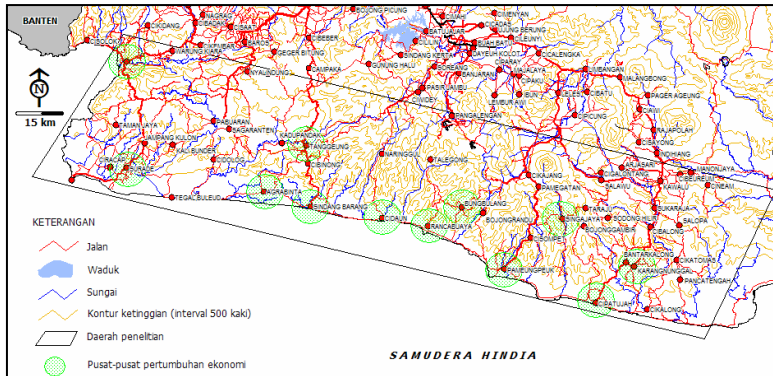
Sumber energi listrik tenaga mikro hidro dan mini hidro bukan satu-satunya sumber energi alternatif yang dapat dikembangkan, namun ada alternatif lainnya yang dapat dipertimbangkan yaitu energi listrik tenaga matahari (*solar cell*) untuk penerangan lokal di perumahan (konsumsi rumah tangga). Bila teknologi tenaga pasang surut memungkinkan dikembangkan di kawasan ini, maka lebih beragam lagi sumber-sumber energi listrik yang dapat mendukung pengembangan wilayah Jawa Barat bagian selatan.

Dengan demikian, maka model pengembangan wilayah yang diusulkan adalah tata ruang dengan pusat pertumbuhan yang menyebar bersifat lokal, serta diusahakan menyebar merata di bagian selatan Jawa Barat (Gambar 5.50). Ibukota kecamatan yang sudah ada tetap dipertahankan sebagai pusat pertumbuhan berbasis pemerintahan. Beberapa pusat ekonomi lokal di wilayah Jawa Barat bagian selatan perlu ditumbuhkan untuk memberikan akselerasi efek pemerataan yang lebih mengena ke sasaran yakni ekonomi berbasis sumberdaya alam setempat.

Semua rencana pengembangan wilayah Jawa Barat bagian selatan dapat terlaksana bila aspek pendukung utama berupa energi khususnya listrik tersedia. Penelitian yang khusus menginventarisasi sumber sumber energi alternatif, dapat diperluas dan diusulkan untuk melaksanakan studi energi alternatif lainnya yang berbasis sumberdaya lokal, di antaranya berupa *biomass* kotoran sapi dan sampah, sel surya, angin, dan pasang surut. Diharapkan, apabila studi dilaksanakan dapat memberikan rencana bauran sumber energi terbarukan (*renewable energy mix*) yang mendorong pertumbuhan ekonomi di Jawa Barat bagian selatan.

Persoalan lain dalam pengembangan wilayah Jawa Barat bagian selatan adalah perimbangan penduduk terdidik. Masalah tersebut perlu mendapat perhatian bersama, sehingga pertumbuhan ekonomi

Jawa Barat bagian selatan dapat didukung oleh sumberdaya manusia yang berkualitas. Oleh karena itu, penyediaan pendidikan setingkat SLTA khususnya kejuruan (SMK) merupakan faktor lain yang harus dipertimbangkan.



Gambar 5.50. Zonasi kawasan pengembangan di Jawa Barat selatan
(Sudradjat dkk, 2009)

Secara teknis penyediaan sumber energi mikro hidro dapat dilaksanakan secara langsung (*direct in use system*) yaitu dengan pemasangan pembangkit di dekat air terjun yang tersedia khususnya untuk beberapa air terjun yang memenuhi debit standar, seperti di sekitar Cidaun atau Cimerak. Beberapa sumber air lainnya memerlukan sistem penampungan (*ponds*) terlebih dahulu seperti pembuatan bendung untuk menstabilkan debit antara musim hujan dan kemarau. Pertimbangan teknis ini memerlukan penelitian lebih lanjut yang lebih komprehensif, mengingat faktor keekonomian yang mungkin menjadi penghambat.

Terlepas dari berbagai skenario alternatif penyediaan energi untuk Jawa Barat bagian selatan, maka yang diperlukan adalah kebijakan politis dari pemerintah khususnya Pemerintah Daerah Jawa Barat. Jika diperlukan pemerintah dapat membentuk institusi khusus berupa Badan Koordinasi Percepatan Pertumbuhan Jawa Barat bagian selatan atau yang sejenis dengan institusi tersebut dengan kategori daerah tertinggal.

Kebijakan pengembangan Jawa Barat hingga 2025

Hingga tahun 2025, Pemda Provinsi Jawa Barat telah menargetkan beberapa kawasan strategis seperti terlihat dalam Gambar 5.51. Wilayah Jawa Barat ditargetkan akan berkembang menjadi 3 metropolitan dan 3 kawasan wisata, yaitu:

- 1) Metropolitan Bodebek Karpur
- 2) Metropolitan Bandung Raya
- 3) Metropolitan Cirebon Raya
- 4) Kawasan wisata Palabuhanratu
- 5) Kawasan wisata Rancabuaya
- 6) Kawasan wisata Pangandaran



Gambar 5.51. Rencana strategis pengembangan kawasan di Jawa Barat
(Anonim, 2016)

Adanya rencana pengembangan kawasan tersebut, tampak bahwa wilayah Jawa Barat Selatan menjadi sangat strategis. Jalur jalan utama yang menghubungkan ketiga kawasan wisata ada di wilayah ini. Oleh karena itu desain pengembangan perlu memperhatikan kemampuan alami wilayah ini. Dengan demikian risiko terjadinya bencana dapat diminimalkan.

5.3.8 Analisis Morfotektonik Terkait Erosi dan Banjir Cisangkuy

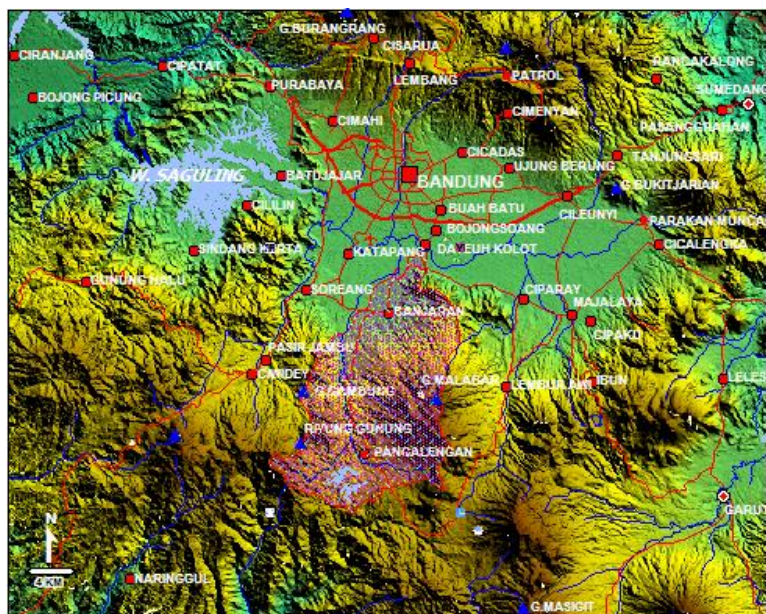
Publikasi terkait penelitian di Sub-DAS Cisangkuy telah dilakukan pada jurnal nasional dan seminar internasional, yaitu:

- Karakteristik morfotektonik pada zona erosi dan banjir di Sub-DAS Cisangkuy Cekungan Bandung Jawa Barat, *Bulletin of Scientific Contribution*, Edisi khusus Desember 2014.
- The Morphotectonic Characteristic of Erosion and Flood Zones of Cisangkuy Watershed in Bandung Basin West Java, The 2nd International Conference and The 1st Join Conference Faculty of Geology Universitas Padjadjaran with Faculty of Science and Natural Resources University Malaysia Sabah, 29 September 2015 di Bandung.

Suatu DAS memiliki keterbatasan dalam mengelola keseimbangan air yang dikenal sebagai siklus hidrologi. Keseimbangan pasokan air akan terjaga bila pemanfaatan lahan pada suatu DAS mempertimbangkan aspek daya dukung alami. Tataan geologi yang mencakup batuan dan tektonik berperan dalam penilaian daya dukung alami lahan. Jika keseimbangan terganggu, antara input dan output air yang ada di DAS tersebut, maka dampak negatif kerusakan lingkungan yang menimbulkan bencana tidak dapat dihindari, misalnya banjir.

Sub-DAS Cisangkuy merupakan bagian dari DAS Citarum bagian hulu, terletak di Kabupaten Bandung bagian selatan (Gambar 5.52). Di samping aspek geologi yang cukup kompleks, di kawasan hulu (daerah Pangalengan dan sekitarnya) terdapat perkebunan, peternakan, juga instalasi PLTP Wayang-Windu (Gambar 5.54a). Keberadaan kawasan

budi daya ini berimplikasi kepada perluasan perubahan fungsi lahan untuk pembangunan fasilitas pendukung. Alih fungsi lahan pada suatu DAS yang tidak mempertimbangkan kemampuan daya dukungnya dapat mengakibatkan degradasi lingkungan. Kondisi ini dapat memicu terjadinya erosi yang melebihi ambang batas. Akibat erosi yang terjadi pada suatu wilayah akan menyebabkan pengendapan material di tempat lain yang memiliki elevasi lebih rendah. Sedimentasi akan membentuk daratan baru, misalnya sand bar, point bar, delta. Selain itu, sedimentasi juga dapat mengakibatkan pendangkalan alur sungai. Hal ini akan berdampak kepada tidak mampunya sungai menampung aliran air sehingga mengakibatkan terjadinya banjir (Ilyas, 1987).



Gambar 5.52. Sub-DAS Cisangkuy di wilayah Bandung selatan

Banjir adalah peristiwa di mana daratan yang biasanya kering menjadi tergenang air. Kondisi ini disebabkan oleh tingginya curah hujan dan topografi berupa dataran rendah hingga cekung, atau kemampuan infiltrasi tanah rendah sehingga tidak mampu menyerap air. Definisi lain untuk banjir adalah luapan air sungai akibat ketidakmampuan sungai menampung air.

Fenomena banjir selalu terjadi di wilayah hilir Sub-DAS Cisangkuy, melanda kawasan Dayeuhkolot dan sekitarnya. Penyebab terjadinya genangan air di wilayah ini adalah tidak mempunya alur sungai Cisangkuy menampung aliran permukaan, terutama bila intensitas hujan tinggi. Penyempitan dan pendangkalan alur sungai terjadi begitu cepat, akibat erosi yang tidak terkendali sebagai dampak pesatnya alih fungsi lahan yang tidak mempertimbangkan daya dukung alami.

Geologi Sub-DAS Cisangkuy

Pembahasan geologi Sub-DAS Cisangkuy tidak terlepas dari geologi regional Cekungan Bandung, mengingat DAS ini merupakan bagian dari Cekungan Bandung yang terletak di bagian selatan. Bentangalam kawasan Bandung dan sekitarnya berupa cekungan elipsoide memanjang berarah barat laut – timur tenggara. Panjang cekungan mencapai 60 km dengan lebar 40 km.

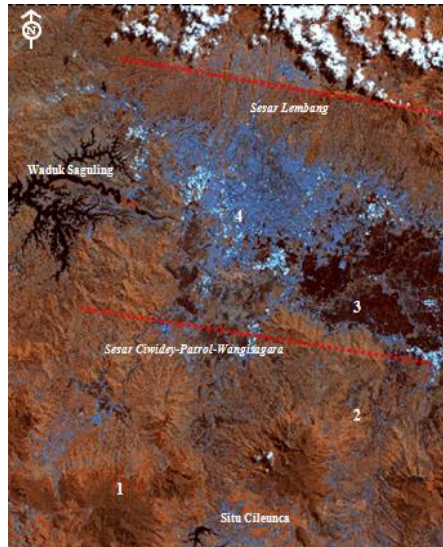
Cekungan Bandung pada dasarnya dapat dibagi menjadi bagian timur, tengah, dan barat (Bronto dan Hartono, 2004), Sub-DAS Cisangkuy termasuk dalam cekungan Bandung bagian tengah. Batuan yang menyusun Sub-DAS Cisangkuy didominasi oleh batuan vulkanik berumur Kuartar. Formasi batuan tersebut terdiri atas endapan danau (Ql), batuan gunungapi Malabar-Tilu (Qmt), lava G.Tilu (Qtl), lahar dan lava G.Kendeng (Ql-kw), endapan rempah hasil gunungapi tak teruraikan (Qopu), andesit Waringin-Bedil produk Malabar Tua (Qwb), dan Formasi Beser (Tmb) sebagai batuan tertua (Alzwar dkk., 1992; Silitonga, 2003).

Pola kelurusan dan sesar umumnya berarah barat laut – tenggara, timur laut – barat daya, dan utara – selatan. Pada umumnya sesar yang berkembang merupakan sesar mendatar dan sesar normal. Sesar-sesar ini tergolong aktif berdasarkan penemuan adanya zona longsor yang menerus, lahan terdeformasi, dan lahan labil, yang sebagian besar berimpit dengan zona sesar.

Morfotektonik Sub-DAS Cisangkuy

Beberapa sesar aktif turut mengontrol cekungan Bandung, termasuk di dalamnya adalah Sub-DAS Cisangkuy. Satu diantaranya adalah sesar Ciwidey-Patrol-Wangisegara yang mempengaruhi bagian hilir Sub-DAS Cisangkuy (Gambar 5.54b). Bidang sesar ini merupakan kontak antara produk erupsi G.Malabar tua (Qwb) dan G.Malabar-Tilu (Qmt). Beberapa sesar aktif yang ukurannya relatif lebih kecil, diantaranya sesar Tanjaknangsi, sesar Cisondari-Cisangkuy, sesar Waringin-Haruman-Barugbug, dan sesar Arjasari-Baleendah. Seluruh sesar tersebut mengontrol Sub-DAS Cisangkuy terutama di bagian hulu. Berdasarkan fenomena ini, maka dapat dikatakan bahwa Sub-DAS Cisangkuy mengalami deformasi yang kompleks. Kondisi ini dapat berimplikasi kepada proses geomorfologi lebih lanjut, diantaranya erosi.

Indikasi keberadaan struktur geologi sebagai petunjuk sesar sulit ditemukan pada batuan vulkanik berumur Kuartar yang dominan menyusun Sub-DAS Cisangkuy. Kondisi ini dapat dipahami, mengingat batuan ini pada umumnya belum terkompaksi dengan sempurna sehingga kemampuan merekam jejak-jejak struktur geologi lebih rendah dibandingkan batuan yang berumur lebih tua. Di samping itu, batuan vulkanik di kawasan ini cenderung bersifat menengah hingga basa yang rentan proses pelapukan. Beberapa bentuk bentangalam spesifik dapat pula menjadi petunjuk untuk mengetahui keberadaan sesar aktif. Pola pengaliran, kelurusan bentangalam, gawir, zona longsor, dapat dijadikan petunjuk keberadaan sesar aktif.



Gambar 5.53. Kenampakan kawasan Cekungan Bandung pada citra *Landsat* ETM+ tahun 2001. (1) kawasan hutan, (2) kawasan budidaya (ladang, perkebunan, dll.), (3) persawahan dan lahan lembab-basah, (4) permukiman, perkantoran, dan industri (Sukiyah, 2009).

Keberadaan sesar Ciwidey-Patrol-Wangisagara tampak jelas pada citra *Landsat* komposit kanal 1,4,7 (Gambar 5.53). Ukuran sesar yang bersifat regional dan sebagian jejaknya terekam pada batuan vulkanik yang bersifat keras (Lava) dari Formasi Beser, menyebabkan terlihat jelas pada citra satelit. Berdasarkan hasil analisis citra, selain diketahui kawasan yang mengalami deformasi juga dapat dibedakan berbagai fungsi lahan sehingga dapat diperkirakan kawasan yang rawan erosi dan banjir.



Gambar 5.54. (a) Gawir kompleks G.Wayang-Windu (Pangalengan) sebagai indikasi sesar aktif di kawasan hulu DAS Cisangkuy. (b) Lembah Patrol sebagai indikasi sesar aktif Ciwidey-Patrol-Wangisagara, yang melintas di hilir DAS Cisangkuy

Pemahaman tektonik pada suatu kawasan juga dapat didekati dengan analisis morfometri DAS atau lebih dikenal sebagai morfotektonik. Sub-DAS Cisangkuy dibagi dalam beberapa unit analisis (DTA = Daerah Tangkapan Air, menggantikan Sub-Sub-DAS) untuk mempermudah proses perhitungan, baik dalam format tabel maupun spasial. Hasil perhitungan ditunjukkan dalam Tabel 5.23 dan 5.24. Sungai-sungai yang mengalir di Sub-DAS Cisangkuy berorde 1 hingga 6. Distribusi spasial sungai-sungai tersebut membentuk pola yang dapat mencerminkan kondisi litologi dan tektonik. Rasio cabang sungai (R_b) terdistribusi dalam 5 level, yaitu rasio cabang sungai orde 1 terhadap orde 2 ($R_{b_{1-2}}$), orde 2 terhadap orde 3 ($R_{b_{2-3}}$), orde 3 terhadap orde 4 ($R_{b_{3-4}}$), orde 4 terhadap orde 5 ($R_{b_{4-5}}$), dan orde 5 terhadap orde 6 ($R_{b_{5-6}}$). Kelengkapan level R_b bervariasi pada masing-masing DTA. Beberapa DTA yang tidak terlalu luas hanya memiliki $R_{b_{1-2}}$, yaitu DTA Citanjung, DTA Ciparingga, DTA Babakankiara, dan DTA Wangun. R_b didominasi oleh kisaran nilai kurang dari 3 yang menunjukkan adanya deformasi akibat tektonik. Beberapa DTA memiliki nilai R_b yang mencapai 7 di bagian hilirnya, yaitu DTA Cibintuni dan DTA Cilaki. Fenomena ini menunjukkan adanya ketidakseimbangan proses geomorfologi di bagian hulu dan hilir sebagai dampak kontrol tektonik.

Tabel 5.23. Distribusi jumlah orde sungai di Sub-DAS Cisangkuy

No	Kode	DTA	Orde Sungai					
			1	2	3	4	5	6
1	Csky-01	Cibintuni	49	29	11	7	1	-
2	Csky-02	Citalugtug	52	23	21	5	-	-
3	Csky-03	Citanjung	5	4	-	-	-	-
4	Csky-04	Ciparingga	2	1	-	-	-	-
5	Csky-05	Cigeureuh	27	21	13	3	-	-
6	Csky-06	Ciseureuh	6	2	3	-	-	-
7	Csky-07	Cisangkuy	220	113	52	13	12	14
8	Csky-08	Cilaki	28	11	14	2	-	-
9	Csky-09	Ciburuy	7	5	1	-	-	-
10	Csky-10	Babakankiara	3	2	-	-	-	-
11	Csky-11	Wangun	2	1	-	-	-	-

Tabel 5.24. Nilai rasio cabang sungai (R_b) di Sub-DAS Cisangkuy

No	Kode	sub DAS	$R_{b_{1-2}}$	$R_{b_{2-3}}$	R_{3-4}	$R_{b_{4-5}}$	$R_{b_{5-6}}$
1	Csky-01	Cibintuni	1,69	2,64	1,57	7,00	-
2	Csky-02	Citalugtug	2,26	1,10	4,20	-	-
3	Csky-03	Citanjung	1,25	-	-	-	-
4	Csky-04	Ciparingga	2,00	-	-	-	-
5	Csky-05	Cigeureuh	1,76	1,62	4,33	-	-
6	Csky-06	Ciseureuh	3,00	0,67	-	-	-
7	Csky-07	Cisangkuy	1,95	2,17	4,00	1,08	0,86
8	Csky-08	Cilaki	2,55	0,79	7,00	-	-
9	Csky-09	Ciburuy	1,40	5,00	-	-	-
10	Csky-10	Babakankiara	1,50	-	-	-	-
11	Csky-11	Wangun	2,00	-	-	-	-

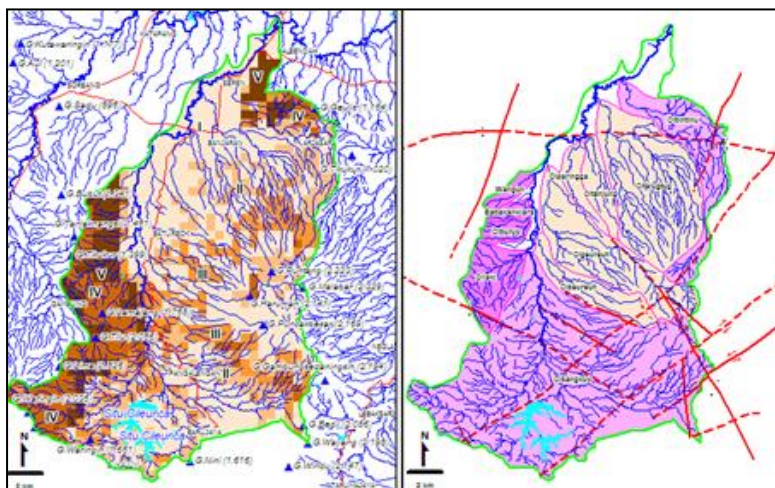
Dinamika Erosi di Sub-DAS Cisangkuy

Perhitungan erosi dilakukan untuk setiap DTA yang ada di Sub-DAS Cisangkuy (Tabel 5.25). Tampak bahwa kawasan yang memiliki erosi rata-rata tahunan sangat tinggi terdapat di DTA Cilaki, DTA Ciburuy, DTA Babakankiara, DTA Wangun. Seluruh DTA ini terdapat di bagian barat Sub-DAS Cisangkuy, menempati kemiringan lereng yang curam membentuk unit morfotektonik gawir (*scarp*). Sementara itu, erosi rata-rata tahunan sangat rendah terdapat di DTA Citanjung dan DTA Ciparingga. Bentuk kedua DTA ini menyerupai bentuk bulu burung dengan kerapatan pengaliran yang rendah. Kontrol tektonik hampir tidak ada di kedua DTA ini.

Tabel 5.25. Distribusi besaran erosi di Sub-DAS Cisangkuy

No	Kode	DTA	Luas (ha)	Erosi rata-rata (ton/ha/th)	Erosi total (ton/th)	Kelas Bahaya Erosi
1	Csky-01	Cibintuni	2.267,0	186,15	421.992,98	IV (Tinggi)
2	Csky-02	Citalugtug	4.208,0	40,67	171.137,26	II (Rendah)
3	Csky-03	Citanjung	721,9	12,29	8.872,08	I (Sangat rendah)
4	Csky-04	Ciparingga	516,6	10,42	5.381,84	I (Sangat rendah)
5	Csky-05	Cigeureuh	2.904,0	26,60	77.253,95	II (Rendah)
6	Csky-06	Ciseureuh	1.208,0	24,48	29.575,34	II (Rendah)
7	Csky-07	Cisangkuy	12.260,0	181,88	2.229.812,02	IV (Tinggi)
8	Csky-08	Cilaki	1.309,0	1.272,01	1.665.061,09	V (Sangat tinggi)
9	Csky-09	Ciburuy	393,5	1.993,13	784.296,66	V (Sangat tinggi)
10	Csky-10	Babakankiara	192,7	2.272,04	437.822,11	V (Sangat tinggi)
11	Csky-11	Wangun	298,7	1.858,22	555.050,31	V (Sangat tinggi)

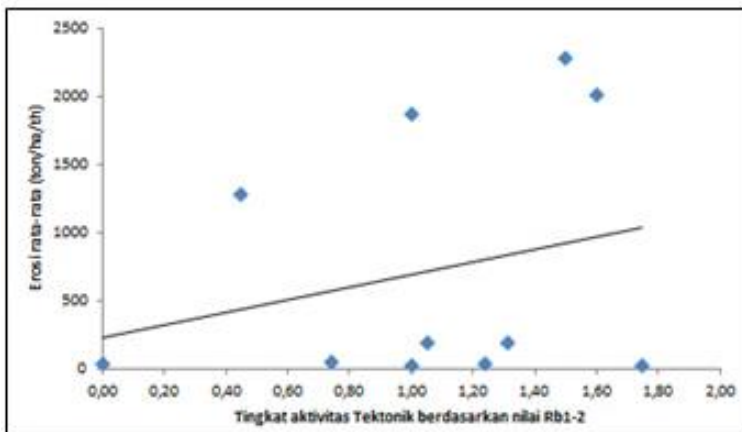
Erosi total ditentukan oleh besaran erosi rata-rata tahunan dan luas DTA. Semakin luas suatu DTA, maka akan semakin tinggi pula erosi total dalam setahun. DTA Cisangkuy memiliki erosi total tertinggi, diikuti oleh DTA Cilaki. Kedua DTA memiliki perbedaan yang cukup ekstrim, perbedaan luas dan erosi rata-rata tahunan sangat tinggi. Kombinasi kedua variabel tersebut ternyata menempatkan kedua DTA ini sebagai penyumbang erosi total tahunan yang relatif tinggi dibandingkan DTA lainnya. Distribusi spasial zona erosi dengan metode grid sederhana dan keterkaitannya morfotektonik ditampilkan dalam Gambar 5.55.



Gambar 5.55. Distribusi erosi di Sub-DAS Cisangkuy dan keberadaan sesar aktif, warna relatif lebih gelap menunjukkan tingkat erosi yang lebih tinggi.

Keterkaitan erosi dan morfotektonik dibuktikan oleh adanya korelasi antara kisaran rasio cabang sungai sebagai pencerminan

morfotektonik dan erosi rata-rata tahunan. Korelasi antara tingkat aktivitas tektonik dan besaran erosi rata-rata membentuk persamaan regresi linier $y = 458,86x + 230,61$ dengan koefisien korelasi ($r = 0,25$), ditampilkan dalam grafik pada Gambar 5.56. Aktivitas tektonik berbanding lurus dengan peningkatan besaran erosi. Semakin tinggi tingkat aktivitas tektonik yang mengontrol suatu DAS maka akan semakin tinggi pula erosi rata-rata tahunannya. Koefisien korelasi yang rendah ($r = 0,25$) menunjukkan bahwa masih banyak variabel lainnya yang mengontrol besaran erosi rata-rata tahunan, yaitu penggunaan lahan (CP) dan curah hujan (R). Dampak kontrol tektonik akan tercermin pada nilai indeks erodibilitas tanah (K) dan indeks geomorfologi (LS). Fenomena ini terbukti di Sub-DAS Cisangkuy, di mana DTA dengan erosi rata-rata sangat tinggi yaitu DTA Cilaki, DTA Ciburuy, DTA Babakankiara, DTA Wangun, ditengarai oleh nilai R_b yang ekstrim.



Gambar 5.56. Grafik korelasi antara tingkat aktivitas tektonik dan besaran erosi rata-rata, persamaan $y = 458,86x + 230,61$ dan $r = 0,25$

Kawasan Rawan Banjir di Sub-DAS Cisangkuy

Beberapa aspek yang terkait dengan kemungkinan terjadinya banjir di Sub-DAS Cisangkuy adalah satuan batuan (jenis dan tekstur batuan), penggunaan lahan, intensitas curah hujan, kemiringan lereng, karakteristik sungai (orde sungai), morfotektonik (deformasi lahan akibat tektonik). Berdasarkan hasil perhitungan statistik menggunakan metode pola distribusi normal terhadap hasil analisis spasial, diperoleh klasifikasi kerentanan lahan terhadap banjir, yaitu (Tabel 5.26):

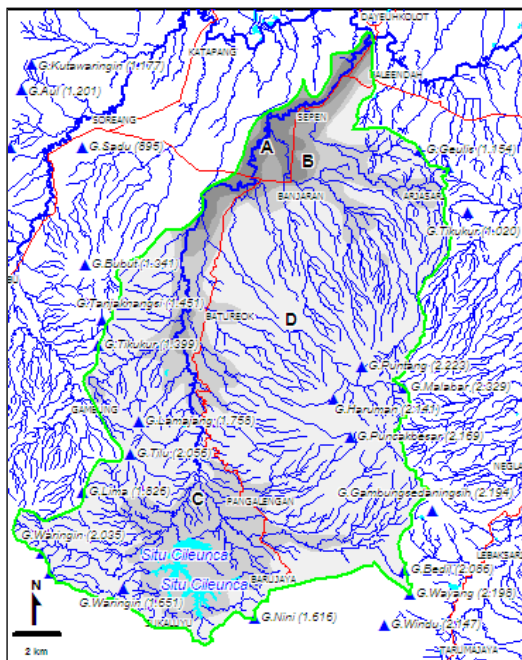
- Kawasan rawan banjir (skor 101-120)
- Kawasan berpotensi (skor 81-100)
- Kawasan yang jarang mengalami banjir (skor 61-80)
- Kawasan yang aman dari banjir (0-60)

Tabel 5.26. Distribusi zona banjir di Sub-DAS Cisangkuy

No	Kode	DTA	Luas (km ²)			
			Zona aman	Zona jarang	Zona potensi	Zona rawan
1	Csky-01	Cibintuni	1.558,0	547,90	114,60	42,79
2	Csky-02	Citalugtug	3.113,0	704,50	181,70	209,10
3	Csky-03	Citanjung	607,5	68,53	38,52	7,36
4	Csky-04	Ciparingga	406,5	70,68	23,41	15,99
5	Csky-05	Cigeureuh	2.489,0	342,00	62,28	12,10
6	Csky-06	Ciseureuh	853,4	324,50	30,40	-
7	Csky-07	Cisangkuy	8.615,0	3.574,00	52,69	-
8	Csky-08	Cilaki	1.064,0	235,50	9,56	-
9	Csky-09	Ciburuy	330,7	62,75	-	-
10	Csky-10	Babakankiara	177,3	15,39	-	-
11	Csky-11	Wangun	257,5	32,94	8,31	-

Distribusi spasial kerentanan lahan terhadap banjir ditampilkan pada Gambar 5.57. Kawasan yang sering dilanda banjir menempati

lembah S.Cisangkuy dari muara S.Cigeureuh di selatan Banjaran hingga Baleendah dan Dayeuhkolot. Daerah yang berpotensi banjir meliputi sekitar muara S.Cilaki hingga muara S.Ciseureuh, dan lembah S.Cisangkuy ke arah hilir yang ketinggiannya di atas daerah yang sering dilanda banjir. Daerah selain yang disebutkan sebelumnya, pada umumnya jarang terlanda banjir bahkan cenderung aman dari banjir.

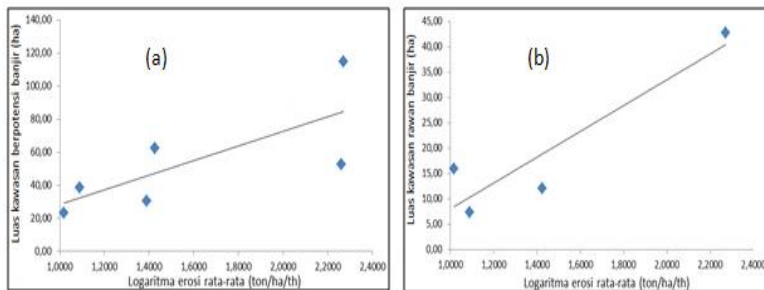


Gambar 5.57. Zona rawan banjir di wilayah Sub-DAS Cisangkuy

Hasil verifikasi terhadap fenomena tektonik-erosi-sedimentasi, menunjukkan bahwa daerah rawan banjir pada umumnya berada di sekitar hilir sungai-sungai yang memiliki tingkat erosi tinggi hingga sangat tinggi di bagian hulunya. Berdasarkan aspek morfotektonik,

daerah rawan banjir menempati bentangalam berupa “depresi”. Bentuk bentangalam ini memungkinkan air terkonsentrasi dan tergenang. Pada umumnya daerah rawan banjir dilalui oleh segmen sungai berorde tinggi, yaitu lebih dari 3. Beberapa anomali dapat terjadi, misalnya pada sungai berorde rendah (kurang dari 2) yang menempati zona tekuk lereng. Rasio cabang sungai yang ekstrim (kurang dari 3 atau lebih dari 6) juga dapat mencerminkan zona rawan banjir, terutama untuk daerah hilir dari suatu DAS.

Distribusi zona banjir dalam setiap DTA yang terdapat di Sub-DAS Cisangkuy ditampilkan. Kawasan rawan banjir terluas terdapat di hilir DTA Citalugtug, yaitu seluas 209 km². Makin ke arah hulu S.Cisangkuy, maka kawasan rawan banjir cenderung berkurang. Hal ini terkait dengan kondisi geomorfologinya yang tidak memungkinkan air permukaan menggenang.



Gambar 5.58. Grafik korelasi antara erosi dan luas zona banjir, (a) korelasi positif $y = 44,321x - 16,161$ dan $r = 0,75$, (b) korelasi positif $y = 25,441x - 17,343$ dengan $r = 0,92$

Keterkaitan antara besaran erosi dan distribusi kawasan rawan banjir dibuktikan oleh hasil analisis statistik pada kedua variabel tersebut (Gambar 5.58). Pada grafik tampak bahwa korelasi antara besaran erosi dan luas zona berpotensi banjir menunjukkan korelasi positif dengan persamaan $y = 44,321x - 16,161$ dan $r = 0,75$. Demikian

juga besaran erosi rata-rata tahunan terhadap distribusi kawasan rawan banjir juga menunjukkan korelasi positif dengan persamaan $y = 25,441x - 17,343$ dan $r = 0,92$.



Gambar 5.59. Rumah warga sering terlanda banjir 1,5-2 meter di bantaran S.Cisangkuy, Baleendah (atas). Muara S.Cisangkuy di S.Citarum, Dayeuhkolot (bawah)



DAFTAR PUSTAKA

- Alzwar, M., Akbar, N. dan Bachri, S. 1992. Geologi Lembar Garut dan Pameungpeuk, Jawa. Skala 1:100.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Ambar, Supriyo. 1986. Aspek Vegetasi dan Tataguna Lahan dalam Proses Erosi di Daerah Tampung Waduk Jatiluhur Jawa Barat. Bandung: Disertasi, Program Pascasarjana Universitas Padjadjaran. 301 h.
- Anonim. 1994a. MapInfo User's Guide, MapInfo Corporation, Troy, New York, USA.
- Anonim. 1994b. Pengenalan Sistem Informasi Geografis dengan metoda PC Arc/Info, Training Workshop – Dellasonta Computer Center, Bandung.
- Anonim. 1999. Soil Classification. <https://www.britannica.com/science/soil> <diunduh 14 Juli 2017>
- Anonim. 2000. Peta Rupa Bumi Digital Indonesia Lembar Barutunggul, Pangalengan, Lebaksari, Pakutandang, Soreang, Pasirjambu, Cililin, dan Bandung. Skala 1:25.000, edisi I.
- Anonim. 2005. Katalog sungai Indonesia. Vol. 1. Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, Bandung. 33 h.
- Anonim. 2015. Telaga Pengilon Menawarkan Pesona Menarik di Dieng. <<http://www.zassionline.net/telaga-pengilon>> [diunduh 22 Maret 2017]

- Anonim. 2016. Arah kebijakan pembangunan. <<http://bappeda.jabarprov.go.id/wp-content/uploads/2016/07>>
- Aronoff, Stan. 1989. Geographic Information System: Management Perspective, WDL Publication Ottawa, Canada.
- Billings, M. P. 1972. Structural Geology. Third Edition, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Bronto, S., dan Hartono, U. 2004. Potensi sumber daya geologi di Daerah Cekungan Bandung dan sekitarnya. Buku Panduan Lokakarya Cekungan Bandung: 178-195.
- Buckman, Harry O. & Bready, Nyle C. 1982. Ilmu Tanah. Terjemahan Soegiman. Penerbit Bhratara Karya Aksara, Jakarta. 788 h.
- Bull, William B. 2007. Tectonic Geomorphology of Mountains: A New Approach to Paleoseismology. Blackwell Publishing Ltd.
- Burrough, P.A. 1986. Principal of Geographic Information System for Land Resources Assesment, Oxford University Press.
- Collin, Stanley H. 1981. Algorithms for Dense Digital Terrain Models. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 47, No. 1: 71-76.
- Cooke, R.U., & Doornkamp. 1977. Geomorphology in Environmental Management. Clarendon Press. Oxford. 244p
- Crickmay, C. H. 1974. The Work of The River. The Macmillan Press Ltd., Great Britain. 271 p.
- Daniel, Larry, Paula Loree and Angela Whitener. 1996. Inside MapInfo Profesional, First Edition, Onword Press, Santa Fe, USA.
- Dam, M. A. C. 1994. The Late Quaternary Evolution of The Bandung Basin, West-Java, Indonesia. Thesis. Department of Quaternary Geology, Faculty of Earth Sciences. Vrije Universiteit, Amsterdam, the Netherlands. 252p.
- Doornkamp, J. C. 1986. Geomorphological approaches to the study of neotectonics. Journal of the Geological Society, London, Vol. 143: 335-342.

- Douglas, D. and Peucker, T. 1975. Detection of Surface-Specific Points by Local Parallel Processing of Discrete Terrain Elevation Data. *Computer Graphics, Visions and Image Processing*, Vol.4, No.2: 375-387.
- El-Swaify, S. A., Dangler, E. W. & Armstrong, C. L. 1982. Soil Erosion by Water in the Tropics. Department of Agronomy and Soil Science, University of Hawaii, Honolulu.
- Field, Libby Y & Engel, Bernard A. 2004. Best Management Practices for Soil Erosion. *Agricultural Engineering*, Purdue University. Melalui <<http://abe.www.ecn.purdue.edu>> [03/08/2004].
- Hamilton, Warren. 1979. *Tectonics of The Indonesian Region*. Washington: US Government Printing Office. 345 p.
- Hammond, E. H. 1964. Analysis of properties in landform geography: an application to broad-scale landform mapping in new approaches to the geography of the United States. *Proceeding of Ass. Amer. Geogr. Ann.*, Vol. 54: 11-19.
- Heerdegen, R.G., and Beran, M. A. 1982. Quantifying source areas through land surface curvature and shape. *Journal of Hydrology*, 57(3-4): 359-373.
- Horton, R. E. 1932. Drainage-basin characteristics. *Transaction, American Geophysical Union, Report and Papers, Hydrology*: 350-361.
- Horton, R. E. 1945. Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins: Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology. *Bul. Geol. Soc. Am.* 56: 275-370 <Downloaded from gsabulletin.gsapubs.org on March 3, 2011>
- Howard, Arthur David. 1967. Drainage Analysis in Geologic Interpretation: A Summation. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*. V. 51, No. 11: 2246-2259.
- Howard, A.D., dan Remson, I. 1978. *Geology in Environmental Planning*, McGraw-Hill Inc., San Fransisco.

- Ilyas, Mohamad Arief. 1987. Pemantauan Kondisi Suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) Berdasarkan Indikator Erosi/Sedimen. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pengairan*, No. 5 Th. 2: 28-38.
- Katili, J. A. 1980. *Geotectonics of Indonesia: a modern view*. Printed by The Directorate General of Mines, Jakarta. 271 p.
- Keller, Edward A. & Pinter, Nicholas. 1996. *Active tectonics: Earthquakes, uplift, and landscape*. Prentice Hall, New Jersey.
- King, C.A.M. 1975. *Technique in Geomorphology*. Edward Arnold, Bristol.
- Koesmono, K, Kusnama, & Suwarna, N. 1996. *Peta Geologi Lembar Sindangbarang dan Bandarwaru. Skala 1:100.000, Edisi ke-2. PPPG, Bandung*.
- Koesoemadinata, R. P. 1979. *Geologi Dataran Tinggi Bandung. Proceedings PIT IAGI X*.
- Krumbein & Graybill. 1965. *An Introduction to statistical Models in Geology*. Mc. Graw Hill Book Company, New York.
- Legget, R. F. 1973. *Cities and Geology*, McGraw-Hill Inc., San Fransisco.
- LCLUC. 2001. *Land Cover Land Use Changes, Indonesian case study*. <http://www.geocities.com/luccindo/fs_citarum2.html> [28/02/2004]
- Lynsley, R. K., Kohler, M. A., Paulhus, J.L.H., and Wallace, J. S. 1975. *Hydrology for Engineers*, 2nd edition. McGraw Hill, New York.
- McGraw-Hill. 2003. *Dictionary of Geology and Mineralogy*. McGraw-Hill Companies Inc. 420 p.
- Morisawa, M. E. 1959. *Relation of Quantitative Geomorphology to Stream Flow in Representative Watersheds of the Appalachian Plateau Province*. Project NR 389-042, Technical Report 20, Department of Geology, ONR, Columbia University, Geography Branch, New York.
- Muir Wood, R & Mallard, D. J. 1992. *When is a Fault extinct?*. *Journal Geology Society, London*, Vol. 149: 251-255.

- Munif, Fahrudin. 2011. Blog ilmiah tentang proses dinamik dan produknya: Sesar Aktif. <http://fahrudin-munif.blogspot.com/2012/5/sesar-aktif.html> (Diakses tanggal 5 September 2012 pukul 08.00).
- Pannekoek, A. J. 1949. Outline of the Geomorphology of Java. Tijdschrift van het koninklijk Nederlandsch aardrijkskundig genootschap. Vol. LXVI part 3.
- Petley, Dave. 2009. So what caused the Naches landslide? <http://blogs.agu.org/landslideblog> <diunduh 22-10-2016>
- Pike, Richard J, & Wilson, Stephen E. 1971. Elevation-relief ratio, hypsometric integral, and geomorphic area-altitude analysis. Bulletin of the Geological Society of America 82 (4): 1079-1084.
- Pike, R. J. 1995. Geomorphometry – progress, practice, and prospect. Zeitschrift für Geomorphologie Supplementband 101: 221-238.
- Purwaamijaya, Iskandar Muda, 1994, Dasar-dasar Kartografi, Dellasonta Computer Center, Bandung.
- Roswandi, Deny. 2004. Morfometri DAS Cikapundung hulu Kabupaten Bandung Provinsi Jawa Barat. Jurusan Geologi, FMIPA, Universitas Padjadjaran. 105 h.
- Schumm, Stanley A. 1956. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. Bulletin of Geological Society of America, Vol. 67: 697-646.
- Shreve, Ronald L. 1967. Infinite topologically random channel networks. <<http://www.journals.uchicago.edu/t-and-c>>
- Silitonga, P. H. 2003. Peta Geologi Lembar Bandung Jawa, Skala 1:100.000. Bandung: PPPG, Cetakan ke-3.
- Smith, Kenneth. 1950. Standards for grading texture of erosional topography. American Journal of Science, Vol. 248: 655-668.
- Soehaimi, A., Kertapati, E. K. & Setiawan, J. H. 2004. Seismotektonik dan Parameter Dasar Teknik Kegempaan Wilayah Jawa Barat, Bandung, dan Sekitarnya. Buku Panduan Lokakarya Cekungan Bandung: 147-177.

- Sosrodarsono, Suyono dan Takeda, Kensaku. 1987. Hidrologi untuk pengairan. Cetakan ke-6. Pradnya Paramita, Jakarta. 226 h.
- Stewart, I. S. & Hancock, P. L. 1994. Neotectonics. Dalam Hancock, Paul P. (Penyunting). Continental Deformation. Pergamon Press Ltd., Oxford: 370-409
- Strahler, Arthur N. 1954. Quantitative geomorphology of erosional landscapes. C-R 19th Intern. Geol. C//Ilf., Algiers, sec. 13, pt. 3: 341-354.
- Strahler, Arthur N. 1957. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. Transactions, American Geophysical Union, Vol. 38, No. 6: 913-920.
- Strahler, Arthur N. and Alan H. Strahler. 1984. Elements of Physical Geography. 3rd Edition, John Wiley & Sons, New York.
- Sudradjat, Adjat. 1975. Pengantar Ilmu Bentang Alam. AGP, Bandung.
- Sudradjat, A., Syafri, I., Sulaksana, dan N., Sukiyah, E. 2009. Karakteristik sumber daya geologi di kawasan Jawa Barat bagian selatan sebagai referensi pengembangan sumber energi alternatif. Laporan Penelitian Strategis Nasional, LPPM Unpad.
- Sukiyah, Emi. 1993. Identifikasi Zona Kerentanan Lahan Berdasarkan Analisis Kelurusan dari Foto Udara Daerah Curugagung dan sekitarnya Kabupaten Subang Jawa Barat. Skripsi, Jurusan Geologi FMIPA Unpad. 117 hal.
- Sukiyah, E., Haryanto, A. D., Zakaria, Z. 2004. Aplikasi Sistem Informasi Geografi dalam penetapan kawasan berpotensi Banjir di Kabupaten Bandung bagian selatan. Bulletin of Scientific Contribution, vol.2 no.1: 26-37.
- Sukiyah, E. 2005. The fractures analysis for active fault detection of Ciparay region in Southern part of the Bandung basin, Jawa Barat Province, Indonesia. Proceedings JOINT CONVENTION SURABAYA 2005, HAGI-IAGI-PERHAPI The 30th HAGI, The 34th IAGI, and The 14th PERHAPI Annual Conference and Exhibition.

- Sukiyah, E., Sudradjat, A., Hirnawan, R.F., Muslim, D., Syafri, I., & Sukarna, Dj. 2006. Watershed morphometry of Quaternary volcanic terrain in Southern part of Bandung basin: it's implication in distribution of flood area. Proceeding of Map Asia Conference, 29th August – 1th September 2006, Bangkok-Thailand.
- Sukiyah, Emi. 2006. Kajian Geologi dan Tektonik pada Bentangalam Vulkanik di Kawasan Cekungan Bandung Bagian Selatan: Implikasinya dalam Proses Erosi. Pusat Survei Geologi, Bandung.
- Sukiyah, E., Sudradjat, A., Hirnawan, R. F., Muslim, D. & Rosana, M. F. 2007. The Simple grid method in GIS application for Delineation of Erosion and Flood Zones: Case study at Bandung basin. Proceeding of SKIM X. Universitas Kebangsaan Malaysia.
- Sukiyah, E., dan Mulyono. 2007. Morfometri Daerah Aliran Sungai pada Bentangalam Vulkanik Kuarter Terdeformasi. Bulletin of Scientific Contribution, Vol. 5, No. 3: 1-8.
- Sukiyah, Emi. 2009. Model erosi bentangalam vulkanik Kuarter di Cekungan Bandung bagian selatan. Disertasi, Program Pascasarjana, Universitas Padjadjaran.
- Sukiyah, E., Hirnawan, R. F., & Muslim, D. 2010a. The erosion model based on grainsize distribution ratios of weathering product of Quaternary volcanic deposits. Proceeding of FIG Congress 2010, 11-16 April 2010, Sydney, Australia.
- Sukiyah, E., Sudradjat, A., Yuniardi, Y., & Sulaksana, N. 2010b. An assessment of the erosion intensity of Quaternary volcanic rocks in the upper stream of Citarum river Southern part of Bandung basin. The 39th IAGI Annual Convention and Exhibition yang diselenggarakan di Lombok, 22-25 November 2010.
- Sukiyah, E., Sulaksana, N., Rosana, M. F., Sudradjat, A., dan Syafri, I. 2011. Karakteristik sumber daya geologi di kawasan Jawa Barat bagian selatan sebagai referensi pengembangan sumber energi

- alternatif. Proceeding HAGI_IAGI MAKASSAR 2011 Join Convention, Makassar 27-29 September 2011.
- Sukiyah, E., Sulaksana, N., Rosana, MF., dan Hendarmawan. 2012a. Peran morfotektonik DAS terhadap potensi energi mikro hidro di Cianjur-Garut bagian selatan. *Bionatura*, Vol. 14, No. 1: 1-10.
- Sukiyah, E., Sudradjat, A. & Sulaksana, N. 2012b. The morphometric analysis on the neotectonics activities in Bandung Highland, West Java. Proceeding of IAGI Annual Convention and Exhibition, Yogyakarta.
- Sukiyah, E. dan Sjafrudin, A. 2014. Karakteristik morfotektonik pada zona erosi dan banjir di DAS Cisangkuy Cekungan Bandung Jawa Barat. *Bulletin of Scientific Contribution*, Edisi khusus Desember.
- Sukiyah, E., Mulyo, A., & Raditya, P. P. 2015a. The Morphotectonic Characteristic of Erosion and Flood Zones of Cisangkuy Watershed in Bandung Basin, West Java. Proceeding of The 2nd International Conference and The 1st Join Conference Faculty of Geology Universitas Padjadjaran with Faculty of Science and Natural Resources University Malaysia Sabah. September 29, 2015, Bandung, Indonesia.
- Sukiyah, E., Syafri, I., Sjafrudin, A., Nurfadli, E., Khaerani, P., & Siamanjuntak, D. P. A. 2015b. Morphotectonic and satellite imagery analysis for identifying Quaternary fault at Southern part of Cianjur-Garut region, West Java, Indonesia. Proceeding of The 36th Asian Conference on Remote Sensing. 19-23 October 2015 Quezon City, Metro Manila, Philippines.
- Sukiyah, E., Syafri, I., Winarto, J. B., Susilo, M. R. B., Saputra, A., Nurfadli, E. 2016. Active faults and their implications for regional development at the southern part of West Java, Indonesia. Proceeding the FIG Working Week 2016, Christchurch - New Zealand, 2-6 May 2016.
- Sulaksana, N., Sukiyah, E., dan Sudradjat, A. 2011. Karakteristik geomorfologi yang berkaitan dengan potensi energi terbarukan

- di wilayah Kuningan, Jawa Barat. *Majalah Geologi Indonesia*, Vol. 2, No. 2.
- Sulaksana, N., Sukiyah, E., Sjafrudin, A., dan Haryanto, Edi Tri. 2013. Karakteristik geomorfologi DAS Cimanuk bagian hulu dan implikasinya terhadap intensitas erosi serta pendangkalan waduk Jatigede. *Bionatura*, Vol. 15, No.2.
- Supartoyo. 2008. *Tektonik Aktif Sesar Cimandiri*, Kabupaten Sukabumi, Provinsi Jawa Barat. Thesis, Program Studi Magister Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi, Bandung.
- Supriatna, S, Sarmili, L, Sudana, D, & Koswara, A. 1992. *Peta Geologi Lembar Karangnunggal, Jawa*. Skala 1:100.000, PPPG, Bandung.
- Tarboton, David G. 1997. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. *Water Resources Research*, Vol. 33, No. 2: 309–319
- Thornbury, William D. 1969. *Principles of Geomorphology*. John Willey & Sons Inc., New York, London, Sidney, Toronto.
- Van Bemmelen, R.W. 1949. *The Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes, General Geology*. Martinus Nijhoff The Hague, vol. IA: 25-28.
- Van Zuidam, R.A., & van Zuidam-Cancelado, F.I. 1978. *Terrain analysis and classification using aerial photographs: a geomorphological approach*. ITC, Enschede, Netherlands.
- Van Zuidam, R. A. 1983. *Guide to Geomorphologic - aerial photographic interpretation and mapping*. Section of Geology and Geomorphology, ITC, Enschede. 325p.
- Verstappen, H. Th. and R. A. Van Zuidam. 1968. *ITC System of Geomorphological Survey*. ITC, Delf.
- Verstappen, H. Th. 1977. *Remote Sensing in Geomorphology*. First Edition, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.

- Verstappen, H. Th. 1983. *Applied Geomorphology: Geomorphological Surveys for Environmental Development*. Elsevier Science Publishing Company Inc. New York. 437p.
- Williams, B.K. & Sawyer, S.C. 2011. *Using Information Technology: A Practical Introduction to Computers & Communications*, 9th edition. McGraw-Hill, New York.
- Yulius, Suryadi, Syamsuri Effendi, dan Suma Admadjaja. 1984. *Kamus baru Bahasa Indonesia*. Usaha Nasional, Surabaya.
- Zevenbergen, L. W. and Thorne C. R. 1987. Quantitative analysis of land surface topography. *Earth Surface Processes and Landforms*, 12: 12-56.

GLOSARIUM

A

Algoritma merupakan susunan tahapan pengolahan citra satelit secara digital yang dapat disimpan dalam suatu *file* (.alg).

Anastomotik merupakan pola pengaliran yang dicirikan oleh jaringan saluran yang saling bersambungan (*interlocking channel*), paya, berteluk (*bayous*), dan danau tapal kuda.

Anomali pengaliran dapat dijelaskan sebagai penyimpangan lokal dari pola pengaliran regional dan/atau pola sungai yang di tempat lain selaras dengan struktur regional dan/atau topografi yang dikenal.

B

Banjir adalah peristiwa daratan yang biasanya kering menjadi tergenang air yang disebabkan oleh tingginya curah hujan dan topografi wilayah berupa dataran rendah hingga cekungan ataupun kemampuan infiltrasi tanah rendah sehingga tanah tidak mampu menyerap.

Basin pengaliran (*drainage basin*) didefinisikan sebagai seluruh wilayah yang dialiri oleh sungai beserta anak-anak sungainya (Mc Graw-Hill, 2003).

Bendungan pelimpah (*over-flow*) dimaksudkan untuk mengalirkan air melalui puncak (*crest*).

Bendungan tandon air dimaksudkan untuk mengadakan persediaan air pada masa *surplus* dan nantinya dapat digunkan pada masa kekurangan air.

Bentangalam (*landscape*) merupakan fenomena geologi di permukaan bumi yang mudah di telusuri keberadannya.

Bed load (muatan dasar) yaitu muatan sedimen yang terbawa oleh aliran permukaan yang berada di dekat dasar aliran.

C

C Faktor pada formula USLE yang menyatakan indeks tutupan lahan, yaitu suatu koefisien yang mencerminkan tipe penggunaan lahan.

Centripetal merupakan modifikasi dari pola radial di mana sungai-sungai mengalir menuju pusat depresi.

CGIS (*Canadian Geographic Information System*), sistem pertama di dunia sebagai hasil perbaikan aplikasi pemetaan yang memiliki beragam kemampuan.

CLI (*Canadian Land Inventory*), inisiatif untuk mengetahui kemampuan lahan di wilayah pedesaan Kanada dengan memetakan berbagai informasi tanah, pertanian, pariwisata, alam bebas, unggas, dan penggunaan tanah pada skala 1:250.000.

D

Dam (bendungan) merupakan bangunan yang dimaksudkan untuk mendapatkan tandon air sebanyak – banyaknya, guna dimanfaatkan bagi suatu keperluan yang direncanakan.

Danau (*lake*) didefinisikan sebagai cekungan di permukaan bumi yang berisi air dan terbentuk karena proses alam, misalnya proses tektonik, vulkanik, *volcano-tectonic*, amblesan suatu kawasan yang cukup luas, dsb.

DAS (*drainage basin*) merupakan singkatan dari Daerah Aliran Sungai.

Data merupakan pendukung utama SIG, tanpa data SIG tidak akan ada fungsinya.

Data peta digital merupakan fitur (*feature*) peta yang disimpan dalam besaran-besaran numerik dan angka-angka koordinat.

D_d Singkatan *Drainage density* (kerapatan pengaliran), yaitu perbandingan antara panjang total segmen sungai terhadap luas DAS dengan satuan km/km².

DEM *Digital Elevation Model*

DTM *Digital Terrain Model*

E

Earth fill dam merupakan bendungan paling umum, dengan bahan murah (biasanya tanah) dan mudah didapat.

Endogen adalah kekuatan yang berasal dari dalam bumi.

Erodibilitas adalah kemampuan tanah untuk tererosi.

Erosi diartikan sebagai pelepasan material oleh aktivitas air permukaan.

Erosi alur merupakan bentuk erosi yang paling umum, terjadi ketika material batuan/tanah dipindahkan oleh air yang menyisakan bentuk alur di permukaan.

Erosi selokan merupakan pengembangan lebih lanjut dari tahapan erosi alur dengan ukuran yang lebih besar.

F

Feature (fitur) diartikan sebagai rona atau kenampakan tampilan jejak spektral objek pada citra satelit yang dapat teramati oleh indera manusia.

G

Garis tepi peta adalah garis yang membatasi seluruh detail dalam peta.

GDEM *Geographic Digital Elevation Model*.

Geomorfologi merupakan cabang dari Geologi yang mempelajari rona muka bumi.

Geomorfometri adalah ilmu kuantifikasi dan analisis dari permukaan bumi.

GIS (*Geographic Information System*) diterjemahkan sebagai Sistem Informasi Geografis (SIG), suatu sistem pengelolaan data grafis, numerik, dan tekstual yang terintegrasi secara geografik.

GPS (*Global Positioning System*), suatu sistem penentuan letak obyek dengan acuan satelit.

Gradien sungai merupakan kurva yang memperlihatkan hubungan antara jarak dan permukaan dasar sungai.

Graticule adalah garis - garis kerangka yang merupakan garis paralel dari *latitude* dan garis meridian dari *longitude* yang tergambar pada muka peta dan kadang-kadang juga merupakan batas muka peta.

Grid adalah garis-garis saling tegak lurus dan perpotongannya merupakan koordinat proyeksi, tergambar pada muka peta dan kadang juga merupakan garis tepi peta.

H

Hipsometri Lereng merupakan kurva yang dibentuk dari perhitungan proporsi tinggi DAS total terhadap proporsi luas DAS total. Bentuk kurva hipsometri diperoleh berdasarkan persamaan integral hipsometri (H_i). Hipsometri lereng dibuat untuk mengetahui tingkat perkembangan suatu DAS (Pike dan Wilson 1971).

K

K adalah Faktor pada formula USLE yang menyatakan indeks erodibilitas tanah, yaitu suatu koefisien yang mencerminkan kemampuan tanah untuk dierosi.

Kerapatan Pengaliran merupakan perbandingan antara panjang total segmen sungai terhadap suatu luas area.

Koordinat geografi adalah sistem koordinat lengkung yang terdiri atas paralel atau lintang dan meridian atau bujur

Korasi (*Corrasion*) merupakan istilah untuk erosi yang disebabkan oleh angin. Banyak terjadi di daerah pesisir.

L

L merupakan salah satu faktor pada formula USLE yang menyatakan indeks panjang lereng, yaitu suatu koefisien yang mencerminkan rentang aliran permukaan pada topografi berlereng.

Layer diterjemahkan sebagai lapisan, yaitu bentuk *file* tampilan data spasial dalam SIG berformat vektor atau raster.

Lereng (*slope*) didefinisikan sebagai bagian dari permukaan daratan yang membentuk kemiringan terhadap posisi horizontal (Strahler & Strahler, 1984).

Lumpur (*mud*) merupakan campuran bersifat lunak antara lanau, lempung dan air (McGraw-Hill, 2003)

M

Mikro hidro dan mini hidro adalah istilah yang digunakan untuk instalasi pembangkit listrik yang menggunakan sumber energi air. Instalasi mikro hidro biasanya menghasilkan daya lebih rendah dari 100 W, sedangkan untuk daya berkisar 100 s/d 5.000 W digunakan mini hidro.

Morfometri merupakan aspek kuantitatif suatu bentuk lahan (van Zuidam, 1983).

Morfotektonik adalah karakter bentangalam yang berhubungan dengan tektonik (Doornkamp, 1986).

O

Orde aliran (*stream order*) merupakan kodifikasi aliran sungai berdasarkan tingkatannya dari hulu ke arah hilir.

Overlay diterjemahkan sebagai tumpang susun, merupakan salah satu ciri dalam suatu SIG.

P

P merupakan faktor pada formula USLE yang menyatakan indeks tutupan lahan, yaitu suatu koefisien yang mencerminkan tipe pengelolaan lahan untuk pengendalian erosi.

Pendangkalan (*siltation*) merupakan masalah utama yang dihadapi oleh setiap waduk.

Peta merupakan representasi grafik dari elemen geografi yang terdistribusi menurut keruangan, dinamakan juga fitur peta (*map feature*).

Peta geologi adalah bentuk ungkapan data dan informasi geologi suatu daerah / wilayah / kawasan dengan tingkat kualitas berdasarkan skala (<http://psdg.bgl.esdm.go.id>).

Peta hidrogeologi adalah peta yang menggambarkan pelampiran akuifer, bersama-sama dengan kondisi geologi, hidrogeologi, meteorologi dan tampilan air permukaan yang perlu untuk memahami suatu rejim air tanah (International Legend for Hydrogeological Maps, Unesco, 1983).

Peta LBI adalah peta dasar dalam perencanaan, pengelolaan dan pengembangan kawasan Bandar Udara Indonesia (tercakup sebagai alat bantu navigasi udara dan rintangan-rintangan penerbangan di seputar bandara).

Peta seismotektonik adalah peta yang menampilkan hubungan seismisitas (kegempaan) dan tektonik suatu wilayah, yang juga memperlihatkan pergeseran tanah (*ground faulting*), guncangan tanah (*ground shaking*) beserta bencana ikutannya seperti gerakan tanah (*land slides*) dan pelulukan (*liquefaction*), serta resiko tsunami, yang mencerminkan tingkat kerusakan.

Peta tata guna lahan, peta yang menampilkan penggunaan lahan di suatu wilayah, bisa diperoleh dari peta RBI (Rupa Bumi Indonesia).

Peta tematik peta yang menyajikan tema tertentu dan untuk kepentingan tertentu (land status, penduduk, transportasi, dll.) dengan menggunakan peta rupabumi yang telah disederhanakan sebagai dasar untuk meletakkan informasi tematiknya (<http://www.bakosurtanal.go.id>).

Peta topografi adalah gambaran kondisi suatu area tertentu di permukaan bumi pada bidang datar (lembar kertas) dalam ukuran kecil.

Pixel merupakan unit terkecil dalam data raster.

Plotter merupakan salah satu alat keluaran (*output device*) yang digunakan untuk menyajikan hasil pengolahan data secara grafis dalam bentuk *hardcopy*.

Pola compound adalah pola pengaliran yang terdiri dari dua atau lebih pola yang sejenis dalam kawasan yang sama.

Pola palimpsest adalah suatu pengaliran yang dikalahkan berumur lebih tua atau bentuk-bentuk pola sungai sebagai latar belakang untuk pola yang sekarang.

Pola pengaliran (*drainage pattern*) adalah desain yang terbentuk oleh sekumpulan saluran pengaliran dalam suatu kawasan terlepas dari apakah mereka sebagai sungai-sungai permanen atau bukan.

Pola sungai (*stream pattern*) adalah desain yang terbentuk oleh saluran pengaliran tunggal.

Pola spatulate adalah pola sungai, terdiri atas bagian lembah yang berubah menjadi lebar dan memanjang.

Proyeksi peta merupakan suatu sistem pemindahan garis-garis kurva dari lingkaran-lingkaran meridian dan paralel yang terdapat pada *globe* (berbentuk bola) ke atas permukaan datar lembaran kertas (Marbun, 1980; dalam Purwaamijaya, 1994).

R

R Faktor pada formula USLE yang menyatakan indeks erosivitas hujan, yaitu suatu koefisien yang diperoleh berdasarkan persamaan tertentu yang tergantung kepada intensitas curah hujan pada suatu waktu di wilayah tertentu.

Raster Format penyimpanan data digital, contohnya format JPG, BIL, BMP, GIF, PCX.

Rawa Lahan genangan air secara alamiah yang terjadi terus-menerus atau musiman akibat drainase yang terhambat serta mempunyai ciri-ciri khusus secara fisika, kimiawi, dan biologis.

R_b (*Bifurcation Ratio*) diterjemahkan sebagai rasio cabang sungai, merupakan perbandingan antara panjang sungai berorde n terhadap panjang sungai berorde $n+1$.

Rectilinearity adalah pola sungai anomali yang memiliki ciri-ciri berukuran panjang, segmen sungai merupakan garis lurus, terutama sekali jika memotong sejajar membagi segmen lurus sungai-sungai lainnya, mendasari suatu anomali jika pola regional selain dari rektangular.

S

S (Slope) merupakan faktor pada formula USLE yang menyatakan indeks kemiringan lereng, yaitu suatu koefisien yang mencerminkan kemiringan lereng.

S_b (*Slope of basin*), kemiringan morfologi cekungan yang ditempati oleh air danau atau waduk.

Scattergram diterjemahkan sebagai diagram hamburan, yaitu model tampilan data hasil pengolahan citra secara digital.

Sesar aktif (*active fault*) adalah sesar yang bergerak pada zaman Kuartar dan berpotensi untuk bergerak kembali pada masa yang akan datang (Huzita dkk., 1992; dalam Munif, 2011).

- Sd** (*Shore development*), perbandingan atau nisbah (*ratio*) antara keliling danau atau waduk dan keliling lingkaran.
- Skala peta** merupakan perbandingan jarak antara dua titik di peta dengan jarak sebenarnya dari dua titik tersebut di permukaan bumi.
- Skala grafis** yaitu suatu garis menggambarkan hubungan antara ukuran jarak di peta dengan jarak sebenarnya di lapangan.
- SIG** Sistem Informasi Geografis (lihat GIS)
- Sistem** merupakan program yang digunakan untuk menangani dan mengelola data sebagai bahan informasi yang akan ditampilkan.
- SI** Singkatan dari *Suspended load* atau muatan melayang, yaitu muatan sedimen yang terbawa oleh aliran permukaan dalam bentuk sedimen melayang atau sedimen tersuspensi.
- S_m** singkatan dari *mean slope of the entire lake*, kemiringan rata-rata danau atau waduk.
- Smf** (*mount-front sinuosity*) diterjemahkan sebagai sinusitas muka gunung, merupakan perbandingan antara panjang muka gunung (L_{mf}) dan panjang proyeksi muka gunung ke bidang datar (L_s).
- Spasial** (*spatial*) merupakan data grafis yang bersifat keruangan.
- Solifluction** adalah gerakan bertahap dari tanah basah atau bahan lain ke bagian bawah lereng, terutama bila lapisan tanah bagian bawah (*subsoil*) yang beku bertindak sebagai penghalang untuk perkolasi air.

T

Teknologi Informasi merupakan hasil rekayasa manusia terhadap proses penyampaian informasi dari pengirim ke penerima sehingga pengiriman informasi akan lebih cepat, lebih luas sebarannya, dan lebih lama penyimpanannya.

Tekstur pengaliran (*drainage texture*) adalah jarak rata-rata relatif antar alur pengaliran.

U

USLE Singkatan dari *Universal Soil Loss Equation*, yaitu persamaan bersifat umum untuk menghitung intensitas erosi tahunan.

USLEv model validasi USLE untuk tanah hasil pelapukan batuan vulkanik (Sukiyah, 2009).

V

Vd *Volum development*, perbandingan atau nisbah (*ratio*) antara volume danau atau waduk dan volume kerucut.

Vf Perbandingan antara lebar dan tinggi lembah.

W

WAC singkatan dari *World Aeronautical Chart* yaitu peta yang dipergunakan untuk keperluan navigasi secara visual, menggunakan proyeksi bidang kerucut dengan tujuan mempertahankan arah.

Wor merupakan ekstension untuk file *workspace* dalam format data Map Info, fungsinya adalah untuk menyimpan *setting* data dan tampilan yang telah disusun.

INDEKS

A

Algoritma, 9, 10.

Anastomotik, 26.

Anomali Pengaliran, 35, 41.

B

Banjir, 15, 26, 38, 54, 75, 85, 87.

Basin, 23, 36, 50, 59, 66.

Bendungan Pelimpah, 55.

Bendungan tandon air, 54.

Bentangalam, 7, 10, 28, 31, 50, 61, 70, 73, 75, 85, 191, 193, 197, 201,
202, 203, 207, 210, 215, 216, 217, 219, 222, 223, 225, 229, 231,
232, 250, 259, 260, 261, 269.

Bed load, 85.

C

C, 70, 84, 85.

Centripetal, 30.

CGIS, 92, 93.

CLI, 92.

D

Dam atau bendungan, 14, 38, 54, 55, 56, 61.

Danau (*lake*), 5, 26, 38, 54, 56, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 74.

DAS, 5, 10, 20, 22, 23, 46, 47, 48, 49, 50, 67, 68, 69, 70, 72, 80, 81.

Data, 8, 9, 10, 69, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103,
104, 105, 106, 107, 108, 109, 111, 122, 123, 126, 127.

Data peta digital, 100.

D_d, 50, 80, 217, 220.

DEM, 133.

DTM, 9.

E

Earth fill dam, 55.

Endogen, 13, 60.

Erodibilitas, 68, 70, 84, 214, 224, 226, 266.

Erosi, 5, 6, 7, 8, 13, 14, 22, 23, 26, 27, 30, 34, 36, 41, 56, 67, 68, 69, 70,
71, 72, 77, 82, 83, 84, 85, 87.

Erosi alur, 82, 83.

Erosi selokan, 82, 83.

F

Feature, 100.

G

Garis tepi peta, 116, 117.

GDEM, 9.

Geomorfologi, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 22, 51, 67, 68, 69, 76, 126, 177, 193,
198, 232, 250, 251, 260, 263, 266, 269.

Geomorfometri, 9, 68.

GIS, 91, 96, 133, 136, 176, 180, 200, 209.

GPS, 63, 64, 133.

Gradien sungai, 36, 42, 52, 53.

Graticule, 114, 115, 116, 117.

Grid, 17, 64, 105, 106, 107, 108, 114, 116, 117, 121, 161, 162, 163, 164, 165, 174, 176, 177, 209, 210, 212, 214, 215, 218, 223, 224, 265.

H

Hipsometri Lereng, 20, 21, 22.

K

K, 70, 84, 85.

Kerapatan pengaliran, 49, 50, 69, 80, 200, 201, 202, 217, 220, 264.

Koordinat geografi, 117, 118.

Korasi (*corrasion*), 6.

L

L, 70, 84, 85.

Layer, 92, 94, 96, 100, 135, 136, 144, 146, 147, 161, 166, 169, 170, 171, 176, 177, 200, 201, 211, 212, 224, 227.

Lereng, 3, 5, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 33, 34, 36, 37, 52, 55, 68, 69, 70, 74, 75, 77, 87, 154, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 173, 175, 180, 181, 184, 185, 188, 189, 190, 196, 198, 200, 206, 210, 212, 214, 217, 219, 225, 227, 229, 233, 240, 243, 245, 251, 252, 264, 267, 269.

Lumpur, 61, 67, 188.

M

Mikro hidro dan mini hidro, 87, 88, 89, 232, 233, 243, 246, 247, 248, 254, 255.

Morfometri, 3, 5, 9, 11, 20, 22, 23, 54, 62, 68, 69, 70, 71, 72, 80, 161, 197, 198. 200, 201, 202, 206, 207, 216, 217, 218, 219, 220, 222, 242, 262.

Morfotektonik, 3, 5, 73, 74, 80, 81, 177, 214, 215, 232, 257, 260, 262, 264, 265, 266, 267, 268.

O

Orde aliran, 43, 210, 214.

Overlay, 93, 94, 96, 107, 136, 148, 164, 166, 172, 176, 180, 187, 201.

P

P, 70, 84, 85, 231.

Pendangkalan, 67, 68, 69, 71, 72, 85, 87, 188, 258, 259.

Peta geologi, 122, 127, 128, 129, 154, 157, 173, 175, 180, 192, 193, 217, 236.

Peta hidrogeologi, 122, 129.

Peta LBI, 126.

Peta seismotektonik, 122, 130, 131.

Peta tata guna lahan, 122, 129.

Peta tematik, 3, 94, 101, 122, 126, 129, 130.

Peta topografi, 9, 10, 17, 30, 48, 63, 69, 108, 119, 122, 133, 175, 180, 181, 192, 201.

Pixel, 143, 161, 176.

Plotter, 98, 99, 102.

Pola compound, 24, 32, 33.

Pola Palimpsest, 24, 32, 33.

Pola pengaliran, 10, 24, 25, 28, 30, 32, 33, 34, 37, 38, 39, 41, 43, 48, 69, 73, 200, 217, 219, 234, 250, 261.

Pola sungai, 24, 26, 32, 37, 38, 39, 41, 42, 43, 74.

Pola *spatulate*, 38, 39.

Proyeksi peta, 3, 108, 109, 110, 111, 114, 118, 136.

R

R, 70, 84, 85, 224, 231.

Raster, 98, 107, 108, 136, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 145, 161, 176, 209.

Rawa, 54, 56, 61, 62.

R_b , 51, 52, 69, 80, 206, 207, 217, 220, 262, 263, 266.

S

S, 70, 84, 85.

S_b , 66.

Scatter, 194, 195, 196, 252.

Sesar aktif, 10, 78, 79, 80, 189, 191, 193, 196, 197, 202, 206, 210, 217, 260, 261, 262, 265.

Sd, 65.

Skala peta, 114, 115, 116, 136, 151, 153.

Skala grafis, 115, 150.

SIG, 1, 2, 3, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 133, 138, 139, 141, 152, 156, 157, 159, 161, 164, 166, 173, 174, 176, 177, 181, 200, 209, 211, 214, 215, 217, 218, 222, 223, 229, 248.

Sistem, 9, 22, 23, 26, 28, 29, 36, 45, 48, 64, 75, 87, 88, 91, 92, 93, 95, 96, 97, 99, 100, 103, 104, 105, 106, 108, 109, 116, 117, 118, 120, 121, 122, 127, 133, 134, 136, 163, 173, 174, 178, 188, 198, 217, 223, 250, 255.

SL (indeks gradien sungai), 53.

S_m (Mean slope of the entire lake), 67.

Smf, 75, 76, 80.

Spasial, 93, 94, 97, 98, 100, 101, 104, 105, 107, 120, 122, 135, 136, 154, 161, 163, 166, 168, 170, 171, 172, 173, 177, 180, 200, 201, 206, 209, 210, 211, 212, 214, 2015, 218, 223, 224, 227, 229, 262, 265, 267.

Solifluction, 26.

T

Teknologi informasi, 91, 92.

Tekstur pengaliran (*drainage texture*), 35, 36, 37, 49.

U

USLE, 70, 83, 84, 85, 212, 223, 228, 229, 230, 231, 232.

USLEv, 232.

V

Vd, 66, 72.

Vf, 76, 77, 78, 80.

W

WAC, 126, 127.

Wor, 135.

TENTANG PENULIS



Emi Sukiyah lahir di Kebumen, 22 Januari 1967. Pernah belajar di SD Terang II Bandung (1975-1979), menyelesaikan pendidikan dasar dan menengah di Kulon Progo Daerah Istimewa Yogyakarta. Gelar sarjana diperoleh dari Jurusan Geologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran pada tahun 1993. Magister Teknik Geologi diperoleh dari ITB tahun 2001. Pada tahun 2009 berhasil meraih gelar Doktor dari Program Pascasarjana Universitas Padjadjaran.

Pernah bekerja pada CV. Dellasonta Computer Center yang bergerak di bidang Sistem Informasi Geografis dan Pemetaan Dijital (1993-1997). Profesi Dosen di Universitas Padjadjaran sejak 1997 hingga sekarang, yang kini menjadi Fakultas Teknik Geologi.

Sejak tahun 2000 sudah aktif meneliti dan mendapatkan hibah pendanaan dari berbagai sumber, diantaranya Dirjen Pendidikan Tinggi, Badan Geologi, Unpad, dan institusi swasta.

Berbagai artikel ilmiah berkaitan dengan SIG, geospasial, penginderaan jauh, geomorfologi, dan geomorfologi tektonik telah dipublikasikan dalam jurnal nasional maupun internasional. Penulis juga aktif mengikuti berbagai seminar nasional maupun internasional yang diselenggarakan di Indonesia, Malaysia, Thailand, Philippine, Australia, New Zealand, dan Finland.

Penulis juga aktif sebagai reviewer pada berbagai jurnal nasional maupun internasional, diantaranya JLBG, BSC, Publikasi Ilmiah Pusdiklat Geologi, IJOG, International Journal of Digital Earth (IJDE), International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology (IJASEIT).

