
GEOKOMPUTASI (KOMPUTER UNTUK GEOLOGI)

DR. IR. I WAYAN WARMADA

Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik UGM
Jl. Grafika No. 2 – Bulaksumur
Yogyakarta 55281

2004

Kata pengantar

Buku ini dibuat sebagai buku pedoman untuk matakuliah Komputer untuk Geologi, Semester IV Jurusan Teknik Geologi, FT-UGM. Buku ini merupakan kumpulan dari beberapa tulisan yang pernah penulis muat baik di majalah maupun secara on-line di Internet dan dibuat atas dasar semangat Open Source. Oleh karena itu semua perangkat lunak yang digunakan baik untuk mengolah data maupun menseting buku ini murni dari perangkat lunak Open Source.

Buku ini dibagi menjadi 9 Bab, mulai dari pengantar komputer, metode numerik untuk geologi, persamaan linear simultan, teknik pengambilan dan pengolahan data, pengolahan data dengan sheet, pengolahan foto, visualisasi data 2-dimensi, visualisasi data 3-dimensi, dan peta digital.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak baik yang secara langsung maupun tidak langsung membantu, di antaranya: I Made Wiryana dan Ernianti Hasibuan (Universitas Gunadarma-Jakarta-Jerman) yang selalu membantu penulis mencoba-coba perangkat lunak Open Source, mbah Dukun Linux (I Wayan Bambang Wicaksana), bapak Rusmanto (InfoLINUX-Jakarta), dan bapak Heru Hendrayana (Teknik Geologi UGM), serta istriku Sudiyanti yang telah merelakan waktunya demi buku ini.

Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Yogyakarta, November 2004

I Wayan Warmada

Daftar Isi

1. Pengantar komputer	1
1.1. Pendahuluan	1
1.2. Organisasi komputer	1
1.3. Trend penggunaan komputer	1
1.3.1. Pengambilan data dan pemetaan lapangan	2
1.3.2. Penyimpanan dan manajemen data	3
1.3.3. Pengolahan dan manipulasi data	3
1.3.4. Penampilan dan visualisasi data	3
1.4. Tantangan ilmu kebumihan dalam TI	4
1.5. Trend dalam perkembangan TI	5
1.6. Program-program open source untuk geologi	6
2. Metode numerik untuk geologi	9
2.1. Pendahuluan	9
2.2. Model matematis	9
2.3. Hampiran dan galat	10
2.4. Algoritma dan bagan alir	11
2.5. Iterasi	12
2.6. Aplikasi geologi	15
3. Persamaan linear simultan	17
3.1. Pendahuluan	17
3.2. Eliminasi	18
3.3. Regresi kuadrat terkecil	19
3.4. Interpolasi	20
4. Teknik pengambilan dan pengelolaan data geologi	23
4.1. Pendahuluan	23
4.2. Teknik pengambilan data	23
4.3. Konversi data	24
4.4. Pengelolaan data geologi	27
4.4.1. Format berkas program dan data	27
4.4.2. Penamaan berkas dan struktur data	28
4.4.3. Keamanan data	28
5. Pengolahan data dengan spreadsheet	31
5.1. Pendahuluan	31
5.2. Macam-macam spreadsheet	31
5.2.1. StarOffice/OpenOffice.org Calc	31

5.2.2. Gnumeric	33
5.2.3. KSpread	34
5.3. Aplikasi spreadsheet dalam geologi	36
6. Pengolahan foto	39
6.1. Pendahuluan	39
6.2. Kamera	39
6.3. Format gambar	41
6.4. Mengolah gambar dengan GIMP	42
6.4.1. Alat bantu pada Gimp	43
6.4.2. Mengatur pencahayaan	44
6.4.3. Mengatur warna	45
6.4.4. Mentransformasi gambar	45
6.4.5. Layering (lapis gambar)	46
6.4.6. Konversi file gambar yang dimiliki Gimp	46
6.5. Penambahan atribut gambar	47
6.5.1. Menambah teks	48
6.5.2. Menambah skala garis	48
6.5.3. Menambah bentuk-bentuk geometri	49
7. Visualisasi data 2-dimensi	51
7.1. Pendahuluan	51
7.2. Pengeplotan data	51
7.2.1. Diagram skater	51
7.2.2. Diagram probabilitas	51
7.2.3. Diagram batang	53
7.2.4. Diagram segitiga dan piramida	53
7.3. Pengukuran arah	57
7.3.1. Diagram mawar	57
7.3.2. Analisis vektor 2-dimensi	58
8. Visualisasi data 3-dimensi	61
8.1. Pendahuluan	61
8.2. Pengkonturan	61
8.2.1. Peta kontur	61
8.2.2. Triangulasi	63
8.2.3. Diskretisasi	64
8.2.4. Pengkonturan dengan komputer	64
8.2.5. Analisis statistik	68
8.3. Pengukuran arah	72
8.3.1. Diagram stereonet	72
8.3.2. Analisis vektor 3-dimensi	73

9. Peta digital	75
9.1. Pendahuluan	75
9.2. Format dan digitasi data	75
9.3. Peta geologi digital	76
A. Script gnuplot	85
A.1. Diagram TAS	85
A.2. Diagram segitiga	87

Daftar Gambar

1.1. Organisasi komputer dalam geokomputasi	2
2.1. Lambang ANSI yang digunakan dalam bagan alir	12
2.2. Contoh bagan alir	13
3.1. Interpolasi linear antara dua titik data	20
5.1. Tampilan program OpenOffice.org Calc	32
5.2. Tampilan program Gnumeric	34
5.3. Tampilan program KSpread	35
6.1. Gambar yang mengalami penskalaan resolusi	40
6.2. Alat bantu pada Gimp	44
6.3. Contoh pengaturan cahaya gambar	45
6.4. Penambahan atribut vektor pada gambar raster	50
7.1. Klasifikasi batuan dengan diagram TAS	52
7.2. Diagram stabilitas mineral	52
7.3. Diagram batang yang digambar dengan gnuplot	53
7.4. Prinsip pengeplotan diagram segitiga	54
7.5. Contoh penerapan diagram segitiga	55
7.6. Contoh diagram piramida	56
7.7. Contoh penggunaan diagram piramida dalam geologi	57
7.8. Contoh diagram mawar	58
8.1. Metode TINs	63
8.2. Langkah-langkah dalam perhitungan nilai diskret	65
8.3. Prinsip-prinsip gridding	65
8.4. Contoh pengkonturan dan tampilan 3-D dengan GMT	67
8.5. Contoh pengkonturan dan pembuatan penampang	69
8.6. Data yang telah diubah dalam bentuk diskret	70
9.1. Digitasi data dengan perangkat lunak g3data	76
9.2. Contoh hasil penggambaran dengan GMT	79

Daftar Tabel

1.1. Program-program open sources untuk geologi	7
4.1. Contoh konversi data kualitatif ke data kuantitatif	25
5.1. Komposisi kimia mineral 'X'	37
6.1. Macam-macam format gambar	47
8.1. Macam-macam peta	62
8.2. Konversi sudut pada proyeksi stereografis	73

1. Pengantar komputer

1.1. Pendahuluan

Saat ini komputer yang merupakan salah satu alat untuk teknologi informasi bukan hanya sebagai suatu barang mewah atau alat bantu dalam menyelesaikan masalah, melainkan sebagai alat utama dalam melakukan aktivitas pengolahan dan visualisasi data geologi, baik dari penyimpanan, pengolahan dan penggunaan ulang suatu data. Dalam dunia kartografi (khusus peta geologi) peta digital menjadi peta standar dalam penyimpanan data, karena tidak membutuhkan biaya yang besar untuk menyimpan dan mengelolanya. Di samping itu akan membutuhkan waktu ekstra jika disimpan dalam format hardcopy.

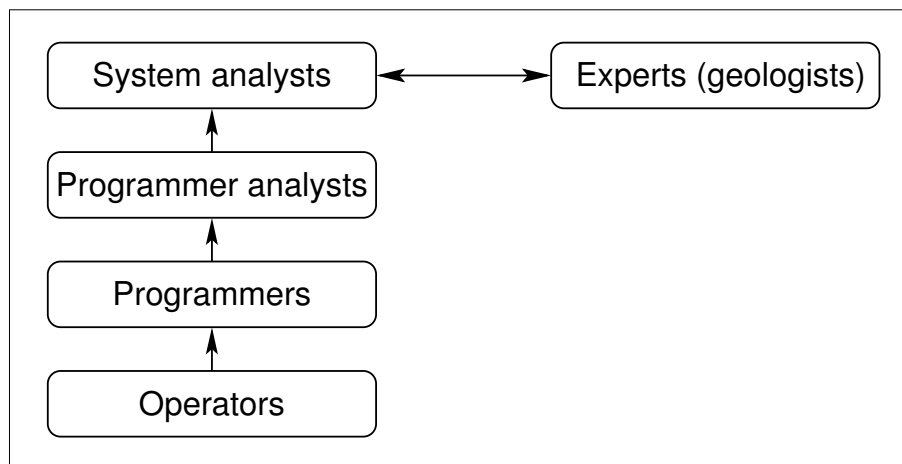
Pada proses pengolahan data, komputer memberikan jaminan akurasi dan kecepatan. Tidak dibutuhkan waktu sehari-hari untuk menggambar suatu peta atau mengolah suatu data. Kesalahan rambatan (*propagation error*) atau kesalahan akibat manusia (*human error*) dapat dikurangi atau dihindari. Yang menjadi pertanyaan kita adalah, apakah komputer sebagai tools (alat bantu) atau science (sebagai sesuatu yang harus dipelajari).

1.2. Organisasi komputer

Organisasi memberikan implikasi kepada suatu proses yang disebut profesionalitas. Dalam artian bahwa suatu pekerjaan apapun harus dibagi kedalam profesi yang didasarkan atas tingkat profesionalitas. Dalam dunia komputasi pun dapat dilihat pembagian kerja yang didasarkan atas tingkat profesionalitas. Di mana kedudukan profesi kita sebagai seorang ahli geologi di dalam kerangka organisasi komputer? Lihat gambar 1.1.

1.3. Trend penggunaan komputer

Pada dekade terakhir ini penggunaan komputer pada bidang ilmu kebumihian mencakup sangat luas, dari pengambilan data, pemrosesan data dan pengelolaan data



Gambar 1.1.: Organisasi komputer dalam geokomputasi

(manajemen data). Pemrosesan data geologi (perhitungan, permodelan dan visualisasi) akan menjadi cepat jika dilakukan dengan komputer. Saat ini komputer untuk pengolahan geologi dapat dijumpai mulai dari komputer pribadi sampai komputer setingkat mainframe bahkan jika tidak memiliki uang yang cukup bisa mengkombinasi beberapa komputer pribadi untuk dijadikan komputer cluster. Komputer cluster banyak dipakai untuk menggantikan superkomputer, karena dari segi harga, superkomputer sangat mahal. Dalam ilmu kebumih komputer jenis ini dapat digunakan untuk menyimpan dan mengolah data yang besar, misalnya untuk aplikasi GIS, pengolahan citra, permodelan, dan DEM (*Digital Elevation Model*).

Beberapa masalah ilmu kebumih yang dapat dilakukan dengan komputer adalah sebagai berikut:

- Pengambilan data (pemetaan secara langsung di lapangan)
- Penyimpanan dan manajemen data
- Pengolahan dan manipulasi data
- Penampilan dan visualisasi data

1.3.1. Pengambilan data dan pemetaan lapangan

Dengan adanya notebook, laptop atau mobile computing yang lain, pengambilan data atau pemetaan langsung di lapangan dapat dilakukan dengan mudah, baik dari pemetaan peta dasar sampai pemetaan geologi detail. Keunggulan pemetaan yang dibantu dengan komputer antara lain akurasi pengeplotan menjadi lebih cepat apalagi jika dibantu dengan GPS (Portable GPS). Pengeplotan data koordinat dapat

dilakukan secara otomatis sehingga tidak diperlukan waktu tambahan untuk memindahkan data lapangan ke atas kertas atau komputer. Data tambahan di luar peta geologi/topografi dapat disimpan sesuai dengan program yang digunakan.

1.3.2. Penyimpanan dan manajemen data

Proses penyimpanan dan manajemen data menjadi hal yang penting ketika kita akan memakai kembali atau membuat basis data dari data yang telah diambil. Data yang disimpan dalam format hardcopy akan membutuhkan waktu yang cukup banyak jika akan digunakan kembali untuk suatu analisis, misalnya dibutuhkan waktu untuk mendigitize dan memasukkan data ulang. Atau membutuhkan biaya tambahan untuk perawatan data. Data yang disimpan dalam format digital dapat dikelola sesuai keinginan kita, apakah akan diklasifikasi, penambahan data baru atau menghapus data yang sudah tidak valid.

1.3.3. Pengolahan dan manipulasi data

Data digital dapat diolah dan dimanipulasi sesuai dengan pendekatan metode yang akan digunakan. Penerapan metode tertentu untuk suatu data harus mempertimbangkan 2 hal, yaitu prinsip dari metode yang digunakan dan proses pengambilan data. Kadang kala suatu metode menjadi tidak tepat kalau digunakan untuk menganalisis data tertentu yang pengambilannya tidak mendasarkan prinsip pada metode yang digunakan. Contoh yang paling mudah adalah pada pembuatan peta kontur. Pada pembuatan peta kontur dikenal ada 2 macam cara pembuatan, yaitu grid dan triangulasi. Pada data yang tersebar sangat acak atau terkonsentrasi akan menghasilkan peta kontur yang tidak representatif jika dilakukan dengan metode grid, tapi akan lebih bagus jika dilakukan dengan metode triangulasi. Begitu juga pada pemilihan metode grid yang dikenal minimal ada 5 macam metode, misalnya *invers distance*, *nearest neighbor*, *minimum curvature*, *kriging*, dll. Kesalahan pemilihan metode akan menghasilkan visualisasi yang tidak representatif.

1.3.4. Penampilan dan visualisasi data

Penampilan/visualisasi data dapat berupa teks dan grafik. Saat ini banyak sekali program untuk pemrosesan teks dan grafik yang tersedia secara bebas di internet (lihat Tabel 1.1). Dalam dunia pengolahan teks dikenal ada 2 macam istilah, yaitu pengolah teks (*textprocessing*) dan pengolah kata (*wordprocessing*). Kedua hal ini sangat berbeda baik dalam filosofi maupun implementasi. Pada program pengolah teks, penulis hanya memikirkan isi dari tulisan yang akan dibuatnya. Type setting

atau layout akan dilakukan oleh program pengolah teks. Program seperti ini misalnya $\text{\LaTeX}$, $\text{\LyX}$ dan $\text{\TeX}_{\text{MACS}}$. Sedangkan pada program pengolah kata, di samping memikirkan isi, si penulis harus melakukan layout dari tulisannya. Contoh program ini misalnya OpenOffice.org Writer, WordPro, WordPerfect, MicrosoftWord, Kword, Abiword, Maxwell, dll.

Program grafik sangat banyak tersedia bebas, baik dari grafik 2 dimensi maupun 3 dimensi. Grafik 2 dimensi banyak dipakai untuk menampilkan pengeplotan klasifikasi, harker diagram, data uji pemompaan sumur, data geokimia, dll. Sedangkan grafik 3 dimensi banyak dipakai untuk menampilkan data yang terdiri atas 3 atau 4 komponen, misalnya DEM, permukaan 3 dimensi, peta geologi 3 dimensi, piramidal plot, dll.

1.4. Tantangan ilmu kebumian dalam TI

Perkembangan teknologi informasi yang sangat cepat menuntut kita untuk mengikutinya. Karena seperti halnya teknologi yang lain, kesenjangan dalam teknologi informasi menyebabkan terjadinya harga yang relatif mahal (baik waktu dan biaya). Contoh yang paling sederhana adalah teknologi pemetaan.

Pada pemetaan konvensional dibutuhkan paling tidak data akuisisi, penggambaran peta dan penyimpanan. Sedangkan pada pemetaan digital pun akan dibutuhkan hal yang sama, akan tetapi waktu yang lebih sedikit dan ruang penyimpanan yang relatif tidak membutuhkan biaya perawatan. Kelemahan peta konvensional adalah pada proses penggandaan, kompilasi dan updating data.

Berbeda dengan pemetaan konvensional, pada pemetaan digital format data menjadi hal yang sangat penting karena berhubungan erat dengan life time dari suatu data (basis data).

Jadi tantangan ilmu kebumian dalam teknologi informasi adalah sebagai berikut (Loudon, 2000):

- Kemampuan kuantitatif termasuk pengolahan data spasial
- Basis data (manajemen penyimpanan data)
- Transfer teknologi (belajar jarak jauh, LAN *based learning*)
- Kesenjangan komputer antara dunia kampus dan dunia industri
- Kecepatan perkembangan teknologi informasi

1.5. Trend dalam perkembangan TI

Pada sepuluh tahun terakhir terjadi perubahan yang mendasar pada perkembangan teknologi informasi, terutama pada tipe lisensi software. Lisensi software tidak lagi didominasi oleh copyright atau komersial, melainkan muncul tipe lisensi baru yang dikenal dengan istilah GNU/GPL (*GNU/General Public Lisences*) dengan variannya yang memberikan kebebasan pada publik untuk menyalin, mengedit software (*source code*) yang berlisensi ini. Tipe lisensi ini sangat menguntungkan publik pengguna software, karena tidak dituntut biaya jika ingin menggunakan software dengan tipe lisensi ini. Lisensi software yang menguntungkan publik yang lain misalnya, LGPL (*Library GPL*), BSD Lisences (tipe lisensi ini membebaskan publik untuk memakai memiliki software, tetapi tidak diijinkan untuk memodifikasi isi program).

Dari tipe lisensi ini kemudian muncul istilah yang saling bertentangan satu sama lain, seperti *copyright* versus *copyleft*, *close source* versus *open source*, *proprietary* versus *freeware*). Contoh software proprietary Microsoft Windows, Microsoft Office, AutoCAD, CorelDraw, dll. Sedangkan yang freeware Linux dengan KDE, OpenOffice.org, Xfig, Tgif, dll.

Pada sistem operasi terjadi perubahan paradigma, dari close source ke open source, misalnya sistem Solaris yang dulunya close source dan komersial sekarang menjadi open source dan gratis. MacOS memunculkan generasi baru yang bersifat open source yang diberi nama Darwin. Dalam dunia komputer saat ini dikenal beberapa sistem operasi, yaitu Unix/Unix-like (Unix, Solaris, Minix, Linux, FreeBSD), MacOS (Darwin), OS/2, FreeDOS dan Windows. Yang menjadi pertanyaan, manakah yang tepat dipelajari?

Pada diskusi di mailing list alumni geologi, banyak alumni geologi yang baru mengeluh tentang kesenjangan TI di dunia kampus dan dunia industri. Ada dua hal yang bisa ditarik dari diskusi ini, yaitu perbedaan sistem operasi yang menyebabkan perbedaan penggunaan program dan dasar pengetahuan geokomputasi terlalu lemah. Umumnya di dunia kampus mahasiswa biasa memakai sistem operasi windows (sangat sedikit memakai MSDOS), sedangkan di dunia industri umumnya mereka menggunakan sistem operasi Unix/Unix-like (terutama pada komputer untuk mengolah data yang rumit). Sebagai contoh, di PT CPI untuk pengolahan data seismik dan log, mereka menggunakan komputer kelas SunSparc dengan sistem operasi Solaris/Unix. Jadi, yang terbiasa dengan sistem operasi windows akan kesulitan menggunakan sistem operasi Solaris, terutama pada basis programnya.

1.6. Program-program open source untuk geologi

Saat ini perkembangan program-program berbasis open source sangat cepat, bahkan dapat dikatakan lebih cepat dibandingkan program proprietary. Yang dimaksud dengan program open source adalah program-program aplikasi yang disediakan source codenya, yang oleh pengguna bisa diedit, dimodifikasi untuk keperluan tertentu. Program-program ini tersedia secara bebas di internet. Source code program aplikasi untuk ilmu kebumian dapat didownload dari situsnya *International Association of Mathematical Geology (IAMG)*, <http://www.iamg.org/>) atau ada beberapa situs internet yang dapat dilihat melalui <http://warmada.pandu.org/software.html>. Macam-macam program open source yang dapat dipakai untuk pengolahan data geologi dapat dilihat pada tabel 1.1.

Tabel 1.1.: Program-program open sources untuk geologi

Macam analisis	Program (berlisensi GPL)	Keterangan
Sistem operasi	Linux, FreeBSD dan Solaris	Sistem operasi standard Unix yang dapat dijalankan pada komputer pribadi (PC)
Analisis numerik	Root, Scilab dan Rlab	Program ini dibutuhkan kalau kita ingin mengolah data yang agak kompleks, misalnya untuk permodelan
Geostatistika	R-stat dengan geo-R, Gstat dan Uncert	Untuk mengolah statistik dari univariat sampai multivariat yang telah dilengkapi modul geostatistika
Pengolahan gambar/citra	GIMP, Photogenics, dan ImageMagik	Mengolah foto dan data raster
Grafik	Gnuplot, Grace, Scigraphica, dan plotutils	Untuk membuat grafik 2 atau 3 dimensi
Pemrosesan data (spreadsheet)	OpenOffice.org Calc, Gnumeric, Siag, Kspread, dan Xxl	Untuk mengolah data numerik yang disusun atas baris dan kolom
Menggambar peta 2 dimensi	Xfig, Tgif, GMT, dan QCad	Alat gambar berbasis vektor
Pengkonturan dan menggambar 3 dimensi	GMT, Gri, Geotouch, dan gnuplot	Menggrid dan menggambar garis kontur
GIS untuk geologi	GRASS dan Geotouch	Membuat GIS baik dari data raster maupun data vektor yang menggunakan PostgreSQL untuk mendukung basis datanya
Dokumentasi	$\text{\LaTeX}$, $\text{\KlX}$, $\text{\LyX}$ dan $\text{\TeX}$ $\text{\TeX}$ -MACS	Pengolahan teks berbasis $\text{\TeX}$

2. Metode numerik untuk geologi

2.1. Pendahuluan

Metode numerik adalah teknik-teknik yang digunakan untuk memformulasikan masalah matematis agar dapat dipecahkan dengan operasi perhitungan (Chapra dan Canale, 1988). Sejak akhir tahun 1940-an ketersediaan yang meluas dari komputer digital telah menuju suatu ledakan yang benar-benar dalam penggunaan dan pengembangan metode numerik. Mengapa harus belajar metode numerik?

Noble (1964, dalam Ferguson, 1989) menyatakan bahwa tujuan metode numerik adalah untuk menyediakan prosedur-prosedur praktis untuk menghitung penyelesaian suatu masalah dalam matematika terapan untuk suatu derajat ketepatan tertentu. Dalam geologi, mengingat banyak masalah yang dapat diselesaikan dengan menggunakan metode matematis sangat kompleks, sering meliputi persamaan yang rumit, sehingga sangat penting untuk memiliki pengetahuan tentang teknik numerik dasar.

Selain sebagai sarana yang efisien untuk mempelajari komputer pribadi (PC), metode numerik juga dapat menyederhanakan matematika yang lebih tinggi menjadi operasi-operasi yang mendasar.

2.2. Model matematis

Pengetahuan dan pemahaman tentang suatu alat bantu merupakan prasyarat untuk penerapan alat tersebut menjadi lebih efektif. Tak peduli seberapa hebatnya peti alat-alat anda, anda akan berada di bawah tekanan pada waktu memperbaiki sebuah komputer jika anda tidak mengerti bagaimana cara kerjanya.

Suatu program komputer adalah implementasi dari suatu rangkaian algoritma yang dihasilkan dari suatu model matematis. Model matematis secara luas dapat didefinisikan sebagai perumusan atau persamaan yang mengekspresikan fitur pokok dari sistem atau proses fisis dalam istilah matematis. Dalam penalaran umum, model matematis dapat dinyatakan sebagai suatu hubungan fungsional yang berbentuk,

$$\begin{matrix} Peubah \\ tak bebas \end{matrix} = f \left(\begin{matrix} peubah \\ bebas \end{matrix}, parameter, \begin{matrix} fungsi \\ pemaksa \end{matrix} \right) \quad (2.1)$$

dimana: peubah takbebas (*dependent variable*),

Salah satu contoh terapan dalam bidang geologi, misalnya untuk memprediksi porositas batupasir. Porositas dan permeabilitas batupasir dapat dipengaruhi oleh beberapa parameter empiris, seperti: komposisi butir (g), ukuran butir (ϕ), sortasi (s), dan kompaksi (Bloch, 1991; Scherer, 1987; Beard dan Weyl, 1973). Porositas dan permeabilitas batupasir dapat dinyatakan dengan model matematis berikut ini (Bloch, 1991):

$$Por = -6,1 + 9,8 (1/s) + 0,17 (g_{\text{rigid}}) \quad (2.2)$$

$$\log_{10}(perm) = -4,67 + 1,34 \phi + 4,08 (1/s) + 3,42 (g_{\text{rigid}}/100) \quad (2.3)$$

2.3. Hampiran dan galat

Ketelitian dan ketepatan dalam perhitungan sangat berhubungan dengan galat (*error*). Ketelitian mengacu kepada nilai yang sebenarnya, yang dihitung atau diukur dengan teliti. Ketepatan mengacu kepada nilai individu yang sebenarnya, yang dihitung atau diukur dengan teliti terhadap yang lain. Nilai yang terukur disebut sebagai angka signifikan (angka bena), misalnya angka 4.45×10^4 , 4.530×10^4 dan 4.5300×10^4 masing-masing mempunyai tiga, empat dan lima angka bena. Angka ini sangat tergantung kepada ketelitian (presisi) alat ukur yang digunakan. Semakin teliti alat ukur, semakin banyak angka benanya, namun tidak perlu dipaksakan dengan menambahkan jumlah angka bena melalui hasil perhitungan. Hal ini sering dijumpai pada laporan, skripsi atau yang lainnya yang sebenarnya tidak ada artinya.

Galat numerik timbul dari penggunaan hampiran (aproksimasi) untuk menyatakan operasi dan besaran matematis yang eksak. Ini mencakup galat pemotongan (*truncation error*), yang akan terjadi jika aproksimasi digunakan untuk menyatakan suatu prosedur matematis, dan galat pembulatan (*round-off error*) yang terjadi jika bilangan aproksimasi digunakan untuk menyatakan bilangan eksak.

Contoh perhitungan galat

Kasus: Suatu bukit kecil yang terukur di lapangan dan panjang pensil yang digunakan sebagai skala mempunyai ukuran masing-masing 9999 dan 9 cm. Jika nilai sebenarnya masing-masing 10.000 dan 10 cm, hitung (a) galat dan (b) persen galat relatif untuk setiap kasus.

Penyelesaian:

Galat (E_t)

$$E_t = \text{nilai sejati} - \text{aproksimasi} \quad (2.4)$$

E_t untuk tiap-tiap kasus adalah 1 cm.

Persen galat relatif (ϵ_t)

$$\epsilon_t = \frac{\text{galat sejati}}{\text{nilai sejati}} \times 100\% \quad (2.5)$$

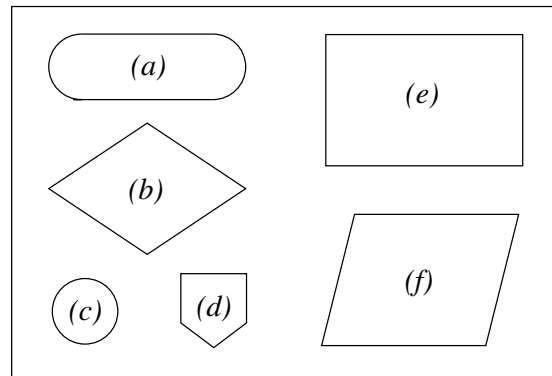
ϵ_t untuk tiap-tiap kasus adalah 0,01% dan 10%.

Kesimpulan: Hasil pengukuran kedua kasus di atas mempunyai galat yang sama (1 cm), namun pengukuran tinggi bukit jauh lebih teliti dibandingkan dengan pengukuran panjang pensil dilihat dari nilai ϵ_t yang masing-masing sebesar 0,01% $\ll$ 10%.

2.4. Algoritma dan bagan alir

Algoritma merupakan rentetan (*sequence*) langkah logika yang diperlukan untuk melakukan suatu tugas tertentu, seperti misalnya memecahkan masalah. Selain mencapai tujuannya, algoritma yang baik harus mempunyai sejumlah atribut:

1. Tiap langkah harus deterministik, yaitu tidak ada yang tertinggal untuk ditebak. Hasil akhir tidak boleh tergantung kepada siapa yang menjalani algoritma itu. Dalam pengertian ini, algoritma analog dengan resep dapur. Dua juru masak yang bekerja saling bebas memakai sebuah resep yang bagus seharusnya berakhir dengan hidangan yang pada dasarnya identik.
2. Prosesnya harus selalu berakhir setelah sejumlah berhingga langkah. Suatu algoritma tidak boleh berakhir terbuka.
3. Algoritma harus cukup umum untuk menangani keperluan apapun.



Gambar 2.1.: Lambang ANSI yang digunakan dalam bagan alir. (a) terminal, (b) keputusan, (c) penghubung, (d) penyambung ke halaman lain, (e) proses, (f) masukan/keluaran.

Bagan alir¹ merupakan suatu diagram yang memuat simbol-simbol geometri yang berlabel yang dengan anak panah yang menghubungkan antar simbol (Lipschutz dan Lipschutz, 1982). Bagan alir dapat juga dinyatakan sebagai pernyataan visual atau grafis suatu algoritma. Bagan alir menggunakan deretan blok dan anak panah, yang masing-masing menyatakan operasi atau langkah tertentu dalam algoritma. Anak panah menyatakan urutan bagaimana operasi dijalankan.

Lambang-lambang bagan alir (Chapra dan Canale, 1988; Lipschutz dan Lipschutz, 1982).

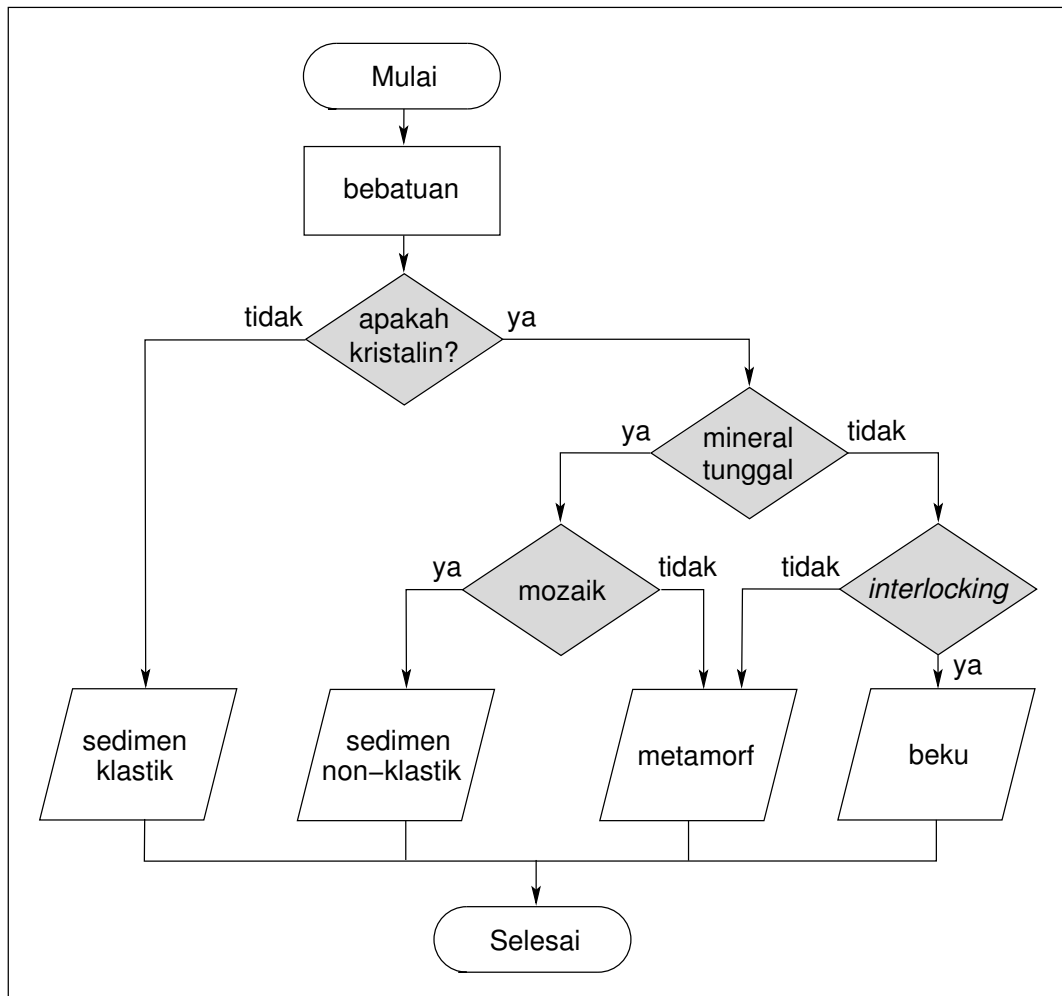
2.5. Iterasi

Iterasi adalah pengulangan suatu proses dengan memberikan nilai dengan peubah konstan (Ferguson, 1988). Iterasi dapat mencapai nilai konvergen yang merupakan akhir dari suatu iterasi atau divergen, yang artinya iterasi tidak berhasil. Ditinjau dari nilai galat, iterasi yang konvergen mempunyai galat hampiran yang sangat kecil, yang dapat dihitung dengan persamaan,

$$|\epsilon_a| = \left| \frac{x_r^{\text{baru}} - x_r^{\text{lama}}}{x_r^{\text{baru}}} \right| \times 100\% \quad (2.6)$$

dimana, x_r^{baru} adalah nilai untuk iterasi terakhir dan x_r^{lama} adalah nilai dari iterasi sebelumnya.

¹Program yang biasa digunakan untuk menggambar bagan alir adalah Visio (*proprietary*, komersial), Xfig dan Dia (Open Source).



Gambar 2.2.: Contoh bagan alir (diadaptasi dari Caron, dkk, 1989).

Contoh iterasi

Kasus: Selesaikan persamaan $f(x) = x^2 - 5x - 2$ dengan $f(x) = 0$.

Penyelesaian:

Step 1: $x = 0, 2x^2 + 0, 4$

Step 2: berikan tebakan awal untuk x , misalnya $x = 0$ dan $x = 10$

Step 3: $x = 0$

$$x = 0, 2(0)^2 + 0, 4 = 0, 4$$

Step 4: $x = 0, 4$

$$x = 0, 2(0, 4)^2 + 0, 4 = 0, 432 \text{ dan seterusnya sampai diperoleh } x = 0, 43825 \text{ (akar pertama)}$$

Step 5: $x = 10$

$$x_1 = 20, 4;$$

$$x_2 = 83, 6;$$

$$x_3 = 1398, 2 \text{ (tidak konvergen)}$$

Step 6: $x = 5$

$$x_1 = 5, 4;$$

$$x_2 = 6, 232$$

$$x_3 = 8, 1676 \text{ (tidak konvergen)}$$

Hasil akhir persamaan dapat dihitung secara tepat dengan metode analitik, yaitu $x_1 = 0, 438447$ dan $x_2 = 4, 561553$.

Cara lain misalnya penyelesaian dengan iterasi Newton-Raphson, sebagai berikut:

Jika x_n adalah suatu aproksimasi dari akar suatu persamaan $f(x) = 0$, maka pendekatan yang lebih baik dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)} \quad (2.7)$$

Contoh iterasi Newton-Raphson

Kasus: $\sqrt{11} = ?$ (4 desimal)

Penyelesaian:

$$f(x) = x^2 - a$$

$$f'(x) = 2x$$

dengan Newton-Raphson akan diperoleh,

$$x_{n+1} = x_n - \frac{x_n^2 - a}{2x_n}$$

$$x_0 = 3,0$$

$$x_1 = 3,0 - [(9 - 11)/6] = 3,33$$

$$\vdots$$

$$x_4 = 3,31667 - [(3,31667^2 - 11)/16,63334] = 3,31662$$

2.6. Aplikasi geologi

Dalam paleoekologi perhitungan indeks sebaran (*diversity index*) sering digunakan untuk menyatakan suatu bilangan tunggal dari hubungan antara individu di dalam suatu populasi dan sejumlah spesies yang membentuk populasi. Salah satu indeks yang sangat berguna adalah 'Fisher's α ' (William, 1964 dalam Ferguson, 1989), yang merupakan kasus spesial dari distribusi Poisson, di mana nilai nol tidak dipergunakan. Perhitungan indeks sebaran ini sangat penting, karena menyatakan sebaran sebagai suatu nilai unik, yang memungkinkan perhitungan bilangan teoretis dengan masing-masing individu 1, 2, 3 ..., n di dalam populasi.

Indeks sebaran, a , dinyatakan dengan

$$S = a \ln \left(1 + \frac{N}{a} \right) \quad (2.8)$$

dimana S = jumlah spesies dan N = jumlah individu di dalam populasi. Jika,

$$x = N / (N + a) \quad (2.9)$$

dan bilangan teoretis spesies dengan 1, 2, 3, ..., N individu dinyatakan dengan terminologi

$$ax, ax^2/2, ax^3/3, \dots, ax^n/N \quad (2.10)$$

Contoh iterasi dalam geologi

Kasus: Hitunglah a (1 desimal), jika jumlah conto (yang menggambarkan populasi) adalah 350 dan jumlah spesies dalam populasi adalah 30.

Penyelesaian:

Step 1: Tulis kembali persamaan 2.8 sebagai hubungan rekursif:

$$a_i = S / \ln [1 + N/a_{i-1}]$$

Step 2: berikan tebakan awal untuk $a = 0, 1$

$$a_1 = 30 / \ln [1 + 350/0, 1] = 3,676$$

$$a_2 = 30 / \ln [1 + 350/3,676] = 6,5695$$

$$a_3 = 30 / \ln [1 + 350/6,5695] = 7,5111$$

$$a_4 = 30 / \ln [1 + 350/7,5111] = 7,7664$$

$$a_5 = 30 / \ln [1 + 350/7,7664] = 7,8327$$

Sehingga nilai a adalah 7,8.

Step 3: dengan nilai $a = 7,8$ jumlah spesies yang ditunjukkan oleh masing-masing individu 1, 2, 3, 4 dan 5 adalah sebagai berikut (persamaan 2.9):

$$x = 350 / (350 + 7,8) = 0,978$$

Step 4: jumlah spesies yang ditunjukkan oleh N individu adalah (persamaan 2.10):

$$1 \text{ individu} = 7,8 \times 0,978 = 8$$

$$2 \text{ individu} = 7,8 \times 0,957/2 = 4$$

$$3 \text{ individu} = 7,8 \times 0,935/3 = 2$$

$$4 \text{ individu} = 7,8 \times 0,915/4 = 2$$

$$5 \text{ individu} = 7,8 \times 0,895/5 = 1$$

3. Persamaan linear simultan

3.1. Pendahuluan

Penyelesaian suatu persamaan linear simultan merupakan suatu masalah praktis yang sangat penting dalam banyak ilmu. Dalam geologi, metoda ini banyak digunakan dalam menyelesaikan masalah-masalah yang dengan pemrograman linear (*linear programming*) seperti menyelesaikan masalah percampuran petrologis dengan metode pemrograman linear dan kuadrat terkecil (Wright & Doherty, 1970), perhitungan normatif mineral dalam batuan (Caritat, dkk., 1994), pada pemetaan kontur yang menggunakan metoda analisis kecenderungan permukaan (*trend surface analysis*), pada masalah yang menyangkut penyelesaian persamaan Laplace untuk permodelan aliran cairan atau gas pada batuan, pada beberapa metoda statistik multivariat, dll (Ferguson, 1989).

Pada bagian sebelumnya contoh-contoh yang digunakan adalah penentuan nilai x yang memenuhi suatu persamaan tunggal, $f(x) = 0$. Pada bagian ini akan ditentukan nilai-nilai $x_1, x_2, \dots, x_n$ yang secara serempak untuk memenuhi himpunan persamaan:

$$\begin{aligned}f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0 \\f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0 \\&\vdots \\f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0\end{aligned}$$

Untuk sejumlah kecil persamaan ($n \leq 3$), persamaan-persamaan linear (atau kadang-kadang taklinear) segera dapat diselesaikan dengan teknik-teknik sederhana. Namun, untuk empat persamaan atau lebih, penyelesaian menjadi sulit atau membuang-buang banyak waktu. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan persamaan linear simultan, seperti:

- eliminasi Gauss
- eliminasi Gauss-Jordan
- eliminasi Gauss-Seidel (iterasi)

- eliminasi Gauss-Newton (iterasi), dan
- matriks
 - determinan – kaidah Cramer
 - inversi matriks

3.2. Eliminasi

Teknik eliminasi dikembangkan dari teknik aljabar tradisional, dengan cara mengkombinasikan beberapa persamaan untuk menghilangkan bilangan-bilangan tertentu. Meskipun metoda ini merupakan salah satu metoda yang paling dini untuk menyelesaikan sistem persamaan linear, eliminasi Gauss tetap berada di antara algoritma-algoritma paling penting digunakan saat ini, karena selain mudah diprogram dan dapat diterapkan dengan menggunakan komputer pribadi.

Contoh sederhana dari metode eliminasi dapat dilakukan dengan cara grafis, misalnya suatu persamaan $a_{11}x_1 + a_{12}x_2 = c_1$ dan $a_{21}x_1 + a_{22}x_2 = c_2$ dapat diselesaikan dengan cara sebagai berikut (Chapra dan Canale, 1988):

$$x_2 = -\left(\frac{a_{11}}{a_{12}}\right)x_1 + \frac{c_1}{a_{12}} \quad (3.1)$$

$$x_2 = -\left(\frac{a_{21}}{a_{22}}\right)x_1 + \frac{c_2}{a_{22}} \quad (3.2)$$

Jadi, persamaan-persamaan tersebut sekarang dalam bentuk garis lurus, yaitu $x_2 = (\text{kemiringan}) x_1 + \text{perpotongan}$. Perpotongan kedua garis ini merupakan penyelesaian dari persamaan kedua persamaan di atas.

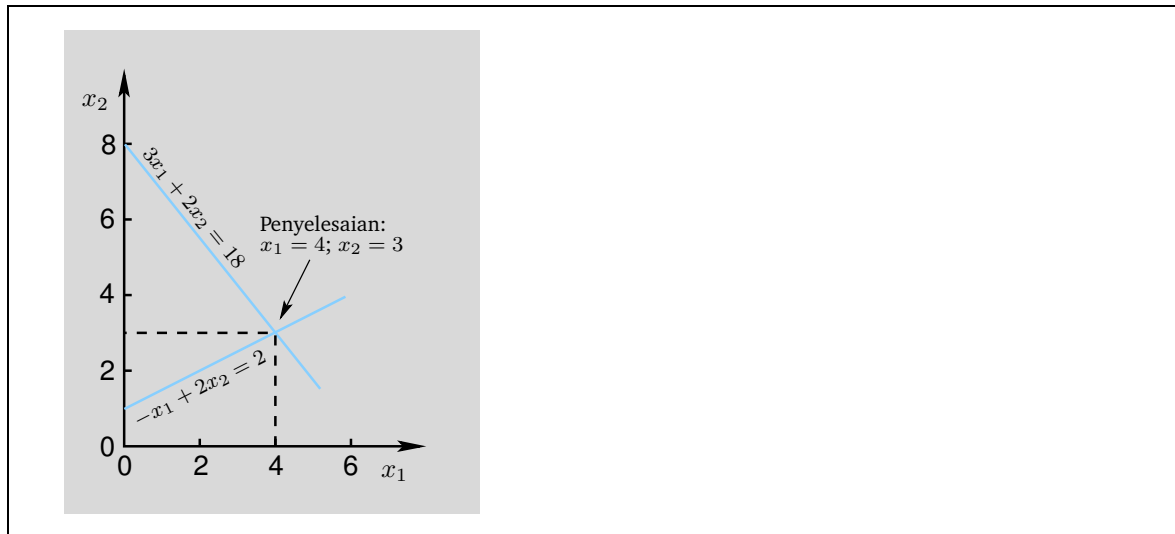
Contoh penyelesaian persamaan linear

Kasus: selesaikanlah kedua persamaan ini: $3x_1 + 2x_2 = 18$ dan $-x_1 + 2x_2 = 2$

Penyelesaian:

Misalkan x_1 adalah absis, maka masing-masing persamaan dapat ditulis kembali sebagai berikut:

$$x_2 = (-3/2)x_1 + 9 \text{ dan } x_2 = (1/2)x_1 + 1$$



Dalam bidang geologi, metode ini banyak dipakai untuk menyelesaikan regresi berganda untuk analisis kecenderungan permukaan. Contoh berikut ini adalah salah satu masalah geologi yang dapat dipecahkan dengan teknik ini.

3.3. Regresi kuadrat terkecil¹

Metode ini paling sering digunakan di dalam geokimia unsur untuk mengetahui hubungan linear atau taklinear antara unsur pada dispersi geokimia. Metode ini sudah dibahas baik pada praktikum Fisika Dasar I maupun pada matakuliah Statistika Dasar I. Pada bagian ini hanya mengulang dan menambah teknik-teknik pelinearan hubungan tak linear.

Suatu kumpulan data yang terdiri dari dua variabel dapat memenuhi persamaan linear,

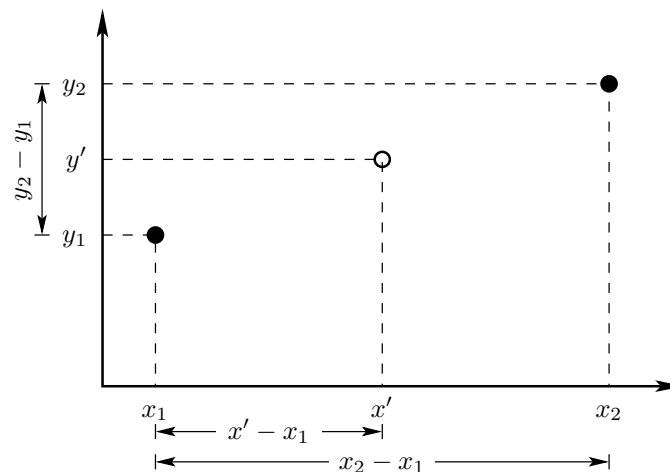
$$y = a_0 + a_1x \quad (3.3)$$

Persamaan ini dapat diselesaikan dengan pendekatan regresi kuadrat terkecil, sebagai berikut:

$$a_0 = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (3.4)$$

$$a_0 = \bar{y} - a_1 \bar{x} \quad (3.5)$$

¹Program yang dapat digunakan untuk regresi linear, seperti SPSS, S, Systat (*proprietary*), R, geo-R, Gstat (OpenSource).



Gambar 3.1.: Interpolasi linear antara dua titik data

Script gnuplot untuk regresi linear

```
load 'line.fnc'; a = 0.1; b = 0.0
fit f(x) 'data.dat' using 1:2 via a,b
```

Isi file `line.fnc` dengan persamaan:

$$f(x) = a \cdot x + b$$

panduan selengkapnya, lihat <http://www.pandu.org/CCC>

3.4. Interpolasi

Pada kuliah statistika anda telah memperoleh materi mengenai analisis sekuen data. Data yang tersebar secara teratur, misalnya mempunyai spasi yang sama, diambil dari suatu interval tertentu pada suatu jalur atau garis, atau mempunyai jarak yang sama sepanjang waktu sangat mudah dianalisis. Namun, harapan ini seringkali menjadi sia-sia, karena banyak faktor yang menyebabkan pengambilan suatu data tidak dapat dilakukan pada koordinat yang telah ditentukan. Pengambilan data dilakukan di luar titik koordinat tersebut. Untuk mencari nilai data pada titik koordinat yang ditentukan diperlukan suatu prosedur yang dikenal dengan istilah interpolasi.

Ada beberapa metode interpolasi yang sering digunakan untuk membuat sekuen data (data yang mempunyai spasi tertentu), yaitu interpolasi linear yang dapat digambarkan pada Gambar 3.1 dan interpolasi tak linear.

Asumsi, y_1 dan y_2 merupakan nilai pada titik x_1 dan x_2 , nilai titik x' dan y' dapat dihitung dengan persamaan:

$$y' = \frac{(y_2 - y_1)(x' - x_1)}{x_2 - x_1} + y_1 \quad (3.6)$$

Ada beberapa macam interpolasi tak linear yang sering dijumpai pada program-program grafik², seperti power, eksponensial, polinomial, dan spline. Namun, persamaan yang mempunyai pola tak linear dapat juga didekati dengan pola linear, misalkan dengan pelinearan persamaan taklinear, seperti pada persamaan berikut ini:

$$y = a_1 e^{b_1 x} \implies \ln y = b_1 x + \ln a_1 \quad (3.7)$$

$$y = a_2 x^{b_2} \implies \log y = b_2 \log x + \log a_2 \quad (3.8)$$

$$y = a_3 \frac{x}{b_3 + x} \implies 1/y = \frac{b_3}{a_3} \cdot \frac{1}{x} + \frac{1}{a_3} \quad (3.9)$$

Contoh penerapan dalam geologi

Suatu pemboran dibutuhkan drilling mud ...

²Beberapa perangkat lunak yang dapat digunakan untuk interpolasi baik linear maupun tak linear meliputi: gnuplot, xmgrace, plotmtv, SciGraphica (OpenSource); grapher, SigmaPlot, Origin, Statistica (proprietary).

4. Teknik pengambilan dan pengelolaan data geologi

4.1. Pendahuluan

Pada beberapa dekade data geologi khususnya pemetaan sebagian besar dalam bentuk analog (cetak biru atau blueprint). Sayangnya, data yang dikumpulkan dengan biaya yang tidak sedikit sulit sekali dikelola atau dimanipulasi untuk menghasilkan data geologi yang komprehensif. Selain itu, masing-masing pengumpul data apakah instansi geologi atau instansi yang terkait yang lain kadang masih menerapkan standar format data yang berbeda-beda. Model pengambilan data semacam ini mengakibatkan pengelolaan data yang sudah diambil membutuhkan banyak waktu untuk mengkompilasi kembali.

Data merupakan sesuatu yang tidak ternilai harganya di dalam abad informasi. Kesalahan di dalam pengelolaan data (pengaturan, pengelompokan dan penyimpanan data) akan berakibat sangat fatal, sebagai contoh data yang disimpan secara acak (struktur penyimpanan data tidak jelas) akan memerlukan banyak waktu untuk mencarinya atau jika data yang diinginkan hilang akan membutuhkan dana yang tidak sedikit untuk membuat data yang sama. Pekerjaan semacam ini menjadikan penggunaan waktu menjadi tidak efisien.

Dalam bidang geologi data dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis data. Namun secara umum dapat dibagi menjadi 2 macam data utama, yaitu grafik dan teks. Data grafik meliputi gambar peta atau citra, foto, sketsa dan grafik plot, sedangkan data teks meliputi tabel hasil pengukuran, deskripsi, dan laporan. Standardisasi format kedua macam data ini akan memberikan kemudahan kepada proses pengolahan dan manajemen data.

4.2. Teknik pengambilan data

Geologi kadang-kadang disebut sebagai suatu ilmu deskriptif, yang artinya penerapan operasi matematik dan statistik sangat terbatas. Pada beberapa kasus hal ini

benar, meskipun demikian, geologi merupakan suatu ilmu yang logik dan sebagian besar observasi geologis dapat dilakukan pengkodean atau dihitung secara sistematis sehingga proses-proses geologi dapat dideskripsi atau dimodelkan. Matematika merupakan bagian dari pengolahan suatu data geologi berbasis komputer. Operasi matematis memerlukan informasi geologi dalam format digital, yaitu suatu informasi geologi yang dapat dikuantifikasi, dibandingkan dan secara matematis dapat ditransformasikan. Contoh data semacam ini misalnya data porositas, yang dapat dikontur atau ditransformasikan untuk perhitungan yang lain.

Suatu data geologi deskriptif atau terukur dapat dikategori menjadi kelas-kelas tergantung sejumlah informasi tiap kelasnya. Masing-masing kelas hanya tepat pada suatu bentuk pengolahan tertentu dan tidak pada yang lain. Pengolahan dengan komputer adalah alat bantu yang sangat hebat, namun komputer dan program tidak dapat memilih informasi yang diberikan padanya. Semua jenis informasi baik yang bagus maupun yang jelek akan diperlakukan sama oleh komputer. Tugas seorang ahli geologi adalah menyediakan data yang teruji kesahihannya.

Macam-macam data geologi:

- data berskala nominal
Data ini dapat digunakan untuk pengelompokan, misalnya warna suatu batuan dapat diset sebagai merah (1), abu-abu (2) dan hijau (3).
- data berskala ordinal
Data ini memiliki ranking. Obyek dalam skala ini tidak hanya berbeda dari yang lain, tetapi juga memiliki hubungan satu dengan yang lainnya. Contohnya porositas baik lebih baik daripada medium.
- data berskala interval
Data ini memiliki batas interval, misalnya elevasi
- data berskala rasio
Data ini memiliki semua karakteristik data berskala interval, bedanya data ini memiliki titik nol yang sebenarnya (*true zero point*) sebagai asal. Data seperti ini termasuk obyek yang terberatkan (*weighted object*), jumlah obyek seperti butiran atau lapisan pasir, tebal formasi, dll.

4.3. Konversi data

Meskipun data kualitatif saat ini dapat diproses oleh komputer, misalnya pengolahan data string yang dapat diolah dengan program perl-script, namun tetap sulit untuk

dimanipulasi seperti halnya data kuantitatif. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengkuantifikasi data adalah dengan memberikan ranking tiap kelas dari suatu data kualitatif. Contoh (Tabel 4.1 diambil dari Bieniawski, 1984):

Tabel 4.1.: Contoh konversi data kualitatif ke data kuantitatif

Pemerian	Jarak (m)	Kondisi batuan	Ranking
sangat rapat	<0,06	hancur	5
rapat	0,06–0,2	terpecah	8
sedang	0,2–0,6	blocky	10
lebar	0,6–2	masif	15
sangat lebar	>2	padat	20

Penyelidikan geologi telah dilakukan (barangkali) sebelum teknologi komputer berkembang. Penyelidikan ini akan menghasilkan data dalam bentuk hardcopy atau analog. Untuk proses pengolahan dengan komputer data ini harus dikonversi menjadi digital. Proses ini dikenal dengan istilah *digitize*. Alat yang biasa digunakan untuk membantu proses ini misalnya *scanner* dan *digitizer*. Perbedaan kedua alat (devais) ini terletak pada format data yang dihasilkannya. Scanner tanpa bantuan program spesifik hanya dapat menghasilkan data dengan format raster, sedangkan digitizer akan menghasilkan data dalam format vektor.

Kemajuan teknik pengolahan data menyebabkan penggunaan digitizer menjadi semakin ditinggalkan, karena scanner dengan beberapa program bantu dapat menggantikan fungsi digitizer sebagai alat pemasuk data (vektor), seperti program Surfer dan Ilwis yang proprietary, atau g3data yang OpenSource. Atau dengan program OmniPro (*proprietary*) atau Autotrace (*OpenSource*) yang memiliki teknologi OCR (*Objects Character Recognition*) dapat mengkonversi data hasil scanner menjadi teks (*plain text* atau *ASCII*).

Contoh distribusi populasi geologi (baca Krumbein & Graybill, 1965 untuk pemahaman lebih detail)

1. Distribusi normal

- a) relief topografi
- b) kebulatan pada ukuran butir tertentu
- c) kebundaran untuk ukuran kerakal tertentu

- d) kerapatan aliran sungai pada suatu daerah
- e) berat jenis dari suatu conto batuan
- f) densitas pengepakan dari butiran pada batupasir
- g) porositas batupasir (yang dinyatakan sebagai persen ruang kosong/pori)
- h) persentase kehadiran mineral pada batuan
- i) rata-rata berdasarkan n observasi

2. Distribusi lognormal

- a) distribusi ukuran butir
- b) ketebalan lapisan batuan sedimen
- c) panjang sungai orde pertama pada cekungan pengaliran
- d) permeabilitas dari suatu batuan sedimen (batupasir, batugamping)
- e) konsentrasi unsur jejak pada batuan
- f) luasan dari endapan placer

3. Distribusi gamma

- a) ketebalan lapisan batuan sedimen
- b) rasio sand-shale dan rasio klastika pada suatu satuan stratigrafi
- c) persentase komponen jarang pada batuan (material organik, unsur jejak, kelembaban, mineral berat)
- d) kebulatan partikel pada rentang ukuran partikel yang lebar
- e) kebundaran partikel pada rentang ukuran partikel yang lebar

4. Distribusi normal sirkular

- a) orientasi kekar atau retakan pada batuan
- b) orientasi sumbu butiran pada batuan sedimen
- c) arah dip pada lapisan silang-siur batupasir

5. Distribusi binomial

- a) kelimpahan mineral pada batuan (dinyatakan sebagai jumlah butiran)
- b) kelimpahan fosil pada batuan
- c) terbentuknya silangsiur pada batupasir

6. Distribusi Poisson

- a) mineral jarang pada batuan
- b) jumlah partikel α per satuan waktu yang diemisikan oleh mineral radioaktif pada batuan sedimen
- c) ukuran fosil pada populasi mati

4.4. Pengelolaan data geologi

4.4.1. Format berkas program dan data

Dalam komputasi, secara sederhana berkas dapat dikelompokkan menjadi berkas program dan berkas data. Semua berkas program yang dijalankan pada komputer mempunyai format biner (*binary*) yang dapat dieksekusi oleh mesin (*executable files*). Pada program berbasis MicrosoftWindows® berkas-berkas ini ditandai dengan ekstensi *.exe*, *.com* atau *.dll*, sedangkan pada program berbasis Unix (yang memakai standard Posix), berkas yang dapat dieksekusi oleh mesin tidak memiliki ekstensi apa-apa, namun biasanya terletak di bawah direktori */usr/bin* atau */usr/share* (baca buku-buku tentang Unix untuk tahu lebih banyak tentang hal ini). Pembahasan di sini lebih ditekankan pada format data, karena data jauh lebih penting daripada perangkat lunak. Perangkat lunak hilang atau rusak masih bisa dicari atau dibeli, sedangkan bila data hilang atau rusak harus melalui tahap yang berbelit-belit untuk mendapatkannya kembali, salah satunya adalah pengambilan data dari awal.

Format berkas data dapat dikelompokkan menjadi dua macam, yaitu berkas terformat biner (*binary*) dan teks (ASCII). Format biner biasanya dihasilkan oleh perangkat lunak aplikasi komersial, seperti MicrosoftOffice®, CorelDraw™, Grapher®, Surfer®, dll. Format data ini biasanya tidak mudah dibaca oleh program lain, sehingga diperlukan program konverter yang sering diintegrasikan pada perangkat tersebut sebagai pelengkap (“add-on”). Data dengan format biner atau sering disebut dengan istilah *closed data format* sangat tergantung kepada perangkat lunak yang membuatnya, sebagai contoh data yang dibuat dengan Surfer (**.srf*) hanya bisa dibaca oleh perangkat lunak ini, sampai kita mengeksponnya dalam format lain. Data dalam format ini sangat tergantung kepada Surfer.

Format teks atau *plain text* (**.txt*, **.slk*, **.csv*, **.tex*, **.lyx*, dll.) sangat fleksibel. Format ini tidak tergantung kepada program pembuatnya, jadi hampir semua berkas terformat teks dapat dibaca oleh semua program aplikasi. Jadi, meskipun program pembuatnya bangkrut, misalnya program WordStar® atau ChiWriter data yang dibuat dalam format teks dapat dimanfaatkan dengan menggunakan program lainnya. Umur data dapat diperpanjang, sehingga tidak memerlukan pengambilan data ulang karena data yang dulu diambil tidak dapat dibaca oleh perangkat lunak yang baru. Saat ini, format berkas data modern mulai mengacu kepada SGML, yang salah satu turunannya digunakan untuk format standard untuk berkas data terbaru, yaitu XML (*eXtensible Mark-up Language*). Format berkas HTML (*HyperText Mark-up Language*),

MathML, XHTML diturunkan juga dari SGML. Beberapa program yang sudah menggunakan format XML seperti OpenOffice.org, KOffice, dan GnomeOffice.

4.4.2. Penamaan berkas dan struktur penyimpanan data

Hal tersulit di dalam pengelolaan data adalah pemberian nama berkas, terutama pada program yang penamaan berkasnya mempunyai basis 8 (delapan) karakter/huruf, seperti pada program berbasis Microsoft DOS® atau MicrosoftWindows® 95 ke belakang. Berbeda dengan program generasi yang lebih baru atau program yang memakai standard Posix penamaan berkas tidak dibatasi oleh jumlah karakter. Kelemahan pada model penamaan ini adalah pengguna secara tidak sadar telah membuat penamaan yang sama berulang-ulang, misalnya ketika mengetik skripsi atau thesis bab pendahuluan, secara otomatis akan disimpan dengan nama berkas *pendahuluan.ext*. Ketika akan mengetik laporan lain dengan susunan yang sama akan ada beberapa berkas *pendahuluan.ext*. Di sini akan timbul kesulitan menebak berkas *pendahuluan.ext* untuk pekerjaan yang mana (skripsi atau laporan lainnya), sehingga diperlukan kehati-hatian dalam memberikan nama berkas. Pada program berbasis Unix hal semacam ini tidak menjadi masalah, karena hampir semua format data berbasis teks, yang bisa ditrace dengan perintah *grep*, *file*, dan *cat*.

Selain penamaan berkas, struktur penyimpanan data juga merupakan hal yang tidak kalah pentingnya. Data dapat disimpan dalam hirarki direktori, sehingga tiap kelompok kegiatan dapat dipisahkan satu sama lain, meskipun namanya sama. Lihat contoh berikut ini:

```
/home/warmada → direktori utama
/home/warmada/Documents → direktori penyimpanan data
/home/warmada/Documents/Tugas → kelompok tugas
/home/warmada/Documents/Tugas/Gambar_Teknik → tugas mk1
/home/warmada/Documents/Tugas/Petrologi → tugas mk2
/home/warmada/Documents/Tulisan → kelompok tulisan
```

4.4.3. Keamanan data

Pernahkah data anda hilang, atau diambil teman atau orang lain yang bersama-sama menggunakan komputer yang sama? Ada beberapa hal yang menyebabkan data hilang, yaitu virus, penyimpanan data yang tidak rapi, atau terhapus secara tidak

sengaja oleh pengguna yang lain.

Sebagai pengguna komputer dengan modus “*single user*” —komputer hanya diakses sendiri— proteksi terhadap data tidak terlalu penting. Barangkali hanya diperlukan “*backup data*” (pengarsipan data). Namun, kadang komputer dipakai secara bersama-sama dengan pengguna lain, apakah di rumah atau di tempat kerja. Pada kasus ini proteksi terhadap data menjadi sangat penting, seperti halnya barang pribadi. Contohnya, jika anda menyimpan foto pacar anda dan terbaca pengguna lain foto itu bisa disebar ke orang lain seperti kasus foto beberapa artis. Ide atau temuan baru anda yang tersimpan rapi bisa diketahui dan diakuisisi orang lain yang sempat membaca berkas rahasia milik anda.

Dalam komputer, sistem dapat diset sebagai “*single user*” atau “*multiuser*”. Pada modus “*single user*” menempatkan pengguna pada kekuasaan (*privilege*) yang sama, sedangkan pada modus “*multiuser*” menempatkan beberapa komponen sistem (pengguna, *superuser*, orang luar, dan kendali program) pada kekuasaan yang berbeda. Tiap-tiap pengguna akan mendapat ruang yang tidak dapat diakses oleh pengguna lainnya, kecuali kalau memang dikehendaki. Misalkan, data yang disimpan oleh pengguna A tidak dapat dibaca oleh pengguna B, kecuali kalau diset untuk digunakan bersama. Jadi sebaiknya komputer yang diakses orang banyak, meskipun milik pribadi sebaiknya diset pada modus “*multiuser*”¹.

¹Tidak semua sistem operasi menyediakan pilihan modus “*multiuser*”. MicrosoftDOS® sampai MicrosoftWindows® 98 tidak menyediakan modus ini (hanya *single user*). MicrosoftWindows® 98SE tampaknya sudah mulai menyediakannya, begitu juga MicrosoftWindows® NT/2000/XP. Semua sistem operasi Unix dan yang sama dengan Unix (Solaris, FreeBSD, OpenBSD, NetBSD, GNU/Linux dan HP Unix) memberikan standard pada modus “*multiuser*”.

5. Pengolahan data dengan spreadsheet

5.1. Pendahuluan¹

Spreadsheet merupakan suatu tabel nilai-nilai yang disusun dalam baris dan kolom. Masing-masing nilai dapat memiliki suatu hubungan yang telah terdefinisi dengan nilai yang lainnya. Jika salah satu nilai dirubah, maka nilai yang lain juga perlu dirubah. Aplikasi spreadsheet merupakan program komputer yang membiarkan kita untuk membuat dan memanipulasi lembar kerja secara elektronik. Pada suatu spreadsheet, masing-masing nilai menempati suatu sel. Kita dapat mendefinisikan tipe data pada sel dan hubungannya dengan sel-sel yang lain.

Pada komputer pribadi, spreadsheet merupakan software aplikasi yang penting terutama untuk keperluan kantor. Hampir semua program untuk aplikasi perkantoran menyertakan spreadsheet di dalamnya, misalnya MS Excel (Microsoft Office), Lotus 1-2-3 (Lotus SmartSuite), Quatro Pro (WordPerfect Office), Applixware Spreadsheet (Applixware), StarCalc (StarOffice), KSpread (KOffice), Gnumeric (Gnome Office), dan Siag (Siag Office). Selain itu ada beberapa program spreadsheet yang berdiri sendiri atau tidak masuk ke dalam kelompok suatu aplikasi perkantoran, misalnya abs, Xxl, Abacus, Maxwell's Lemur, GNU Oleo, sc (spreadsheet calculator), dll.

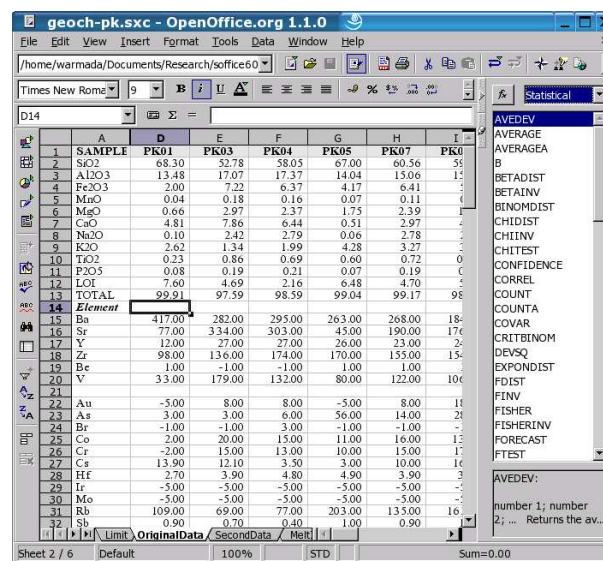
Pada artikel ini akan diuraikan mengenai 6 jenis program spreadsheet gratis berbasis GUI di Linux, meliputi StarCalc, Gnumeric, Siag, KSpread, abs, dan xxl.

5.2. Macam-macam spreadsheet

5.2.1. StarOffice/OpenOffice.org Calc

StarOffice atau OpenOffice.org Calc adalah spreadsheet bagian dari paket perkantoran StarOffice/OpenOffice.org. Aplikasi ini dapat disetarakan dengan aplikasi

¹Diambil dari artikel yang dipublikasi pada majalah InfoLinux 06/2001 [iww](#)



Gambar 5.1.: Tampilan program OpenOffice.org Calc

spreadsheet komersial yang lain, bahkan dari hasil pengujian salah satu majalah di Jerman (Rathert, dkk., 1999; Ehrmann, dkk., 2000), program ini menduduki peringkat terbaik untuk visualisasi dan terlengkap untuk jenis fungsi perhitungan dan analisis, di antara empat macam paket aplikasi perkantoran yang diuji (MS Excel, Lotus 1-2-3, Quatro Pro dan StarCalc).

Calc menawarkan fungsi-fungsi lebih dari suatu spreadsheet standard, memberikan kemudahan untuk menganalisis bilangan, membuat daftar dan menangani konversi Euro dengan kemudahan dan ketepatan. Suatu skenario manager akan membantu menganalisis dan memfilter data menurut bermacam-macam faktor, dan beberapa fungsi tata letak lanjut yang memudahkan tugas menampilkan data. Untuk pekerjaan akhir, dapat membuat bagan 3-D dengan hanya mengklik beberapa kali mouse. Dengan pelepasan StarOffice ke open source, menjadikan program ini semakin hari semakin baik. Program OpenOffice memiliki tipe lisensi GPL yang dapat didownload, diubah (source codenya) dan dicopy dengan bebas. Program ini dapat di download melalui situs <http://www.openoffice.org/> atau <http://www.sun.com/staroffice/>

Kemampuan baru yang dimiliki oleh program ini (StarOffice Calc 5.2) meliputi:

- Menggunakan teknologi pemakaian intuitif yang selalu berkembang (Improved IntuitiveUse) yang menawarkan tool dan fungsi yang diperlukan untuk pekerjaan yang sedang dilakukan, dengan mentidak-berlakukan semua operasi yang tidak diperlukan pada saat itu. Sebagai contoh, suatu pemilihan grafik

akan tidak mengijinkan operasi sel. Pada menu dan toolbar, perintah yang aktif hanya yang berhubungan dengan perintah dari aktifitas yang sedang berlangsung.

- Pilot data lanjut (Enhanced DataPilot): Sekarang sangat gampang menganalisis dan mengevaluasi data spreadsheet yang telah ada. Fitur ini memberikan pilihan secara cepat untuk memilih suatu sumber data termasuk pilihan layout lanjut.
- Template baru dan file contoh, seperti file konverter pengukuran universal (ConventionTable.sdc) yang dapat digunakan untuk mengkonversi pengukuran dan berat dari sistem metrik ke sistem pengukuran US atau British. Juga tersedia file template untuk mengelola stok (StarOffice Stocks Manager template) dan konverter nilai mata uang (CurrencyConverter.sdc) yang bisa diperbaharui baik secara manual maupun lewat internet.
- Euro Converter AutoPilot baru yang dapat digunakan untuk mengkonversi suatu nilai mata uang yang dimasukkan ke dalam mata uang Euro.
- Disempurnakan filter import dan export untuk dokumen MS Excel 97/2000, menyimpan spreadsheet kompleks yang berisi catatan sel, komentar, grafik, dan objek yang dilink (OLE) seperti pada file MS Excel 97/2000.

5.2.2. Gnumeric

Gnumeric merupakan bagian dari lingkungan desktop GNOME: suatu proyek untuk membuat suatu lingkungan desktop yang gratis dan mudah digunakan. Sebagaimana komponen GNOME yang lain, Gnumeric juga merupakan software gratis (Open-Source) yang memiliki jenis lisensi dibawah terminologi GNU GPL. Gnumeric akan dapat mengimport file-file dari Excel, 1-2-3, Applix, SYLK, XBase dan Oleo. Gnumeric dikembangkan untuk menggantikan spreadsheet komersial yang ada pada saat ini. Spreadsheet ini dikembangkan dengan kompilator GNU C (gcc) dan user interface didesain dengan menggunakan desainer Glade GUI. Program ini dapat didownload melalui situs <http://www.gnome.org/projects/gnumeric/>

Kemampuan program ini meliputi:

- 95% fungsi built-in Excel serta 100% fungsi untuk engineering, melakukan perhitungan antar sel maupun antar lembar kerja, nama dapat didefinisikan oleh user (untuk rentang dan fungsi), fungsi array, dan menggambar bangun sederhana (garis, lingkaran dan kotak).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		Measured	MolWeight	Oxide	Calculated CO2		Summe		
2	Mg(CO3)	0.000	84.314	40.3044	0	0.000	0		
3	Ca(CO3)	98.989	100.087	56.077	55.46209	43.52691	98.989		
4	Mn(CO3)	0.318	114.947	70.937	0.196247	0.121753	0.318		
5	Fe(CO3)	0.042	115.854	71.844	0.026045	0.015955	0.042		
6	Ba(CO3)	0.000	197.336	153.326	0	0	0		
7	CO2			44.010	55.684	43.665	99.349		
8	Summe	99.349							
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									

Gambar 5.2.: Tampilan program Gnumeric

- Autofill dan juga menebak isian secara otomatis, melakukan parsing isian user menjadi angka dengan format yang diinginkan.
- Tersedia alat bantu untuk analisis data seperti Anova, korelasi, kovarian, statistika deskriptif, F-Test untuk dua sampel, angka acak, sampling, dan z-Test untuk dua sampel.
- Mencetak dengan header dan format, mengatur format seperti pada program Excel, meliputi angka (umum, angka, mata uang, akutansi, tanggal, waktu, persentase, pecahan, scientific, teks, khusus, pilihan sendiri), perataan, jenis huruf, border, warna latar belakang sel, proteksi sel.
- Dapat mengimport dari format Excel, xml, html, csv, 1-2-3, GNU Oleo. Dapat mengekspor ke dalam format Comma Separated Values (csv), Data Interchange Format (dif), HTML baik versi 3.2 maupun 4.0, $\text{\LaTeX}$, $\text{\LaTeX 2\epsilon}$, DVI (melalui groff), Troff (me), PDF (melalui groff/gs), plain text, dan Excel 95. Gnumeric menggunakan format Gnumeric-XML.

5.2.3. KSpread

KSpread merupakan aplikasi spreadsheet dari paket perkantoran KOffice di lingkungan dekstop KDE. Pembuatan KSpread sampai sekarang belum selesai. Namun begitu, program ini sudah bisa digunakan walaupun masih ada fungsi matematik khusus yang masih belum dimasukkan. Sampai sekarang KSpread menawarkan semua fungsi yang didukung oleh bahasa pemrograman Python. Program ini mendukung

	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
S	53.484	20.812	21.084	0.013	0.018	12.201	0
Ag	0.046	0.089	0.068	99.473	0.099	48.518	40.378
Cd	0	77.987	77.966	0	0.059	0	0
Sb	0	0	0	0	0	0	0
Mn	0.007	0	0.015	0	0	0.002	0.006
Cu	0.023	0.033	0.046	0.203	0.52	0.799	0
Zn	0	0.021	0	0	0	0	0
Au	0	0	0.003	0	100.69	35.432	59.739
Te	0.007	0	0	0	0	0	0

Gambar 5.3.: Tampilan program KSpread

skripting yang saat ini bisa dikerjakan dengan bahasa Python, namun nantinya akan digantikan dengan KScript.

Saat ini KSpread memiliki suatu filter file sederhana untuk tabel yang dipisahkan oleh koma (csv). Program ini dapat didownload melalui situs <http://www.koffice.org/kspread/>

Kemampuan program ini:

- Meskipun program ini masih dalam tahap pengembangan, namun fungsi spreadsheet standard sudah bisa digunakan, begitu juga dengan pemakaian fungsi-fungsi matematika dan statistika. Dengan tampilan jendela penyuntingan rumus yang dilengkapi alat bantu secara on-line, membuat program ini sangat mudah untuk digunakan.
- Tersedia alat penyuntingan persamaan, jika ingin menambahkan suatu persamaan kompleks pada suatu sel tertentu.
- Fasilitas Undo, mengurutkan berdasarkan baris ataupun kolom (belum disertai kondisi).
- Tersedia ikon kalkulator, jika ingin menghitung angka-angka secara langsung.
- Mengimport/membaca file dari format KSpread, Comma Separated Values (csv), dan MS Excel 97 (xlm, xll, xlc dan xls). Program ini bisa menyimpan data dalam format KSpread dan csv.

5.3. Aplikasi spreadsheet dalam geologi

Pengolahan data *sheet* sangat sering digunakan untuk mengolah data geologi, khususnya mengolah data berbasis angka atau numerik, misalnya pengukuran kemiringan lereng, kedudukan bidang kekar, kadar logam, dll. Pengolahan data semacam ini secara sederhana membutuhkan perangkat lunak aplikasi statistika atau aplikasi khusus geologi.

Meskipun aplikasi statistika sudah disediakan oleh kalkulator ilmu (*scientific calculator*), namun dalam penerapannya sering terjadi banyak ketimpangan. Ada beberapa hal yang menyebabkan penggunaan kalkulator menjadi tidak efisien dalam mengolah data geologi, yaitu:

- pengolahan data melalui beberapa tahap perhitungan menyebabkan kesalahan rambatan (*propagation error*) dan kesalahan akibat manusia (*human error*) tidak bisa dihindarkan,
- kesulitan mengefisiensi waktu pengolahan karena data harus dimasukkan secara interaktif, sedangkan data pada pengolah *sheet* dimasukkan secara simultan atau dihasilkan dari perhitungan dengan model empiris.

Selain dengan menggunakan perangkat lunak pengolah *sheet* seperti pada uraian di atas, penggunaan perangkat lunak aplikasi statistik yang lebih spesifik dapat digunakan, misalnya SPSS, microstat, systat, dan S (komersial), R, geo-S, geo-R, dan Gstat (Open Source).

Tugas:

Dari hasil analisis mikrokimia dengan alat Electron Probe Micro Analyzer (EPMA), diperoleh data tentang suatu mineral dengan komposisi oksida sebagai berikut:

1. Gunakanlah program spreadsheet untuk menghitung dan menentukan nama mineral dari hasil analisis tersebut (lihat kembali materikuliah Kristalografi & Mineralogi untuk mengingat kembali mengenai proses perhitungan ini). Jawaban dibuat berkelompok yang terdiri dari 3 peserta.

jawaban dikumpul dalam disket

Tabel 5.1.: Komposisi kimia mineral 'X'

	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	64.3	64.58	64.71	65.09	64.98	64.4
CaO	<i>n.d</i>	0.01	<i>n.d</i>	<i>n.d</i>	<i>n.d</i>	<i>n.d</i>
K ₂ O	16.31	15.53	15.62	16.68	16	16.21
BaO	0.84	0.1	0.09	0.12	0.26	0.16
TiO ₂	0.01	0.01	0.01	0.01	<i>n.d</i>	<i>n.d</i>
FeO	0.01	0.05	0.02	0.02	0.02	<i>n.d</i>
MnO	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
Na ₂ O	0.22	0.16	0.14	0.2	0.14	0.13
Al ₂ O ₃	17.96	18.05	18.19	17.86	18.14	17.07
MgO	<i>n.d</i>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.07
Total	99.67	98.51	99.81	99.99	99.56	98.06

6. Pengolahan foto

6.1. Pendahuluan

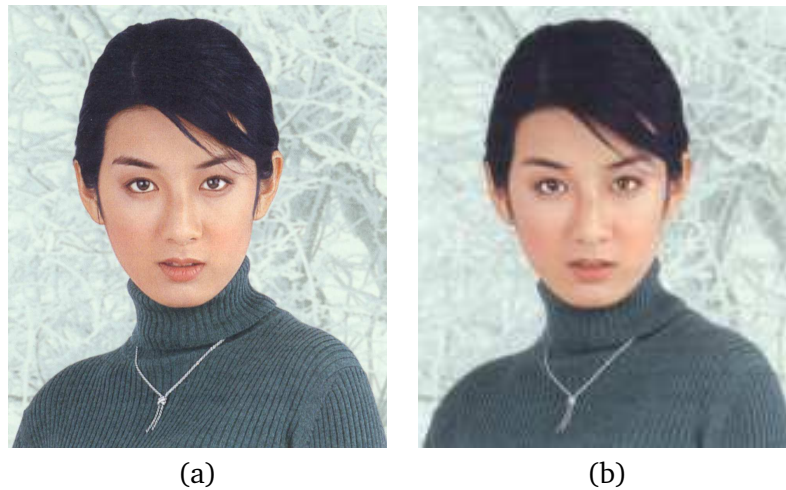
Salah satu bagian terpenting dari suatu laporan geologi adalah foto, baik foto singkapan maupun foto kenampakan morfologi suatu bentang lahan. Dalam teknologi informasi, foto merupakan suatu gambar raster yang kualitasnya sangat tergantung kepada faktor resolusi dan penskalaan (*scaling*)¹. Semakin tinggi resolusi, kualitas gambar semakin baik dan penskalaan tidak terlalu merubah kualitas gambar. Pada gambar dengan resolusi rendah, penskalaan terutama perbesaran gambar menyebabkan pengurangan terhadap kualitas gambar (perhatikan Gambar 6.1).

Kasus semacam ini sering dijumpai pada proses percetakan, dimana akan terjadi perbedaan antara resolusi yang tampak pada layar monitor dengan printer. Resolusi layar monitor biasanya berkisar antara 72 sampai 96 ppi (*pixels per inch*), sedangkan pada printer paling sedikit 600 dpi (*dots per inch*). Hingga saat ini resolusi layar monitor maksimum baru mencapai 200 ppi, sedangkan alat pencetak bisa mencapai ribuan dpi. Perbedaan resolusi ini menyebabkan kualitas hasil cetak yang diharapkan di layar menjadi jauh berbeda (Warmada, 2003). Pada modul ini akan dibahas teknik-teknik mengolah foto sehingga dihasilkan kualitas cetak yang memadai.

6.2. Kamera

Tahun 1839 disebut-sebut sebagai kelahiran fotografi, karena pada tahun itu mulai diperkenalkan proses fotografi yang tidak jauh berbeda dengan fotografi masa kini, meskipun sebenarnya sebelum tahun itu fotografi telah memiliki sejarah yang cukup panjang. Tercatat sejak jaman kejayaan filsuf Yunani telah ada pemikiran yang menjadi dasar proses fotografi (Wibowo, 1996). Sejak munculnya kamera pertama hingga sekarang telah muncul berbagai macam kamera. Kamera terus berkembang sesuai dengan kemajuan teknologi yang menyertainya. Perkembangan kamera dapat ditelusuri sebagai berikut:

¹ penskalaan artinya perbesaran dan pengecilan gambar



Gambar 6.1.: Gambar yang mengalami penskalaan resolusi. a) gambar dengan resolusi 600ppi. b) gambar dengan resolusi 96ppi.

- *View Camera*, merupakan kamera yang paling sederhana dan hanya berupa kotak yang memiliki lensa di sisi depan dan belakangnya.
- *Viewfinder Camera*, seperti *view kamera* hanya sudah dilengkapi dengan jendela pembidik (*viewfinder*) pada tubuh kamera dan dapat melakukan pemotretan lebih cepat.
- *Twin Lens Reflex (TLR) Camera*, merupakan kamera yang menggunakan dua lensa terpisah (atas dan bawah) seperti pada *viewfinder camera*. Perbedaannya adalah gambar yang diterima lensa atas diproyeksikan oleh cermin pemantul (reflektor) ke layar penampil di atas kamera.
- *Single Lens Reflex (SLR) Camera*, perbedaan utama kamera jenis ini dengan dua jenis sebelumnya adalah gambar yang diterima jendela pengamat/pembidik sama dengan gambar yang diterima lensa.

Keempat jenis kamera ini digolongkan ke dalam kamera analog, yang menggunakan film negatif atau positif sebagai alat menyimpan gambar. Beberapa komponen penting pada kamera analog, meliputi pengaturan lebar diafragma, pengaturan kecepatan bukaan diafragma, pengaturan kepekaan film (Burian & Caputo, 2001). Pemilihan jenis film tergantung kepada kamera dan jenis pencahayaan yang digunakan.

Berbeda dengan kamera analog yang menyimpan datanya dalam bentuk film, kamera digital menyimpan gambar dalam format digital (JPEG). Kualitas gambar yang dihasilkan oleh kamera ini tergantung kepada resolusi yang dapat disimpan oleh

kamera yang dinyatakan dengan satuan *megapixels*. Semakin tinggi resolusi kamera, semakin baik kualitas gambar yang dapat diambil. Kamera dengan resolusi 3 Megapixels dapat diuraikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} 3 \text{ Megapixels} &= 2 \cdot 1,5 \text{ Megapixels} \\ &= 2 \times 1024 \cdot 1,5 \times 1024 \text{ pixels} \\ &= 2048 \cdot 1536 \text{ pixels} \end{aligned}$$

Jadi, gambar yang diambil dengan kamera digital beresolusi 3 Megapixels akan diperoleh gambar dengan ukuran 2048×1536 pixels dengan resolusi standard 72 ppi dan format JPEG. Gambar ini dapat dicetak pada printer standard (300–600 dpi) dengan ukuran 8,7–17,3 cm.

6.3. Format gambar

Dalam grafik komputer dikenal ada dua macam format gambar, yaitu gambar raster atau bitmap dan gambar vektor (Warmada, 2003). Gambar raster merupakan sebuah berkas atau struktur data yang berisi susunan persegi dari suatu piksel atau titik warna pada suatu monitor komputer, kertas atau devais keluaran yang lain. Kualitas sebuah gambar raster ditentukan oleh jumlah total piksel yang dikenal dengan istilah resolusi, dan sejumlah informasi pada tiap piksel yang sering disebut kedalaman warna (*color depth*).

Gambar raster dapat dikelompokkan menjadi 3 macam, yaitu: bitmap tidak terkompres, bitmap terkompres, dan PostScript. Ketiga macam format ini mempunyai karakteristik yang berbeda satu sama lainnya. Pada gambar bitmap tidak terkompres matriks yang terdiri dari kedalaman warna disimpan apa adanya, sehingga kualitas gambar yang disimpan sama dengan kualitas gambar ketika diambil (scan atau foto digital). Macam-macam format ini antara lain bmp, tiff, dan ras. Gambar bitmap terkompres susunan matriksnya masih sama dengan bitmap tidak terkompres, bedanya terletak pada teknik pengompresan dari tiap-tiap gambar. Gambar yang dikompres dengan format JPEG (*joint picture enhanced graphics*) sering disebut dengan istilah *loosy compression* menghasilkan gambar dengan kualitas yang hampir sama dengan gambar tidak terkompres, hanya saja beberapa bagian telah mengalami penghilangan yang tidak dapat dibedakan dengan mata. Kompresi seperti ini hanya baik pada gambar yang terdiri atas jutaan warna (*true color bitmap*), misalnya foto, namun sangat jelek pada gambar yang hanya terdiri dari 256 warna (seperti hasil gambar sketsa/kanvas). Gambar yang hanya terdiri

dari 256 warna hanya baik dikompres dalam format GIF (*graphic interchange format*) atau PNG (*portable network graphics*). Gambar terformat PostScript®, seperti EPS (*Encapsulated PostScript*) memiliki dua lapis gambar di luar header. Lapis paling bawah adalah raster yang biasanya menggunakan format tiff, sedangkan lapis atasnya adalah perintah-perintah postscript yang hanya dikenal oleh printer atau penampil postscript seperti gv, Gsview atau ghostview.

Berbeda dengan sebuah grid dari kumpulan piksel, sebuah gambar vektor terdiri atas bentuk, lengkung, garis, dan teks yang secara bersama-sama membentuk sebuah gambar. Semua komponen vektor ini dibentuk dengan suatu rumusan matematika untuk mendeskripsinya. Pada gambar raster hanya berisi informasi warna dari tiap piksel, sedangkan pada gambar vektor mengandung informasi di mana komponen gambar ditempatkan. Ini yang dikenal dengan istilah *object-oriented*.

6.4. Mengolah gambar dengan GIMP

GIMP adalah suatu akronim untuk **GNU Image Manipulation Program**. Program ini merupakan perangkat lunak yang didistribusikan secara gratis, yang secara garis besar berguna untuk beberapa macam keperluan, misalnya mengolah foto, mengkomposisi gambar (citra) dan membuat gambar. Gimp juga merupakan salah satu program grafis yang mempunyai beragam kemampuan. Program ini dapat digunakan sebagai suatu program gambar sederhana, program pengolah foto yang sangat baik, suatu sistem yang dapat diproses secara on-line, membuat gambar bersekala besar, konversi format gambar, dll.

Gimp di samping memiliki alat bantu yang sudah umum dikenal pada program-program pengolah gambar yang lain, juga memiliki plug-ins atau filter yang dapat digunakan untuk membuat berbagai macam efek gambar. Plug-ins ini dipublikasikan pada situs-situs internet yang berkaitan dengan gimp. Situs <http://www.gimp.org> adalah salah satu tempat yang sangat baik untuk dapat memperoleh keterangan dan perkembangan lengkap dari program ini. Di samping itu terdapat banyak fungsi dalam gimp yang dapat dijalankan secara otomatis. Bahasa script yang digunakan untuk menjalankan fungsi-fungsi ini dikenal dengan nama Script-Fu. Macam-macam kemampuan yang dimiliki oleh program ini adalah sebagai berikut:

- alat gambar yang lengkap, seperti kuas, pensil, kuas semprot, alat tinta, dan *cloning*.
- manajemen/pengelolaan memori terpetak, sehingga ukuran gambar hanya dibatasi oleh ruang sisa pada disk.

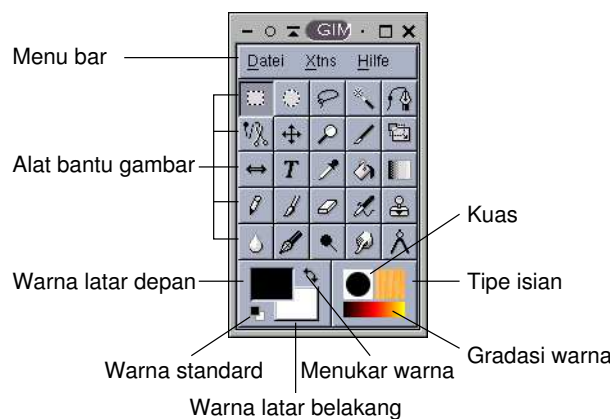
- sampling subpiksel untuk semua alat gambar, memperbolehkan *anti-aliasing* dengan kualitas tinggi.
- dukungan lengkap untuk kanal alpha (transparan).
- lapis dan kanal.
- rangkaian prosedur untuk memanggil fungsi dalam Gimp dari program eksternal seperti Script-Fu, Perl-Fu (Perl scripts) dan Python-Fu (Python scripts).
- undo dan redo ganda, terbatas pada ruang sisa pada disk.
- alat bantu transformasi gambar seperti putar, skala, geser dan balik.
- berbagai macam dukungan format file seperti PostScript, JPEG, GIF, PNG, XPM, TIFF, TGA, MPEG, PCX, BMP, dll (lihat Tabel 6.1).
- alat-alat bantu yang dapat dipilih, seperti segiempat, elips, gambar bebas, fuzzy, bezier dan pemotong inteligen.
- plug-ins yang menyediakan penambahan beberapa format file atau filter efek dengan mudah.
- dan masih banyak lagi.

6.4.1. Alat bantu pada Gimp

Sekilas tentang fungsi kotak alat bantu. Banyak alat bantu yang telah diperkenalkan melengkapi pilihan yang menunjang kemampuan berikutnya dari alat sekarang. Dengan kombinasi tombol **(Shift-Ctrl+T)** dapat ditampilkan jendela dialog. Alat bantu dalam program Gimp dapat dibagi menjadi enam kelompok (perhatikan Gambar 6.2), yaitu:

- alat bantu pilihan (*selection tools*)
- alat bantu menggambar (*paint tools*)
- alat bantu sunting dan tampilkan (*edit and view*)
- alat bantu ubah transform tools
- alat bantu teks dan jenis huruf
- alat bantu kuas, gradien, palet, dan pola

Di samping alat bantu yang disimbolkan dalam bentuk icon di atas, Gimp juga memiliki alat bantu baik dalam bentuk “*pulldown menu*” yang dapat dipanggil dengan mengklik tombol maus kanan di atas gambar yang sedang disunting, maupun dalam bentuk perintah pendek (*Shortcut Command*). Contohnya, untuk mengcrop



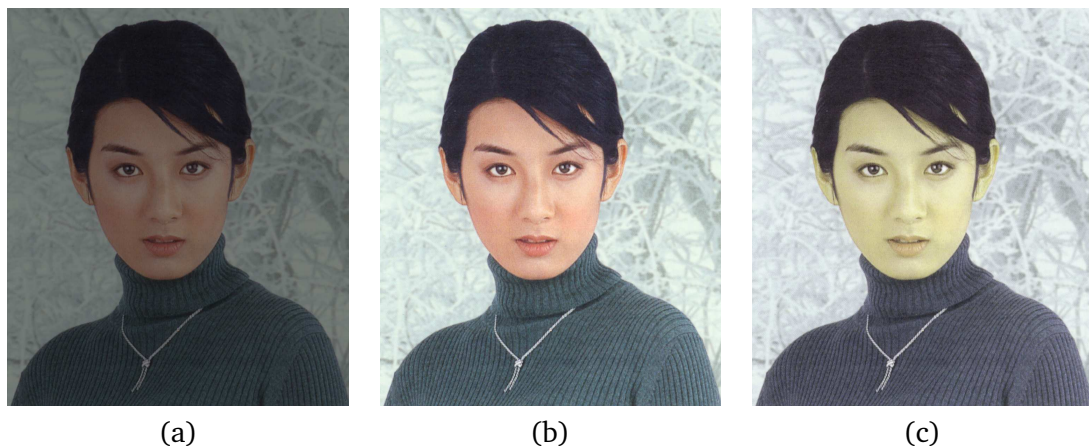
Gambar 6.2.: Alat bantu pada Gimp

suatu gambar cukup dengan kombinasi tombol **(Shift+C)**, sedangkan untuk menyimpan gambar yang sedang disunting bisa dengan menggunakan “*pulldown menu*” dengan cara klik maus kanan lalu **File** **►** **Save/Save As...** atau perintah **Save** dapat diganti dengan perintah pendek **(Ctrl+S)**. Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat dalam GUM (Gimp User Manual).

6.4.2. Mengatur pencahayaan

Pengaturan pencahayaan diperlukan bila gambar tidak cukup jelas dilihat baik pada media cetak maupun layar monitor, misalnya kualitas hasil scan yang agak buram atau kekurangan cahaya saat memotret. Pengaturan ini meliputi “Color Balance”, “Brightness-Contrast”, dan “Hue-Saturation”. “Color Balance” (**Image** **►** **Colors** **►** **Color Balance...**) dapat digunakan untuk mengatur keseimbangan warna antara CMY (*Cyan-Magenta-Yellow*) dan RGB (*Red-Green-Blue*) dari suatu lapis aktif atau gambar terpilih. “Brightness-Contrast” (**Image** **►** **Colors** **►** **Brightness-Contrast...**) berguna untuk mengatur tingkat terang dan kontras suatu gambar aktif. Alat bantu “Hue-Saturation” (**Image** **►** **Colors** **►** **Hue-Saturation...**) berguna untuk mengatur tingkat *hue*, saturasi dan kecerahan dari suatu rentang warna pada gambar atau lapis terpilih (perhatikan Gambar 6.3).

Selain dengan cara di atas, pengaturan pencahayaan gambar dapat dilakukan dengan filter khusus untuk membuat gambar tampak lebih tajam, yaitu “Sharpen” yang dapat dilakukan dengan menekan perintah **Filter** **►** **Enhance** **►** **Sharpen...**



Gambar 6.3.: Contoh pengaturan cahaya gambar. a) hasil scanner. b) gambar yang telah diset “brightness-contrast”-nya. c) gambar yang telah diset “hue-saturation”-nya

6.4.3. Mengatur warna

Gimp menyediakan 2 kemungkinan untuk mengatur warna latar depan dan latar belakang, yaitu dengan Palette dan Color Picker. Tekanlah kombinasi tombol **Ctrl-P** untuk membuka palette warna. Jika ingin menambahkan warna baru ke dalam palette warna, anda dapat menggunakan Color Picker. Gerakkan Color Picker di sekitar grafik dan anda akan melihat perubahan warna pada kotak kecil latar depan. Anda dapat juga memberikan nilai warna secara langsung. Untuk itu klik dua kali icon untuk latar depan lalu berikan nilai warna pada kotak dialog. Warna baru berikutnya dapat anda tambahkan sebagai icon baru pada palette warna, yang kemudian dapat anda simpan sebagai nama file tertentu.

Tip: Dalam merancang gambar untuk suatu Situs-Internet warna latar belakang dapat diberikan dengan nilai Hexadesimal (0-9 A-F), seperti “#FFFFFF” untuk warna putih. Dalam Gimp nilai Hexadesimal dapat ditunjukkan melalui “Color Info”. Nilai ini terletak antara 0 sampai 255 untuk tiap warna, dengan warna yang paling gelap disimbolkan oleh nilai 0. Dalam gambar abu-abu memberikan arti bahwa 0 berarti hitam dan nilai 255 putih. Daftar lengkap palette warna dapat dilihat di <http://warmada.pandu.org/Graphics/gimp/palette.html>.

6.4.4. Mentransformasi gambar

Mentranformasi sebuah atau sebagian dari gambar dapat meliputi memindah, mengcrop, memutar, menskala, menggeser, mengubah dan membalik gambar. Perin-

tah ini lebih mirip dengan perintah "Effects" pada Photoshop. Anda dapat memutar, menskala, menggeser atau mengubah bagian gambar yang anda pilih. Dalam program Gimp perintah ini dapat dipanggil dengan *pulldown menu*. Sebagai contoh pada perintah memutar (*rotate*), anda dapat memutar bagian yang anda pilih secara manual.

6.4.5. Layering (lapis gambar)

Gimp memiliki fasilitas penyuntingan gambar dalam bentuk *layer* (lapis). *Layering* dapat diumpamakan sebagai suatu tumpukan kertas kalkir/kertas tembus cahaya yang masing-masing lapisnya mempunyai bagian gambar yang berbeda, sehingga kalau bagian ini diedit (digeser, dihapus, dll) tidak akan mengganggu bagian gambar yang lain. Fasilitas ini sekarang banyak dipakai untuk mengatur posisi bagian-bagian tertentu dari gambar dan membuat efek-efek khusus suatu gambar, misalnya menambahkan bayangan suatu teks. Untuk menyunting gambar secara berlapis terlebih dahulu harus membuka jendela "Layer/Channel" (Layers ▸ Layers, Channels & Paths...). Jika jendela ini tidak dibuka, maka hanya lapis gambar yang aktif saja yang dapat disunting.

Pada jendela dialog "Layer/Channel" ini dapat dilihat lapis aktif yang dapat disunting. Fasilitas penyuntingan pada jendela ini meliputi membuat lapis baru, menduplikasi lapis yang sudah ada, menghapus lapis, mengatur urutan lapis yang satu terhadap yang lain, menampilkan atau tidak menampilkan lapis. Gimp hanya menyediakan tiga macam format gambar untuk menyimpan gambar yang terdiri atas beberapa lapis, yaitu XCF, GIF dan PNG. Jika gambar disimpan ke dalam format selain ketiga format ini maka hanya lapis aktif saja yang akan tersimpan. Untuk menyimpan semua lapis gambar ke dalam format lain semua lapis harus disatukan (*flatten*) terlebih dahulu (Layers ▸ Flatten Image). Gambar yang sudah di-*flatten* dapat disimpan ke dalam semua format gambar yang didukung oleh Gimp.

6.4.6. Konversi file gambar yang dimiliki Gimp

Gimp memiliki filter gambar yang sangat lengkap, ini tergantung kepada seberapa banyak *plug-ins* yang terinstal. Hampir semua format gambar dapat dibaca dan dikonversi ke dalam format lain dengan program ini. Format asli Gimp adalah XCF².

²Format ini mendukung layering dan informasi khusus dari Gimp. Jika gambar disimpan ke dalam format lain, semua informasi khusus Gimp akan hilang dan gambar tidak dapat disunting dalam layer lagi (GIF mendukung layer dimana setiap layer menjadi sebuah bingkai dalam animasi GIF). Perlu diingat bahwa hanya lapis yang aktif saja yang tersimpan jika gambar disimpan ke dalam format selain GIF dan XCF. Pada Gimp versi baru gambar akan secara otomatis diflatten jika akan

Untuk mengkonversi gambar ke format gambar yang lain dapat dilakukan dengan perintah **File** > **Save As...** dengan mengklik tombol mouse kanan. Jika pada menu **Determine File Type** tidak di set, maka hasil konversi gambar yang tersimpan tergantung dari ekstensi file yang diketik saat menyimpan, misalnya **hello.gif** akan secara otomatis tersimpan dalam format GIF. Jenis-jenis format gambar yang dapat didukung Gimp adalah sebagai berikut:

Tabel 6.1.: Macam-macam format gambar yang didukung Gimp

Format	Tulis	Baca	Format	Tulis	Baca
BMP	X	X	PCX	X	X
BZIP	X	X	PIX	X	X
CEL	X	X	PNG	X	X
FAXG3		X	PNM	X	X
FITS	X	X	PSD		X
FLI/FLC	X		PostScript	X	X
GBR	X	X	SGI	X	X
GICON	X	X	SNP		X
GIF	X	X	SunRas	X	X
GZIP	X	X	TARGA	X	X
HEADER	X		TIFF	X	X
HRZ	X	X	XCF*	X	X
JPEG	X	X	XWD	X	X
MPEG		X	XPM	X	X
PAT	X	X	URL	X	X

6.5. Penambahan atribut gambar

Foto sering tidak dapat dimengerti jika tidak disertai atribut gambar, apakah skala, keterangan teks atau bangun geometri yang dapat membuat si pembaca lebih terkonsentrasi pada objek foto yang sedang diamatinya. Contohnya, foto singkapan batuan yang terkekarkan atau foto mikroskop menjadi tidak terfokus jika tidak dilengkapi garis-garis kekar (bangun geometri), teks dan skala. Penambahan atribut gambar ini dapat dilakukan dengan beraneka macam program, seperti Word-Processor, Corel-Draw, Photoshop, PhotoPaint, Gimp, ImageMagick, Xfig, dan $\text{\LaTeX}$.

Tiap-tiap program ini mempunyai keunggulan sendiri-sendiri untuk suatu jenis atribut gambar yang akan ditempelkan pada gambar. Sebagai contoh, menambah teks sangat baik dilakukan dengan program CorelDraw, Xfig dan $\text{\LaTeX}$, meskipun

disimpan ke format lain.

program lain pun dapat juga melakukannya.

6.5.1. Menambah teks

Teks, khususnya yang dibuat dengan huruf bertipe TTF (*True Type Fonts*) merupakan suatu data vektor. Penambahan teks pada suatu gambar raster dapat menyebabkan teks menjadi raster (*rasterize*) atau teks tetap sebagai data vektor. Pada gambar yang tidak akan mengalami penskalaan (perbesaran atau pengecilan), teks sebagai raster tidak menjadi masalah. Resolusi teks yang dibuat harus sama dengan resolusi yang akan ditampilkan. Teks sebagai raster ini biasanya dihasilkan oleh foto editor, seperti Photoshop, PhotoPaint, Gimp dan ImageMagick.

Penambahan teks sebagai data vektor dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa program, seperti Word-Processor, CorelDraw, Xfig dan $\text{\LaTeX}$. Di antara keempat program ini, penambahan teks dengan Word-Processor yang paling jelek, karena kedudukan teks terhadap gambar sering melenceng, kecuali posisi teks dan gambar dipaksa, misalnya dengan menyilang kotak “Keep position” dan “Keep size”. Pada CorelDraw teks yang ditambahkan akan tetap sebagai komponen vektor dan jika digabung pada teks, misalnya pada OpenOffice.org Writer, gambar yang digabung akan dilink sebagai OLE (*Object Linking and Embedding*) yang akan mempertahankan status teks sebagai data vektor.

Penambahan teks dengan Xfig atau $\text{\LaTeX}$ mempunyai prinsip yang sangat berbeda dengan program yang telah dibahas di atas. Xfig merupakan perangkat lunak penyunting vektor yang dapat diintegrasikan secara langsung dengan $\text{\LaTeX}$, sehingga semua data vektor yang dibuat oleh Xfig akan dipreservasi menjadi data vektor pada $\text{\LaTeX}$. Penskalaan gambar pada naskah $\text{\LaTeX}$ tidak akan mempengaruhi kualitas dan ukuran huruf yang digunakan.

6.5.2. Menambah skala garis

Penambahan skala garis (*bar scale*) pada foto biasanya sering dilakukan pada foto yang diambil dari mikroskop. Seperti halnya teks, garis juga merupakan data vektor sehingga pemilihan perangkat lunak untuk menambah skala pada gambar juga harus mempertimbangkan pembahasan di atas. Namun yang lebih penting adalah menghitung panjang dan lebar skala sehingga sinkron baik terhadap panjang gambar maupun ukuran huruf yang dipakai untuk memperjelas skala. Misalnya, gambar yang mempunyai lebar 628 pixels tidak akan sinkron jika diberikan skala garis dengan ukuran 20 x 4 pixels. Bandingkan gambar berikut ini.

6.5.3. Menambah bentuk-bentuk geometri

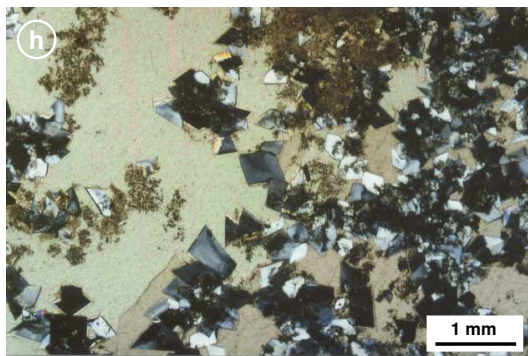
Bentuk-bentuk geometri di sini meliputi garis, lingkaran, persegi, segitiga, dan poligon. Seperti halnya skala garis, komponen ini juga termasuk dalam data vektor sehingga penggambaran komponen ini harus dibuat sedemikian rupa sehingga data ini tidak berubah menjadi data raster. Hanya ada sebuah format grafik yang membiarkan data vektor dan data raster terpilah pada berkas secara sendiri-sendiri, yaitu EPS (lihat kembali bagian 6.3). Sayangnya tidak satu pun pengolah kata dapat membaca semua jenis EPS dengan benar. Pada kasus ini gambar dapat juga disimpan dalam bentuk metafile, seperti format CGM atau WMF. Selain fasilitas OLE yang dimiliki perangkat lunak berbasis Microsoft Windows®, kedua format ini dapat mempertahankan data vektor tetap menjadi data vektor.

Pada Gambar 6.4 dapat dibandingkan penambahan bentuk-bentuk geometri pada gambar raster (foto) baik dalam format vektor maupun raster. Dari gambar tersebut dapat disimpulkan, semakin tinggi resolusi gambar, semakin baik kualitas data vektor yang ditambahkan pada gambar raster yang mengalami rasterisasi. Penentuan resolusi ini dapat mengacu pada pedoman format gambar raster (TIFF) dari majalah terbitan Elsevier (Amsterdam), yaitu gambar sketsa atau grafik yang terdiri dari garis dapat dibuat dengan resolusi minimum 1000dpi; foto tanpa teks atau poligon dengan resolusi minimum 300dpi; kombinasi foto dan garis dengan resolusi minimum 500dpi (Warmada, 2003).

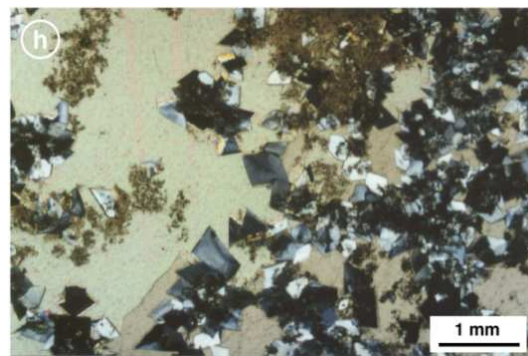
Latihan³:

1. Scan foto apa saja berukuran kartupos (bentang alam, foto mikroskop atau kartu pos).
2. Atur “brightness-contrast” dari foto tersebut sehingga diperoleh foto digital dengan kualitas memadai.
3. Tambahkan teks “keterangan foto” pada foto tersebut.
4. Seandainya foto tersebut merupakan hasil foto dengan mikroskop dengan lebar bidik lensa kamera 1,625 mm (pada objek); tambahkanlah skala garis (*scale bar*) pada foto tersebut dengan ketelitian 1-2 piksel.
5. Jika tugas dikumpulkan dalam format *softcopy*, berilah nama berkas hanya dengan (nomor mahasiswa)-(nomor berkas).*ext*, misalnya: (15678-16777-17854-14560).

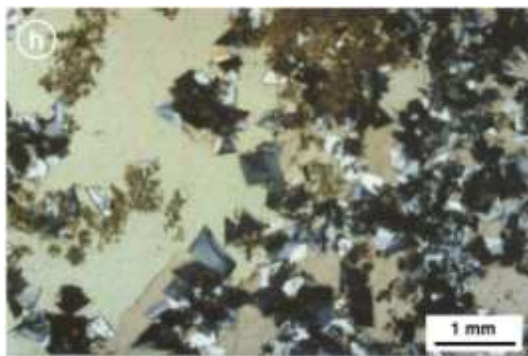
³Latihan ini dapat dikerjakan secara KELOMPOK dengan 3 orang/keompok dan dikumpulkan dalam format baik *hardcopy* maupun *softcopy*. Anda diwajibkan untuk menggunakan perangkat lunak Open Source, seperti GIMP atau ImageMagick untuk mengolah foto-foto tersebut (sertakan semua file tiap-tiap langkah yang dilakukan). Penggunaan perangkat lunak komersial harus mencantumkan nomor lisensi atau jika tidak akan mengalami pengurangan nilai 10%.



(a)



(b)



(c)

Gambar 6.4.: Penambahan atribut vektor pada gambar raster. a) gambar vektor tanpa rasterisasi. b) dan c) gambar vektor yang mengalami rasterisasi masing-masing 300 dan 150 ppi.

[01].tif, 15678-16777-17854-14560-02.tif, 15678-16777-17854-14560-00.sxw, dll.

7. Visualisasi data 2-dimensi

7.1. Pendahuluan

Data yang demikian besar jumlahnya seringkali sulit digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah geologi, contohnya data hasil pengukuran komposisi oksida batuan dari beberapa lokasi pengamatan. Meskipun terdapat analisis kecenderungan secara statistik yang dapat diterapkan untuk data semacam ini, namun pola yang terbaca melalui diagram atau grafik akan memberikan pemahaman yang lebih terhadap suatu data. Kombinasi teknik statistika inferensial dan visualisasi data dalam grafik dapat memberikan interpretasi yang lebih komprehensif suatu data.

Pada visualisasi data dua dimensi ini akan dibahas mengenai bermacam-macam grafik plot yang dapat digunakan untuk memplot data geologi, seperti diagram skater (*scatter diagram*), diagram probabilitas (*probability plot*), diagram segitiga (*ternary diagram*), diagram piramida (*pyramidal plot*), diagram batang, diagram mawar (*rose diagram*), dan analisis vektor 2-D.

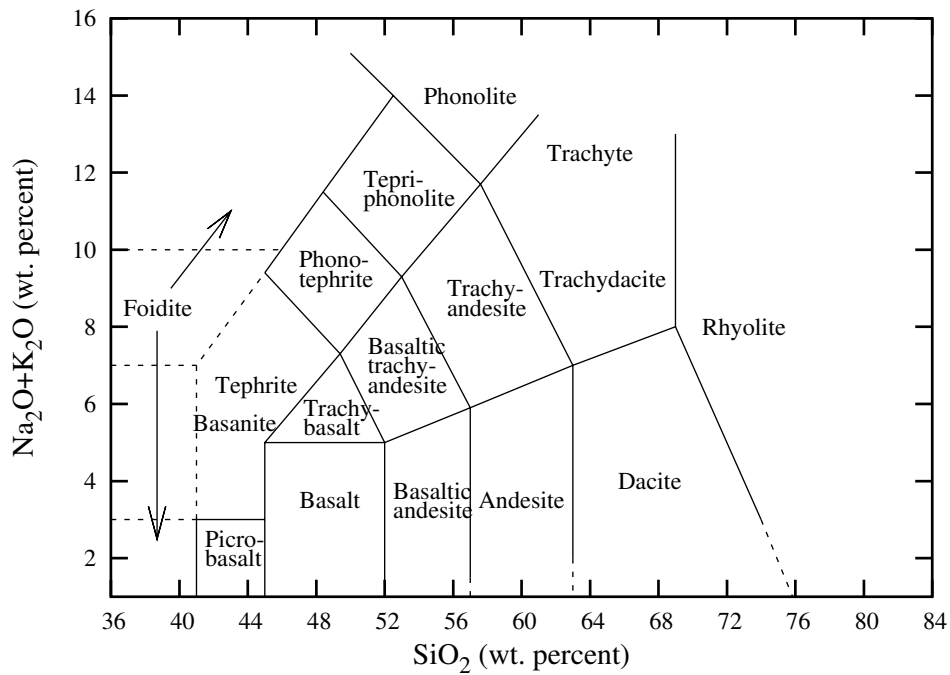
7.2. Pengeplotan data

7.2.1. Diagram skater

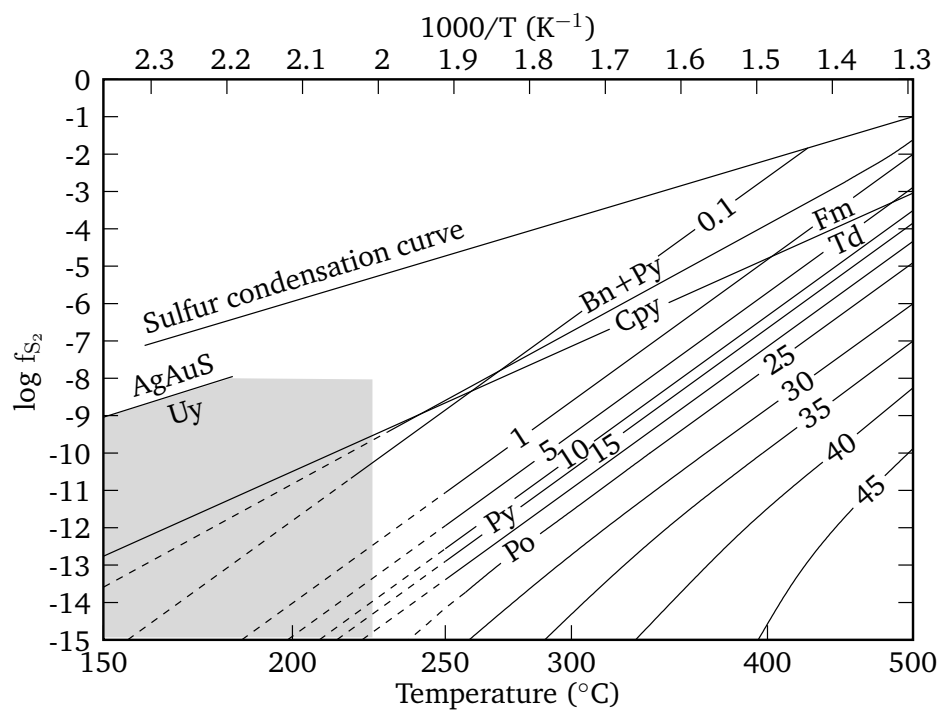
Diagram ini merupakan diagram yang paling sederhana, hanya menggunakan dua sumbu sistem koordinat kartesius. Namun pada penerapannya bisa lebih kompleks dari sekadar diagram XY, misalnya pada diagram stabilitas mineral yang terdiri dari persamaan-persamaan matematik.

7.2.2. Diagram probabilitas

Diagram probabilitas digunakan untuk menggambarkan suatu nilai dan kemungkinan kehadirannya (probabilitas kehadirannya). Diagram ini terdiri dari sumbu X dalam skala aritmatika dan sumbu Y yang menunjukkan nilai persentase yang dihitung dari suatu distribusi normal.



Gambar 7.1.: Klasifikasi batuan dengan diagram TAS



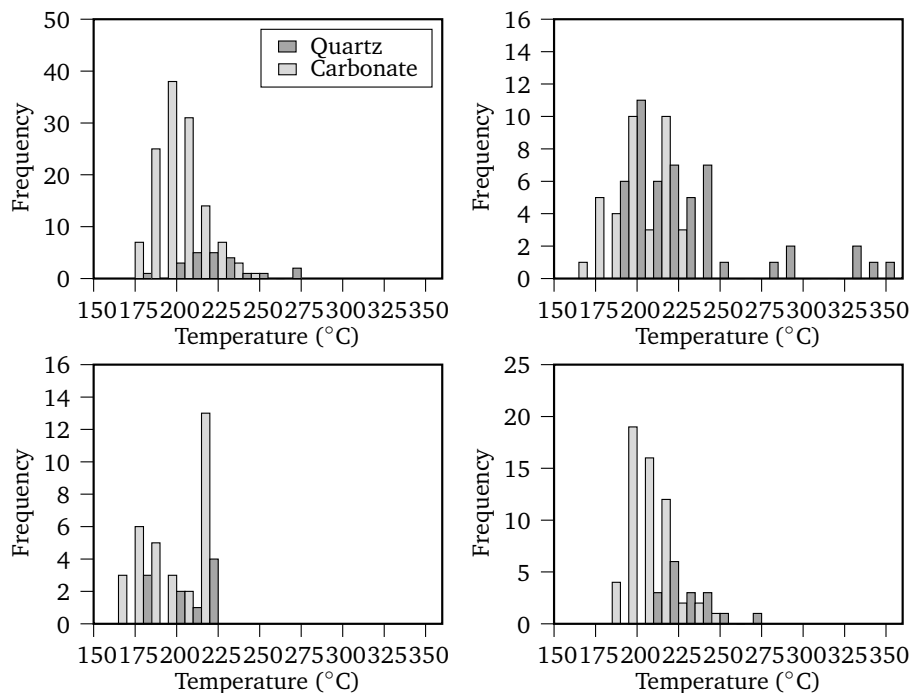
Gambar 7.2.: Diagram stabilitas mineral

7.2.3. Diagram batang

Diagram batang merupakan suatu diagram yang terdiri atas balok-balok yang panjangnya menggambarkan frekuensi dari suatu variabel atau rentang data. Sumbu horisontal menunjukkan rentang dari suatu data, yang dapat dihitung dengan menggunakan kaidah Sturges (lihat persamaan 7.1, Wellmer, 1998), sedangkan sumbu vertikal menyatakan frekuensi dari rentang data.

$$\text{class interval } (\Delta) = \frac{\text{range } R}{1 + 3.322 \cdot \log n} \quad (7.1)$$

Diagram ini banyak digunakan di dalam penggambaran data yang diolah secara statistik. Ada beberapa varian dari diagram ini, seperti stackbar, errorbar, dan histogram.

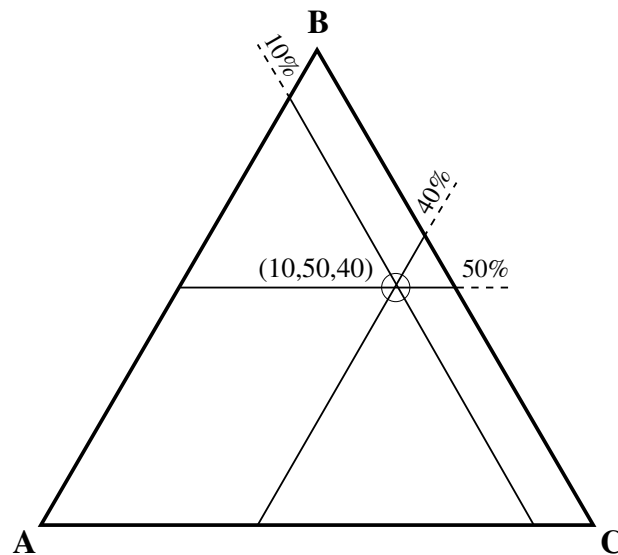


Gambar 7.3.: Diagram batang yang digambar dengan gnuplot

7.2.4. Diagram segitiga dan piramida

Diagram segitiga dan piramida merupakan diagram untuk memplot proporsi komposisi (kimia) dari suatu material yang terdiri dari tiga atau empat komponen (*end-member*) yang dinyatakan dalam persen. Diagram ini banyak dipakai pada bidang ilmu material dan geologi (petrologi/mineralogi).

Berbeda dengan ketiga diagram di atas, diagram segitiga dan piramida terdiri dari 3 ujung (segitiga), yang tiap ujungnya merupakan variabel yang diplot. Nilai dari tiap-tiap variabel adalah nilai hasil normalisasi ke dalam 100% (lihat Mustard & Richardson, 1990). Contohnya, CaCO_3 :45%; MgCO_3 :30%; dan MnCO_3 :10%. Hasil normalisasi nilai ini meliputi: CaCO_3 :53%; MgCO_3 :35%; dan MnCO_3 :12%.



Gambar 7.4.: Prinsip pengeplotan diagram segitiga

Prinsip pemplotan baik pada diagram segitiga maupun piramid (piramidal plot) menggunakan pendekatan geometri segitiga dan tetraeder (piramida segitiga). Langkah-langkah yang harus dilakukan pada pemplotan diagram ini adalah sebagai berikut: (lihat juga penjelasan lain di <http://pandu.dhs.org/CCC/mod07.html>).

- Normalisasi data. Data yang diambil dari analisis kadang terdiri atas lebih dari tiga atau empat variabel. Data dari variabel yang terpilih harus dinormalisasi ke dalam jumlah 100% terlebih dahulu (pada script di bawah ini tidak perlu melakukan normalisasi).
- Konversi dari data komposisi ke format Kartesius (X,Y) atau (X,Y,Z). Hal ini dapat dilakukan secara otomatis oleh gnuplot dengan menambahkan baris persamaan di bawah ini (lihat juga Lampiran A.2).

$$X = 100 - (A + B) + B \cdot \cos(60) \quad (7.2)$$

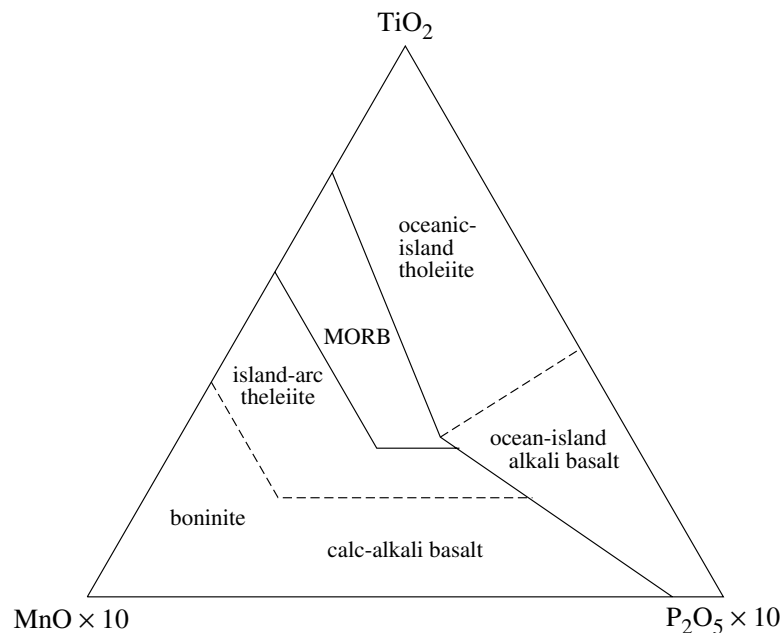
$$Y = B \cdot \sin(30) \quad (7.3)$$

Penulisan perintah pada script gnuplot:

```

gx(a,b,c) = c + b * cos(60)
gy(a,b,c) = b * sin(60)
#
# pada perintah plot
plot "file_data" u (gx($1,$2,$3)):(gy($1,$2,$3)) w points

```

**Gambar 7.5.:** Contoh penerapan diagram segitiga

Pada diagram piramida, konversi 4 variabel ke koordinat XYZ dapat dilakukan dengan persamaan berikut ini (nilai sudut 54.7 dibulatkan dari 54.7356103172453 dan 70.5 dari 70.5287793655093 (dihitung dengan program kalkulator kcalc)¹⁾:

$$X = C + A \cdot \cos(60) + D \cdot \cos(60) \quad (7.4)$$

¹Penghitungan nilai ini diinspirasi dari buku "Darstellende Geometrie für Ingenieure" (Ilmu ukur lukis untuk teknik) karangan Fucke, R., Kirch, K., dan Nickel, H. (1992). Buku ini sangat bagus untuk belajar ilmu ukur lukis bidang maupun ruang (dalam bahasa Jerman).

$$Y = A \cdot \cos(30) + D \cdot \frac{\sin(54.7)}{\tan(70.5)} \quad (7.5)$$

$$Z = D \cdot \sin(54.7) \quad (7.6)$$

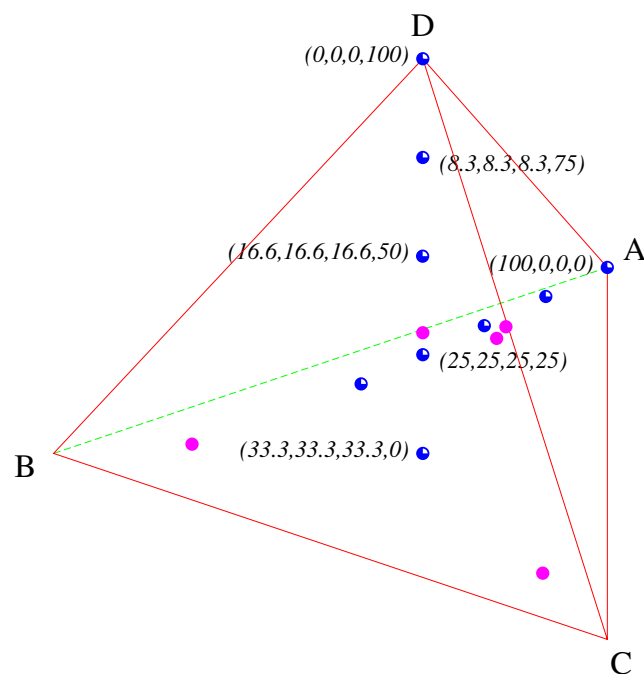
Penulisan perintah pada script gnuplot:

```

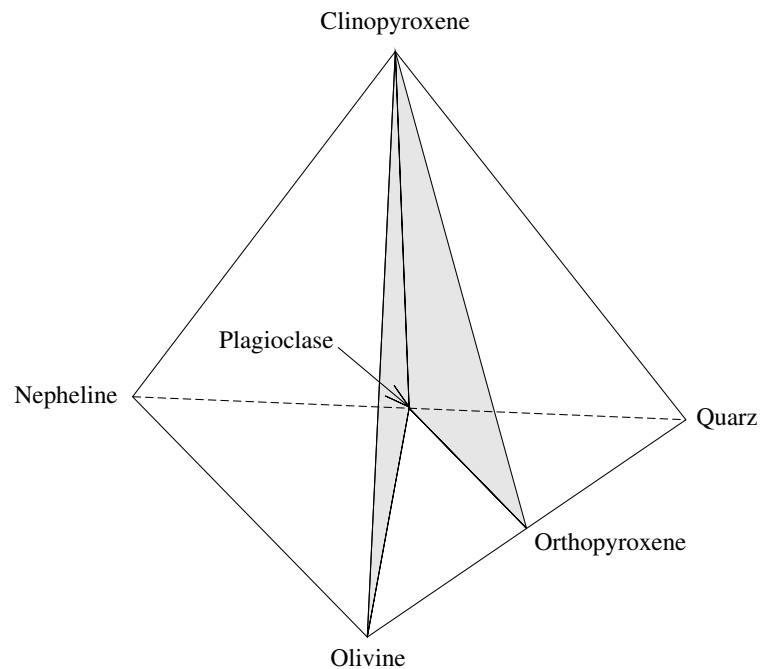
gx(a,b,c,d) = c + a * cos(60) + d * cos(60)
gy(a,b,c,d) = a * sin(60) + d * sin(beta) / tan(alpha)
gz(a,b,c,d) = d * sin(beta)

alpha = 70.5287793655093 beta = 54.7356103172453
#
# pada perintah splot
splot "4mesh-1.dat" using \
(gx($1,$2,$3,$4)):(gy($1,$2,$3,$4)):(gz($1,$2,$3,$4)) \
with points

```



Gambar 7.6.: Contoh diagram piramida



Gambar 7.7.: Contoh penggunaan diagram piramida dalam geologi

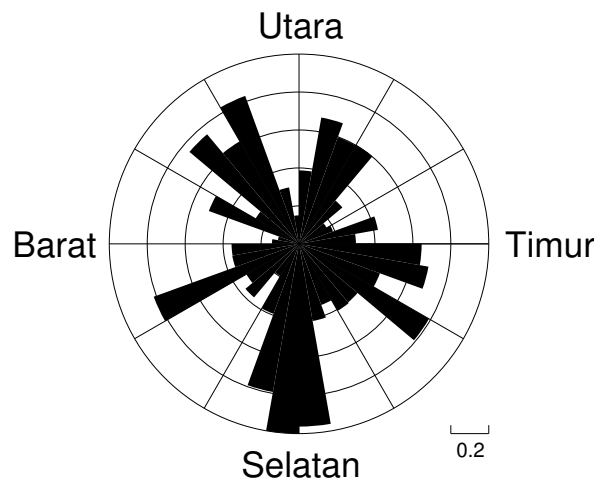
7.3. Pengukuran arah

7.3.1. Diagram mawar

Diagram mawar pada prinsipnya hampir sama dengan diagram batang. Pada diagram mawar variabel absis mempunyai rentang 180° atau 360° dengan salah satu ujungnya dipusatkan pada satu titik (atau dapat juga diistilahkan sebagai histogram polar). Diagram ini dapat dibuat dengan menggunakan perangkat lunak GMT (Wessel & Smith, 1991; 1995; 1998; 2004). Perintah sederhana GMT dapat dilihat pada kotak berikut ini:

Perintah pada perangkat lunak GMT

```
# Pemakaian paket psrose pada GMT
#
psrose fractures.d -A10 -S1.8in -P -G0 -R0/1/0/360 \
    -X1.25i -B0.2g0.2/30g30 > dmawar.ps
rm -f .gmt*
```



Gambar 7.8.: Contoh diagram mawar

7.3.2. Analisis vektor 2-dimensi

Data azimuth perlapisan silang-siur diukur dalam jumlah tertentu sesuai dengan kaidah statistika yang berlaku. Untuk menentukan tendensi sentral dari data azimuth perlapisan silang-siur dapat dilakukan dengan menghitung besarnya rata-rata dari data tersebut. Besarnya rata-rata dapat dihitung sebagai rata-rata aritmatik (*arithmetic mean*) ataupun rata-rata vektor (*vector mean*).

Besarnya rata-rata (resultan) dengan menggunakan analisis vektor 2-dimensi dapat diturunkan dengan rumus-rumus di bawah ini. Misalkan arah tiap-tiap azimuth dari suatu perlapisan silang-siur adalah θ , maka besaran vektor untuk masing-masing sumbu adalah (Davis, 1986; 2002):

$$x = \cos \theta \quad (7.7)$$

$$y = \sin \theta \quad (7.8)$$

vektor resultannya adalah:

$$R = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2} \quad (7.9)$$

sedangkan besar sudut resultannya adalah:

$$\tan \theta = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n x_i} \quad (7.10)$$

dengan θ = azimuth

8. Visualisasi data 3-dimensi

8.1. Pendahuluan

Visualisasi data 3-dimensi mempunyai pengertian bahwa parameter yang dapat divisualisasikan maksimum 3 macam, yang dinyatakan dalam koordinat XYZ atau data ditampilkan secara spasial. Dalam geologi, pemvisualisasian data semacam ini sangat penting. Interpretasi dengan mudah dapat dilakukan dengan melihat secara langsung kenampakan 3-dimensinya tanpa harus menghayalkannya dari kenampakan 2-dimensi. Suatu penampang 3-dimensi bentang alam lebih mudah dibaca dibandingkan dengan peta kontur bentang alam yang sama.

Ada beberapa teknik untuk menampilkan data spasial yang akan dibahas pada bab ini, seperti pengkonturan, blok 3-dimensi, stereonet, vektor 3-dimensi, dan DEM (Digital Elevation Model). Digital Elevation Model belum akan dibahas di sini dan akan dibahas pada edisi berikutnya.

8.2. Pengkonturan

Pengkonturan merupakan suatu subjek yang cukup penting untuk ahli geologi, khususnya yang berkecimpung di dunia perminyakan, tambang dan airtanah, namun penggunaan komputer untuk membuat suatu peta kontur masih belum banyak diterima oleh banyak ahli geologi.

Seperti pemrograman komputer, pengkonturan dideskripsikan sebagai beberapa percampuran antara ilmu dan seni. Ahli matematika secara tepat percaya bahwa pengkonturan lebih merupakan ilmu daripada seni. Ahli geologi meyakini bahwa pengkonturan lebih dari seni dibandingkan ilmu. Sebagian besar pengembang perangkat lunak untuk pengkonturan berusaha memasukkan beberapa seni dalam geologi ke dalam program-programnya (Tearpock, 1992).

8.2.1. Peta kontur

Peta kontur adalah peta yang menggunakan garis kontur sebagai sarana untuk menggambarkan sesuatu. Peta kontur menggambarkan permukaan tiga dimensi baik

secara tiga dimensi maupun secara dua dimensi (Cronin, 1995).

Tabel 8.1.: Macam-macam peta berdasarkan data yang digunakan

Data	Peta kontur
Elevasi	Struktur, patahan, kubah garam
Ketebalan sedimen	Interval isopach (isochore)
Persentase pasir	Percent sand
Feet of pay	Net pay isopach
Tekanan	Isobar
Temperatur	Isotherm
Litologi	Isolith
Tahanan jenis	Isoresistivitas
Gravitasi	Isogal
Medan magnet	Isogamma
Kedalaman airtanah	Peta muka airtanah

Biasanya peta kontur yang dihasilkan tergantung kepada (Tearpock and Bischke, 1991):

- pengalaman
- imajinasi
- kemampuan interpretatif
- metode pengkonturan

Prinsip-prinsip pembuatan peta kontur

1. garis kontur tidak boleh memotong dirinya sendiri atau memotong kontur lain
2. garis kontur tidak boleh bergabung dengan kontur yang bernilai sama atau berbeda
3. garis kontur harus melewati daerah antar titik yang lebih tinggi dan titik yang lebih rendah
4. garis kontur yang mempunyai nilai sama harus diulang untuk menggambarkan pembalikan arah lereng
5. garis kontur pada permukaan yang menerus harus tertutup bersama-sama pada batas peta atau pada ujung daripada peta

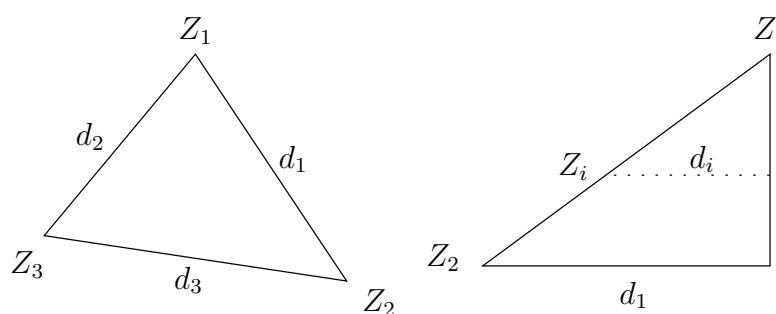
Dalam pengkonturan secara manual (hand contouring) terdapat empat macam teknik pengkonturan, yaitu: mekanis, spasi-sama, paralel, dan interpretif (Tearpock, 1992).

8.2.2. Triangulasi

Secara umum teknik pengkonturan dapat dikelompokkan menjadi dua macam, yaitu metode triangulasi (*Triangulated Irregular Networks, TINs*) dan metode diskret (Davis, 2002; Jones dan Nelson, 1992). Metode triangulasi yang banyak dipakai dalam permodelan permukaan adalah TiNs. TiNs adalah jaringan segitiga yang dibuat secara langsung dari sekumpulan data titik koordinat ruang yang tersebar secara acak dengan cara menghubungkan titik-titik dengan ujung-ujung yang berurutan (lihat Gambar 8.1). Kelebihan dan kelemahan metode triangulasi adalah sebagai berikut:

- kontur dapat dihitung secara langsung dari segitiga
- informasi sekitar segitiga dapat digunakan untuk mengefisiensi proses interpolasi
- sering dipakai dalam pembuatan model pertambangan, geoteknik, geologi dan teknik perminyakan
- lebih dinamik dibandingkan dengan metode gridding, diedit dengan cara menambahkan titik-titik data pada tempat yang diinginkan
- kelemahannya adalah apabila kerapatan data antara tempat yang satu dengan tempat yang lain tidak seragam akan menghasilkan kontur yang tidak representatif

Menghitung titik-titik kontur dalam segitiga



Gambar 8.1.: Metode TINs

Rumus:

$$\frac{Z_1 - Z_2}{d_1} = \frac{Z_1 - Z_i}{d_i} \quad (8.1)$$

$$d_i = d_1 \times \frac{Z_1 - Z_i}{Z_1 - Z_2} \quad (8.2)$$

8.2.3. Diskretisasi

Berbeda dengan metode triangulasi yang menggunakan langsung titik-titik data, prinsip dasar dari metode diskret (*gridding*) adalah membuat titik-titik koordinat secara teratur dengan spasi yang sama dari titik-titik yang tersebar secara acak. Metode ini paling banyak digunakan karena algoritma yang dipakai lebih sederhana dibandingkan dengan metode triangulasi (Davis, 2002; Haecker, 1992). Kelebihan dan kekurangan metode ini adalah sebagai berikut:

- pada data yang tersebar secara acak dapat dibuat titik-titik grid sehingga mudah untuk dilakukan pengkonturan
- penentuan spasi grid dapat diatur sesuai dengan keperluan
- kelemahannya adalah statik, sehingga sulit untuk diedit; untuk mengedit dilakukan dengan menambah kerapatan grid dengan cara memperkecil spasi grid.

Perhitungan dengan metode grid

Terdapat banyak metode yang dapat dipakai untuk melakukan gridding, seperti *invers distance weighting* dengan variannya *invers distance square* (IDS) atau *invers distance power*, *minimum curvature*, *nearest neighbor*, *kriging*, dll. Pada tulisan ini hanya akan dijelaskan metode IDS karena diantara semua metode gridding metode ini mempunyai algoritma yang paling sederhana. Perhatikan gambar 8.3.

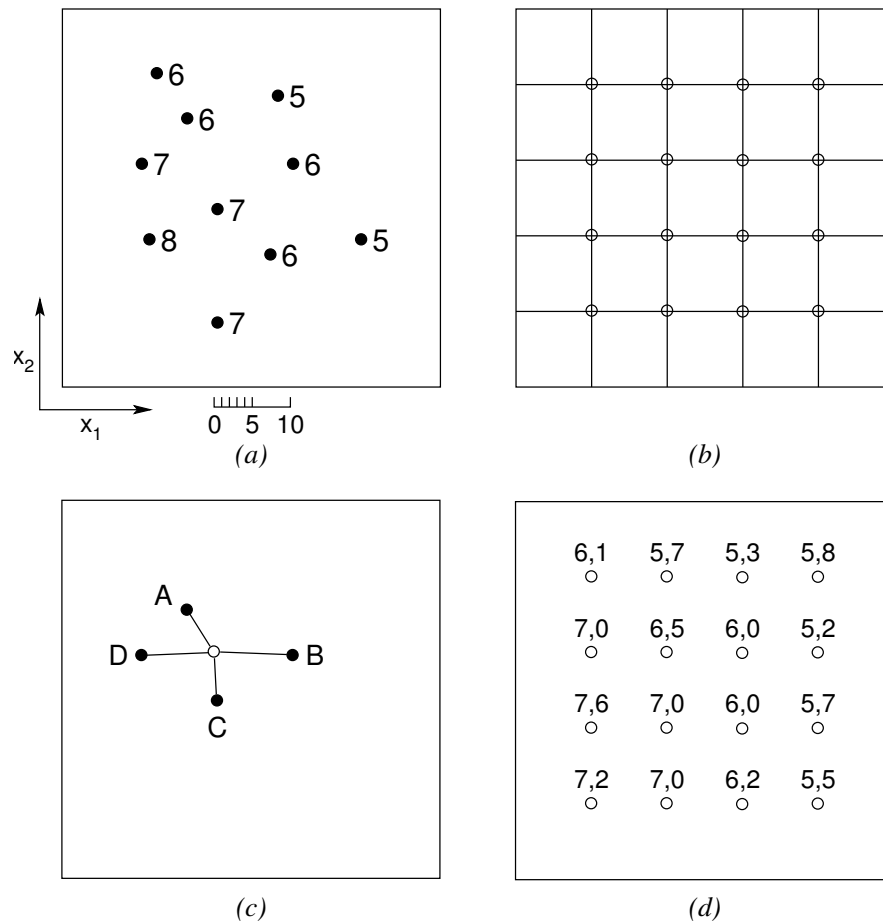
Rumus:

$$D_{ik} = \sqrt{(X_k - X_i)^2 + (Y_k - Y_i)^2} \quad (8.3)$$

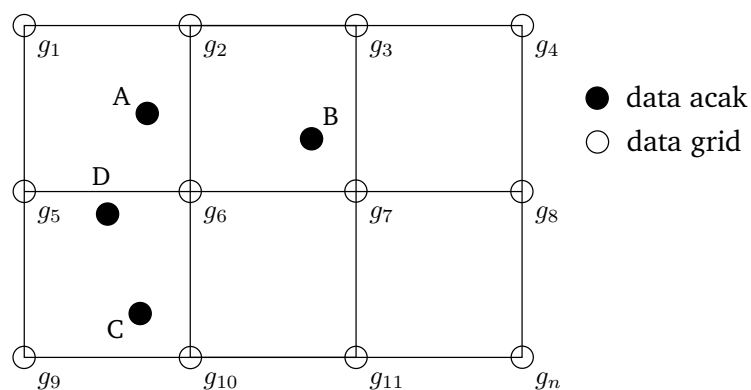
$$g_k = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_i / D_{ik})}{\sum_{i=1}^n (1 / D_{ik})} \quad (8.4)$$

8.2.4. Pengkonturan dengan komputer

Pengkonturan dengan komputer sudah dimulai sejak pertengahan atau akhir tahun 50-an dengan peta yang dicetak printer. Naval Research Laboratory, Amerika Serikat



Gambar 8.2.: Langkah-langkah dalam perhitungan nilai diskret dari data acak. (a) titik-titik yang tersebar secara acak. (b) jaring-jaring diskret dengan notkah diskret yang akan dihitung. (c) lokasi 4 buah titik kontrol terdekat untuk sebuah titik diskret. (d) titik diskret yang telah dihitung lengkap (Davis, 1986, 2002).



Gambar 8.3.: Prinsip-prinsip gridding

mengontrak IBM untuk mengembangkan perangkat lunak komputer yang dikenal dengan nama NUPROX untuk komputer IBM 1130 dan 1170. Perkembangan aplikasi pengkonturan mulai pesat setelah tahun 1960-an, yang dimulai dari pengembangan algoritma pengkonturan oleh Jim Downing melalui disertasinya berjudul, “Numerical Analysis Applications of Computer Contouring.” Setelah masa ini muncul beberapa perangkat lunak untuk pengkonturan seperti ZMAP dan akhirnya ZMAP Plus (Landmark Zycor).

Perkembangan cukup pesat justru pada perangkat lunak pengkonturan yang jalan di PC, dengan munculnya beberapa vendor perangkat lunak — Aangstrom (Vortex), enp (Jupiter), GeoGraphix, GeoMate, GeoMatic, TerraSciences, Golden Software (Surfer), Rockware (Logger dan Gridzo), irap, ecl — menjadi nama-nama yang cukup familiar dalam pengkonturan. Namun pada perkembangan selanjutnya beberapa dari vendor ini merubah aplikasi perangkat lunak mereka dari PC ke mainframe atau Sun Workstation (Wagner, 1992).

Saat ini semakin banyak vendor perangkat lunak untuk aplikasi pengkonturan muncul, setidaknya Golden Software dan Rockware sangat dikenal di kalangan kampus. Direktori vendor perangkat lunak pengkonturan yang cukup lengkap dapat dilihat pada Wagner & Busbey (1992). Di dunia Open Source pun tidak ketinggalan, dengan munculnya perangkat lunak seperti GMT (Generic Mapping Tools), Geotouch, Vis5d+, Uncert, dlsb. Dari perangkat lunak ini, GMT merupakan perangkat lunak untuk pengkonturan dan pemetaan yang paling fleksibel dan mudah digunakan. Beberapa contoh penggunaan GMT dapat dilihat berikut ini:

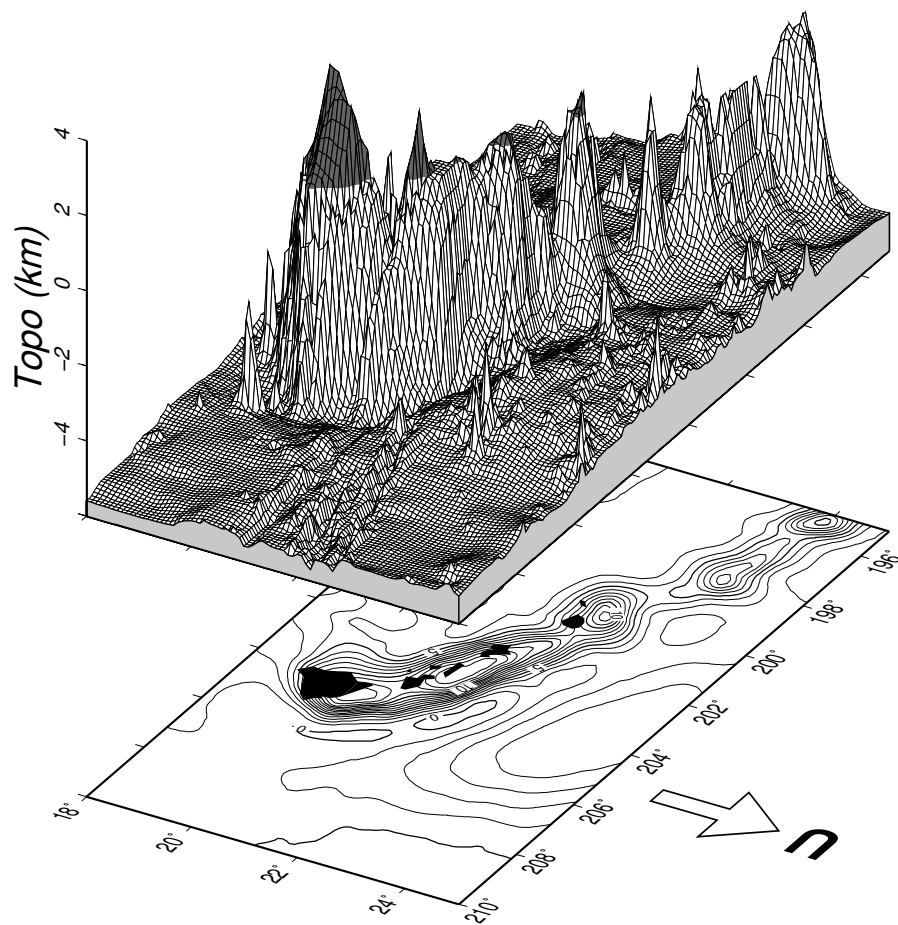
Contoh script GMT untuk pengkonturan dan tampilan 3-dimensi

```
#!/bin/sh
#
echo '-10 255 0 255' > zero.cpt
echo '0 100 10 100' >> zero.cpt
grdcontour HI_geoid4.grd -Jm0.45i -E60/30 -R195/210/18/25 \
-C1 -A5 -G4i -K -P -X1.5i -Y1.5i > kontur-3D.ps
pscoast -J -E60/30 -R -B2/2NEsw -G0 -O -K >> kontur-3D.ps
echo '205 26 0 0 1.1' | psxyz -J -E60/30 -R \
-SV0.2i/0.5i/0.4ii -Wlp -O -K -N >> kontur-3D.ps
echo '205 29.2 36 -90 1 LM N' | pstext -J -E60/30 -R -O \
```

```

-K -N >> kontur-3D.ps
grdview HI_topo4.grd -J -Jz0.34i -Czero.cpt -E60/30 \
-R195/210/18/25/-6/4 -N-6/200/200/200 -Qsm -O -K \
-B2/2/2:"Topo (km)":neswZ -Y2.2i >> kontur-3D.ps
rm -f zero.cpt .gmt*

```



Gambar 8.4.: Contoh pengkonturan dan tampilan 3-D dengan GMT

Contoh script GMT untuk pengkonturan dan tampilan 3-dimensi

```

#!/bin/sh
#

```

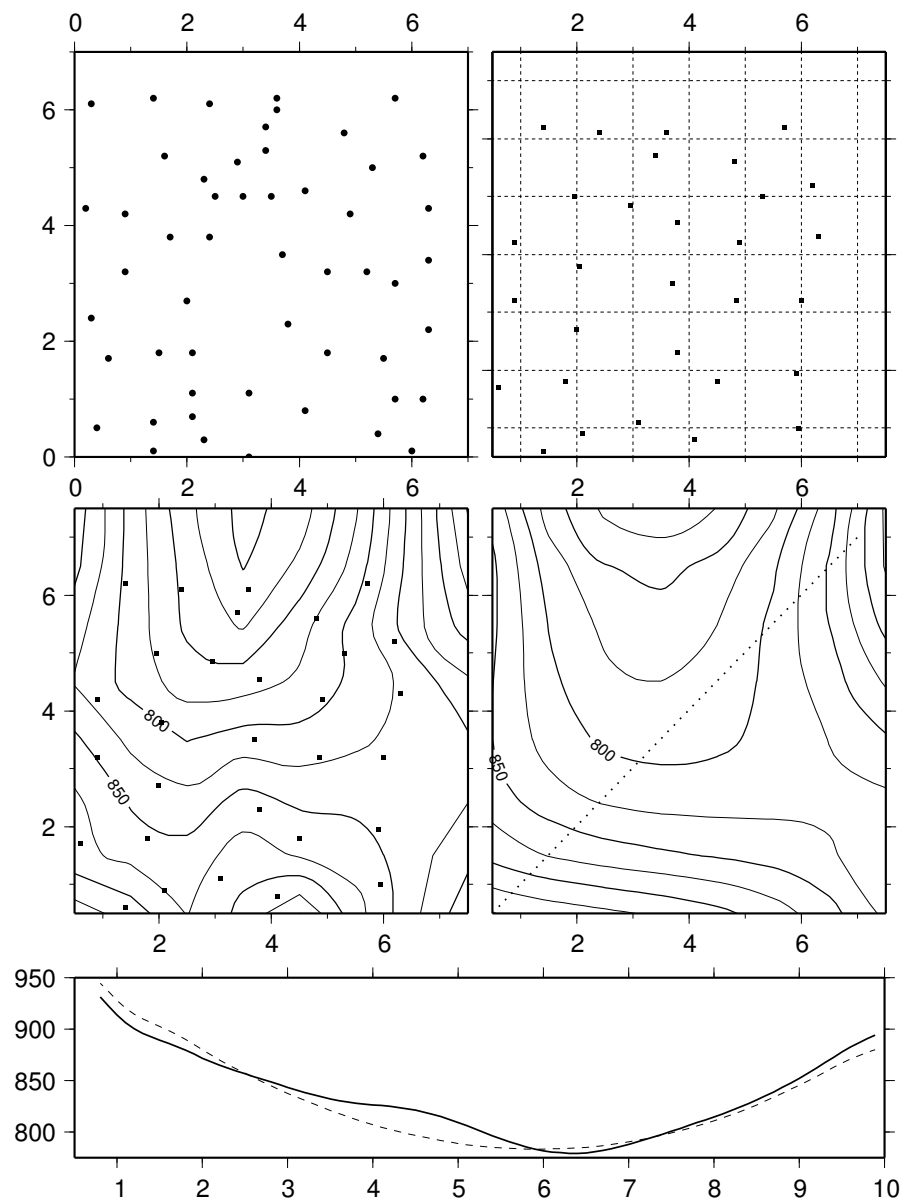
```

# First draw network and label the nodes
gmtset GRID_PEN 0.25pta
psxy table_5.11 -R0/7/0/7 -JX3.06i/3.15i -B2f1WSne \
    -Sc0.05i -G0 -P -K -Y6.45i > kontur.ps
blockmean table_5.11 -R0/7/0/7 -I1 > mean.xyz
# Then draw blockmean cells
psbasemap -R0.5/7.5/0.5/7.5 -J -O -K -B0g1 -X3.25i >> \
    kontur.ps
psxy -R -J -B2f1eSNw mean.xyz -Ss0.05i -G0 -O -K >> \
    kontur.ps
# Then surface and contour the data
surface mean.xyz -R -I1 -Gdata.grd
grdcontour data.grd -J -B2f1WSne -C25 -A50 -G3i/10 -S4 -O \
    -K -X-3.25i -Y-3.55i >> kontur.ps
psxy -R -J mean.xyz -Ss0.05i -G0 -O -K >> kontur.ps
# Fit bicubic trend to data and compare to gridded surface
grdtrend data.grd -N10 -Ttrend.grd
grdcontour trend.grd -J -B2f1WSne -C25 -A50 -G3i/10 -S4 -O \
    -K -X3.25i >> kontur.ps
project -C0/0 -E7/7 -G0.1 > track
psxy -R -J track -W1pto -O -K >> kontur.ps
# Sample along diagonal
grdtrack track -Gdata.grd | cut -f3,4 > data.d
grdtrack track -Gtrend.grd | cut -f3,4 > trend.d
psxy 'minmax data.d trend.d -I0.5/25' -JX6.3i/1.4i data.d \
    -W1p -O -K -X-3.25i -Y-1.9i -B1/50WSne >> kontur.ps
psxy -R -J trend.d -W0.5pta -O >> kontur.ps
rm -f mean.xyz track *.grd *.d .gmt*

```

8.2.5. Analisis statistik

Faktor yang sering berpengaruh terhadap pembacaan peta kontur adalah interval kontur. Interval kontur yang kecil menyebabkan pembacaan nilai garis kontur pada kontur rapat menjadi sulit, sedangkan interval kontur yang besar menyebabkan data spasial tidak terwakili secara utuh. Biasanya pembuat peta kontur sering mem-



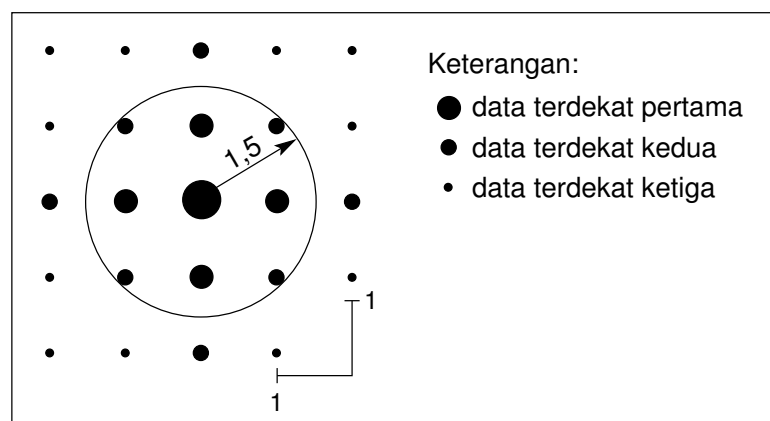
Gambar 8.5.: Contoh pengkonturan dan pembuatan penampang

berikan interval kontur asal-asalan atau hanya berdasarkan pada skala peta. Interval kontur (I) yang didasarkan atas skala peta dapat dihitung dengan persamaan:

$$I = \frac{\text{skala peta}}{2 \times 100} \quad (8.5)$$

Penentuan interval kontur dengan cara ini tidak mempertimbangkan sebaran data spasial yang digunakan. Teknik yang dapat dipakai untuk menentukan besarnya interval kontur adalah dengan metode statistik. Analisis statistik berpedoman kepada dua kaidah pengkonturan (Sharp, 1987) di bawah ini (lihat gambar 8.6):

1. data harus menunjukkan keterusan ruang (*spatial persistence*) di luar data kedua terdekat, sehingga pengambilan titik-titik sekitar harus sama dengan 1,5 kali jarak titik sekitar terdekat (dipakai untuk proses diskretisasi). Hukum ini menuntut bahwa data harus memperlihatkan kontinuitas yang cukup, sehingga determinasi minimum antara kemiringan dan lekukan umumnya dapat diperoleh untuk beberapa interpolasi.
2. interval kontur yang diambil harus memenuhi bahwa kesalahan yang mungkin dari beberapa titik tidak melebihi setengah dari interval kontur



Gambar 8.6.: Data yang telah diubah dalam bentuk diskret

Untuk menentukan besar interval kontur dari data acak, maka terlebih dahulu harus dilakukan diskretisasi data, misalnya dengan menggunakan metode IDS. Perhitungan nilai interval kontur dapat dilakukan dengan membuat kovariogram atau semivariogram (Clarke, 1979). Hal tersebut dapat diketahui dengan menghitung kovarian S_h^2 :

$$S_h^2 = \frac{\sum (g_i - \bar{g})(g_{i+h} - \bar{g})}{n - 1} \quad (8.6)$$

dengan,

S_h^2 = kovarian, g_i = nilai elevasi pada titik i , g_{i+h} = nilai elevasi pada data terdekat yang berjarak h dari i , $\bar{g}$ = rata-rata elevasi, n = jumlah pasangan $(i, i+h)$ pada peta.

Kovarian S_0^2

Nilai ini merupakan nilai kovarian untuk $h = 0$, sehingga:

$$\begin{aligned} S_0^2 &= \frac{\sum (g_i - \bar{g})(g_{i+0} - \bar{g})}{n - 1} \\ &= \frac{\sum (g_i - \bar{g})^2}{n - 1} \end{aligned} \quad (8.7)$$

Contoh perhitungan:

Data variabel berdimensi 5 (5×5):

a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}
a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}	a_{25}
a_{31}	a_{32}	a_{33}	a_{34}	a_{35}
a_{41}	a_{42}	a_{43}	a_{44}	a_{45}
a_{51}	a_{52}	a_{53}	a_{54}	a_{55}

$$\bar{g} = \frac{a_{11} + a_{12} + a_{13} + \dots + a_{54} + a_{55}}{n} = a$$

$$S_0^2 = \frac{(a_{11} - a)^2 + (a_{12} - a)^2 + (a_{13} - a)^2 + \dots + (a_{54} - a)^2 + (a_{55} - a)^2}{25 - 1}$$

Kovarian S_1^2

Nilai kovarian ini dapat diperoleh untuk $h = 1$, sehingga:

$$S_1^2 = \frac{\sum (g_i - \bar{g})(g_{i+1} - \bar{g})}{n - 1} \quad (8.8)$$

Untuk contoh kasus di atas, maka perhitungan dimulai dari sudut barat laut secara horisonal sampai sudut tenggara, dst...

Kovarian $S_{1,414}^2$

Kovarian ini dapat disebut sebagai kovarian diagonal, yang dapat dihitung dengan persamaan:

$$S_1^2 = \frac{\sum (g_i - \bar{g}) (g_{i+1,414} - \bar{g})}{n - 1} \quad (8.9)$$

Nilai kovarian ini didasarkan pada data terdekat kedua, di mana perhitungannya berarah diagonal, $h = \sqrt{2} = 1,414$.

Kovarian S_2^2

Nilai kovarian ini dapat dihitung dengan persamaan:

$$S_1^2 = \frac{\sum (g_i - \bar{g}) (g_{i+2} - \bar{g})}{n - 1} \quad (8.10)$$

Nilai kovarian ini diperoleh berdasarkan perhitungan data-data yang berjarak dua bagian ($h = 2$), yang dimulai dari sudut barat laut sampai tenggara berarah horizontal.

8.3. Pengukuran arah

8.3.1. Diagram stereonet

Proyeksi stereografis telah digunakan untuk bermacam-macam data di geologi, misalnya menampilkan hubungan antara unsur-unsur struktur, seperti kedudukan perlapisan, sumbu lipatan, dan belahan. Ini juga dapat digunakan untuk mengplot unsur-unsur simetri atau hubungan kristalografik di dalam mineralogi. Prinsip dasar dari proyeksi stereografis adalah untuk membuat suatu plot yang mewakili proyeksi dua dimensional dari suatu titik yang merupakan perpotongan dari suatu garis yang melewati pusat dari suatu bola (*sphere*) dengan permukaan bagian bawah bola (*lower hemisphere*) (Berge, 1990).

Pengeplotan diagram stereonet baik jejaring Wulf maupun Schmidt dapat dilakukan dengan perangkat lunak GMT maupun aplikasi grafik yang lain. Pengeplotan dengan aplikasi grafik dilakukan dengan mengkonversi nilai pengukuran azimuth/plunge dan dip menjadi koordinat kartesius. Tiap garis azimuth θ dan plunge ϕ dapat diplot pada suatu ruang sirkular sebagai suatu titik dengan koordinat sirkular dari azimuth. Jarak dari pusat lingkaran (r) yang proporsional terhadap plunge adalah (Berge, 1990; Hobbs, dkk., 1976):

$$r = R \tan(\pi/4 - \phi/2) \quad (8.11)$$

dimana,

R = jari-jari lingkaran luar.

Terdapat dua jenis proyeksi yang biasa digunakan, yaitu proyeksi sudut-sama (*Equal-Angle*) atau jejaring Wulff (diambil dari nama seorang ahli kristalografi, G.V. Wulff) menggunakan rumus 8.11 di atas. Proyeksi yang lain adalah proyeksi luasan sama (*Equal-Area*) atau jejaring Schmidt (diambil dari nama seorang ahli geologi struktur W. Schmidt). Jejaring Schmidt dapat direpresentasikan dengan rumus berikut (Berge, 1990):

$$r = R \sqrt{2} \sin(\pi/4 - \phi/2) \quad (8.12)$$

dimana,

R = jari-jari lingkaran luar.

Metode konversi ke koordinat kartesius

Persamaan-persamaan pada Tabel 8.2 dapat digunakan untuk menyatakan koordinat X dan Y dimana program grafik dapat mengplotnya. Persamaan ini diturunkan dari persamaan 8.11 dan 8.12 di atas dengan menerapkan prinsip Pythagoras dan trigonometri.

Tabel 8.2.: Konversi sudut pada proyeksi stereografis

Persamaan x	Persamaan y
$r^2 = x^2 + y^2 = x^2 + (r \cos \theta)^2$	$r^2 = x^2 + y^2 = y^2 + (r \sin \theta)^2$
$x^2 = r^2(1 - \cos^2 \theta)$	$y^2 = r^2(1 - \sin^2 \theta)$
$x^2 = r^2(\sin^2 \theta), x = \sqrt{r^2(\sin^2 \theta)}$	$y^2 = r^2(\cos^2 \theta), y = \sqrt{r^2(\cos^2 \theta)}$
$= r \sin \theta$	$= r \cos \theta$
$x = R \sin(\pi/4 - \phi/2) \sin \theta$	$y = R \sin(\pi/4 - \phi/2) \cos \theta$
$x = R \sqrt{2} \sin(\pi/4 - \phi/2) \sin \theta$	$y = R \sqrt{2} \sin(\pi/4 - \phi/2) \cos \theta$

8.3.2. Analisis vektor 3-dimensi

Berbeda dengan analisis vektor 2-dimensi yang hanya menggunakan azimuth dari pelapisan silang-siur, analisis vektor 3-dimensi menggunakan kedudukann bidang pelapisan sebagai data. Data yang dipergunakan dalam perhitungan adalah azimuth dan dip atau kemiringan bidang pelapisan.

Perhitungan dengan menggunakan analisis vektor dapat dilakukan dengan menguraikan kedudukan bidang (θ, ϕ) secara statistik dapat dilakukan sebagai berikut (Davis, 1986; 2002):

$$x = \cos \phi \cos \theta \quad (8.13)$$

$$y = \cos \phi \sin \theta \quad (8.14)$$

$$z = \sin \phi \quad (8.15)$$

$$R = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n z_i\right)^2} \quad (8.16)$$

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{R}, \bar{y} = \frac{\sum y}{R}, \bar{z} = \frac{\sum z}{R} \quad (8.17)$$

$$\tan \bar{\theta} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n x_i} \quad (8.18)$$

$$\bar{\phi} = \arcsin \bar{z} \quad (8.19)$$

dengan θ = azimuth dan ϕ = dip

9. Peta digital

9.1. Pendahuluan

Peta adalah salah satu bentuk dokumen yang memuat informasi tentang hubungan spasial unsur-unsur yang ada di muka bumi, yang menggambarkan dunia nyata di atas suatu bidang datar dalam bentuk simbol-simbol dan skala-skala tertentu yang dapat dipertanggungjawabkan kebenarannya secara matematis (Kaneko, 1995). Peta digital adalah suatu peta tematik yang disimpan dalam format digital. Berbeda dengan format analog (*hardcopy*), peta digital dapat diproses lebih lanjut dengan cepat, misalnya penambahan dan koreksi data, dan kompilasi peta.

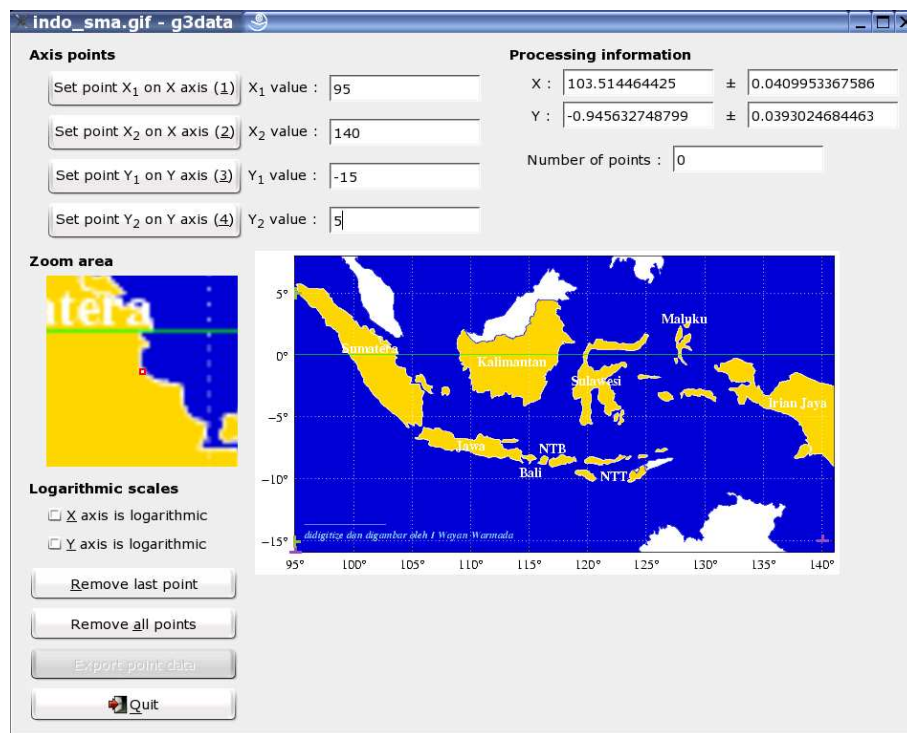
Pembuat dan pemakai peta geologi hidup sepanjang masa. Dunia kartografik tampaknya sedang bahkan telah mengalami revolusi, seiring kemajuan teknologi komputer. Saat ini, data spasial lebih bermanfaat disimpan dalam format digital dan dimanipulasi dengan komputer. Peta geologi tentunya tidak terlindungi dari perubahan ini (Haugerud, 1998).

9.2. Format dan digitasi data

Pada Bab 6 telah diuraikan bahwa format gambar digital dapat dibagi menjadi 2 macam, yaitu raster dan vektor. Penyimpanan data peta dalam format digital juga dikenal 2 macam tipe data, yaitu data raster dan vektor. Perbedaan prinsip dari kedua tipe data ini adalah pada data *raster* setiap unsur dalam peta dinyatakan dalam satuan piksel yang berisi nilai matrik koordinat dan warna. Format data ini digunakan untuk menyimpan data gambar, misalnya citra digital (foto udara, landsat, SPOT, foto singkapan, dll). Sedangkan dalam format *vektor* setiap unsur peta dinyatakan dalam nilai koordinat dari fungsi geometri, misalnya titik, garis atau bangun bidang.

Umumnya, data yang tersedia saat ini kebanyakan dalam format analog, sehingga masih diperlukan perlakuan untuk mengubahnya menjadi peta digital. Ada dua cara yang dapat digunakan untuk mengkonversi data analog ke format digital, yaitu dengan alat *digitizer* dan *scanner*. Seiring dengan perkembangan perangkat lunak

yang semakin maju, teknologi *digitizer* semakin ditinggalkan. Saat ini digitizer dapat diganti dengan scanner dan perangkat lunak digitizer, seperti g3data, Surfer®, gridzo (Rockware), dan Ilwis. Dalam dunia Open Source telah tersedia perangkat lunak g3data untuk menggantikan perangkat lunak komersial yang lain. Tampilan g3data dapat dilihat pada Gambar 9.1.



Gambar 9.1.: Digitasi data dengan perangkat lunak g3data

9.3. Peta geologi digital

Peta geologi adalah peta tematik yang memuat tentang kondisi geologi suatu wilayah, yang meliputi: jenis batuan dan urutan pembentukannya serta kondisi tektonika. Peta ini direpresentasikan sebagai suatu lembar datar yang menggambarkan kondisi geologi suatu daerah atau areal yang dipetakan. Selain komponen geologi yang tergambar pada peta geologi, juga hubungan spasial antar komponen geologi tergambar di dalam peta geologi (Cooray, 1994).

Haugerud (1998) menyatakan bahwa suatu peta geologi merupakan (1) suatu rekaman dari observasi yang terletak pada suatu ruang, (2) ekspresi dari suatu hipotesis tentang sejarah bumi, dan (3) suatu alat bantu untuk menganalisis sejarah bumi. Peta digital geologi adalah interpretasi yang dihasilkan oleh komputer dari suatu observasi geologi yang disimpan dalam suatu basis data (Hasenmueller, 1998).

Jadi, peta geologi digital bukan merupakan hasil digitasi atau scan/vektorisasi suatu peta yang digambar dengan tangan.

Data lain yang terekam pada peta geologi adalah keterdapatan/sebaran sumberdaya mineral, lokasi pertambangan baik yang masih berlangsung maupun yang sudah ditutup. Dengan kata lain, peta geologi menyangkut kumpulan informasi tentang macam, distribusi dan hubungan spasial dari batuan atau mineral yang tersebar dekat dengan permukaan bumi. Jadi, pemetaan geologi merupakan hal yang mendasar dalam proses eksplorasi, sekarang hampir semua daerah yang berhubungan dengan ilmu kebumihian.

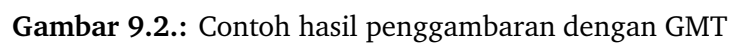
Berbeda dengan pembuatan peta geologi manual, yang dimulai dari pengumpulan data, interpretasi data dan kemudian menggambar suatu peta geologi yang sesuai dengan data dan mengekspresikan interpretasi, pemetaan geologi digital dilakukan melalui pengumpulan data (dalam suatu basis data), interpretasi data, dan membuat berkas diskret dengan program pengkonturan yang mana, model-model permukaan merupakan batas dari satuan geologi yang terpetakan (Hasenmueller, 1998).

Alat-alat bantu pada program pengkonturan memberikan keleluasaan bagi ahli geologi untuk membuat peta geologi digital dengan cara mengkombinasi, memotongkan, dan mengkontur model diskret dari batas permukaan satuan geologi. Diskretisasi dan pengkonturan dapat dilakukan dengan perangkat lunak GMT (*Generic Mapping Tools*). Program ini juga telah dilengkapi simbol-simbol litologi yang cukup lengkap, sehingga sangat tepat untuk membuat peta geologi digital, baik yang semi digital (tanpa diskretisasi, pengeplotan hasil digitasi) maupun yang digital. Berikut ini adalah contoh penggambaran peta geologi dengan menggunakan perangkat lunak GMT.

Contoh GMT scripting:

```
# GMT script for geologic map of Gunung Pongkor, West Java
# Aug 01, 2001 by IWW (last modified March 7, 2004)
#
gmtset DOTS_PR_INCH 600 ANOT_FONT Times-Roman BASEMAP_TYPE \
      fancy Y_ORIGIN 6c
OUTPUT="$HOME/map-pk500c.ps"
psbasemap -R9082.742/11867.94/7135.161/10652.5 -Jx0.00575c \
      -K -P1.3/6.5 -U"The Geology of Pongkor compiled \
```

```
by IWW" -B250 -Lx10000/10000/50/5000:k > $OUTPUT  
# lithologic units and boundary  
# -----  
psxy 4lbt.unit -R -Jx -O -K -P -MH -Gp300/61:B153/102/51 \  
    >> $OUTPUT  
psxy 5and-volc.unit -R -Jx -O -K -P -MH \  
    -Gp300/85:B204/102/51 >> $OUTPUT  
psxy 6and-dome.unit -R -Jx -O -K -P -MH \  
    -Gp300/47:B255/51/0 >> $OUTPUT
```



Gambar 9.2.: Contoh hasil penggambaran dengan GMT

Daftar Pustaka

- [1] Ayres, F., Jr. (1983) Matrices: SI (metric) Edition. McGraw-Hill Book Co., New York, 219h.
- [2] Beard, D.C. & Weyl, P.K. (1973) Influence of texture on porosity and permeability of unconsolidated sand. AAPG Bulletin 57:349-369.
- [3] Berge, T.B. (1990) Stereographic projections using Lotus 1-2-3. GEOBYTE 12/1990: 36-39.
- [4] Bieniawski, Z.T. (1984) Rock mechanics design in mining and tunneling. A.A. Balkema, New York.
- [5] Bloch, S. (1991) Empirical prediction of porosity and permeability in sandstone. AAPG Bulletin 75: 1145-1160.
- [6] Burian, P.K. & Caputo, R. (2001) Der grosse Foto-Guide: Geheimnisse der Profi-Fotografie von National Geographic, National Geographic Society, 352h.
- [7] Caritat, P. de., Bloch, J. & Hutcheon, I. (1994) LPNORM: a linear programming normative analysis code. Computers & Geosciences 20: 313-347.
- [8] Caron, J.M., Gauthier, A., Scharf, A., Ulysse, J. & Wozniak, J. (1989) Comprendre et enseigner la planete Terre. Ophrys, Paris, 271h.
- [9] Carr, J.R. (1995) Numerical analysis for the geological sciences. Prentice-Hall, Englewood Cliff, 592h.
- [10] Chapra, S.C. dan Canale, R.P (1988) Metode numerik I. Ed. 2 (terjemahan), Erlangga, Jakarta, 405h.
- [11] Clarke, I. (1979) The semivariogram. Part I, Engineering and Mining Journal 180.
- [12] Cooray, P.G. (1994) Geological mapping—a key factor in national development. Geoscience and Development 11/1994: 6-10.
- [13] Cronin, T. (1995) Automated reasoning with contour maps. Computers & Geosciences 21: 609-618.
- [14] Davis, J.C. (1986) Statistical and data analysis in geology. 2nd Ed., John Wiley & Sons, New York, 646h.
- [15] Davis, J.C. (2002) Statistical and data analysis in geology. 3rd Ed., John Wiley & Sons, New York, 638h.

- [16] Ehrmann, S., Brors, D., Kersten, M., Schüler, P., Nabelo, R. & Himmelein, G. (2000) Fünfkämpfer: Office-Pakete im Praxistest. C'T 23/2000, hlm. 182-221.
- [17] Ferguson, J. (1988) Mathematics in geology. Allen & Unwin, London, 299h.
- [18] Granet, V. (2000) The Xxl Spreadsheet Project. Linux Journal. <http://www2.linuxjournal.com/cgi-bin/frames.pl/lj-issues/issue60/3186.html>
- [19] Grolier, J. & Riss, J. (1997) Mathématiques pour les sciences de la Terre. Masson, Paris, 300h.
- [20] Haecker, M.A. (1992) Convergent gridding: A new approach to surface reconstruction. GEOBYTE 06/1992: 48-53.
- [21] Hasenmueller, W.A. (1998) Building digital geologic maps with a comtouring program. *In* Digital Mapping Techniques'98 – Workshop Proceedings. USGS Open-File Report 98-487. <http://pubs.usgs.gov/of/of98-487/hasen.html>
- [22] Haugerud, R. (1998) Geologic maps, spatial databases, and standards. *In* Digital Mapping Techniques'98 – Workshop Proceedings. USGS Open-File Report 98-487. <http://pubs.usgs.gov/of/of98-487/haug1.html>
- [23] Hobbs, B.E., Means, W.D. & Williams, P.F. (1976) An outline of structural geology. John Wiley & Sons, Inc., New York, 571 hal.
- [24] Jones, N.L. & Nelson, J. (1992) Geoscientific modeling with TINs. GEOBYTE 08/1992: 44-49.
- [25] Kaneko, T. (1995) Teknologi perpetaan digital. Kursus Singkat Dasar dan Aplikasi Pemetaan Digital. Jurusan Teknik Geologi, FT-UGM 07/1995, 9 hal (tidak diterbitkan).
- [26] Kylander, K. & Kylander, O.S. (1998) The Gimp User Manual version 1.0.0. Dapat download pada <http://manual.gimp.org/>.
- [27] Kürten, O. (1999) The Gimp: Professionelle Grafik-Software (Kostenlose Bildbearbeitung). PC INTERN Special 1: 114-117.
- [28] Krum, G.L. & Jones, T.A. (1992) Part I: Pitfalls in computer contouring. GEOBYTE 06/1992: 30-35.
- [29] Krumbein, W.C. & Graybill, F.A. (1965) An introduction to statistical models in geology. McGraw-Hill Book Company, 475h.
- [30] Lees, J.M. (2000) Geotouch: software for three and four dimensional GIS in the earth sciences. Computers & Geosciences 26: 751-761.
- [31] Lipschutz, M.M. & Lipschutz, S. (1982) Theory and problems of data processing. Schaum's outline series, McGraw-Hill International Book Company, Singapore, 218h.
- [32] Loudon, T.V. (2000) Geoscience after IT. Elsevier, Oxford.
- [33] Matheron, G. (1963) Principles of geostatistics. Economic Geology 58: 1246-1266.

- [34] Merriam, D.F. (1972) Random processes in geology. Springer-Verlag, Berlin, 168h.
- [35] Mustard, P.S. & Richardson, J.M. (1990) A Lotus 1-2-3 template for triangular plots. *GEOBYTE* 04/1990:47-53.
- [36] Neumann, S. (2000) GIMP: kurz & gut. O'reilly. 106 hal.
- [37] Olschner, S. & Walter, R. (2001) The GIMP - Das Grafikprogramm. Dalam SuSE Linux 7.2: Die Programme: 167-188.
- [38] Osterberg, J. (2000) Grafik-Power: GIMP ist die GNU Alternative für die professionelle Grafikbearbeitung. *Linux Enterprise* 2: 73-76.
- [39] Rathert, T., Nebelo, R., Hahner, M., Kusterer, R. & Urrutia, A. (1999) Büropakette im Vergleich, Arbeitsparadies. *PC Magazine* 12/1999: 132-146.
- [40] Robinson, J.E. (1982) Computer applications in petroleum geology. Hutchinson Ross Publishing Company, New York, 164h.
- [41] Scherer, M. (1987) Parameters influencing porosity in sandstones: A model for sandstone porosity prediction. *AAPG Bulletin* 71: 485-491.
- [42] Sharp, W.E. (1987) Two basic rule for valid contouring. *GEOBYTE* 11/1987: 11-15.
- [43] Susanto, AB. & Warmada, IW. (2000) Gnuplot untuk orang lugu. OSCA. <http://pandu.dhs.org/Buku-Online/>
- [44] Tearpock, D.J. (1992) Contouring: Art or Science? *GEOBYTE* 06/1992: 40-43.
- [45] Tearpock, D.J. & Bischke, R.E. (1991) Applied subsurface geological mapping. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ.
- [46] Wagner, F.J. (1992) A brief history of computer contouring. *GEOBYTE* 06/1992: 10-11.
- [47] Wagner, F.J., Jr. (1992) International directory mapping/contouring software — June 1992. *GEOBYTE* 06/1992: 14-23.
- [48] Warmada, I W. (2001) Komputer: Apakah hanya sekadar alat bantu? <http://warmada.pandu.org/Modules/komputer/introduce.html>.
- [49] ——— (2001) Spreadsheet gratis berbasis GUI di Linux. *InfoLINUX* 06/2001.
- [50] ——— (2003) Membuat grafik berkualitas tinggi di Linux. *InfoLINUX* 08/2003.
- [51] Wellmer, F.-W. (1998) Statistical evaluations in exploration for mineral deposits. Springer-Verlag, Berlin.
- [52] Wessel, P & Smith, W.H.F. (1991) Free software helps map and display data. *EOS Trans. AGU* 72: 441.
- [53] ——— (1995) New version of the Generic Mapping Tools released. *EOS Trans. AGU* 76: 329.

-
- [54] ——— (1998) New improved version of the Generic Mapping Tools released. EOS Trans. AGU 79: 579.
- [55] ——— (2004) The Generic Mapping Tools technical reference and cookbook. Version 4.0, 132 hlm.
- [56] Wiryana, I M. (2000) Memilih aplikasi perkantoran. <http://wiryana.dhs.org/artikel/Office-Application/>
- [57] Wibowo, E.A. (1996) Perjalanan panjang fotografi (dari aspek teknologi fotografi). Dalam: Saragih, K.W. (ed), Diklat dasar fotografi. Edisi II, Unit Fotografi UGM.
- [58] Wright, T.L. & Doherty, P.C. (1970) A linear programming and least square computer method for solving petrologic mixing problems. GSA Bulletin 81: 1995-2008.
- [59] Zhang, C. & Selinus, O. (1998) Statistics and GIS in environmental geochemistry — some problems and solutions. J. Geochemical Exploration 64: 339-354.

A. Script gnuplot

A.1. Diagram TAS

```
# Classification of igneous rock (Le Bas, 1989)
# by I Wayan Warmada <i.wayan.warmada@tu-clausthal.de>
#
# latest update on 25.06.2000
set xtics 4
set ytics 2,2,16
set nokey
set xrange [36:84]
set yrange [1:16]
set xlabel '{/Roman=17 SiO_2 (wt. percent)}'
set ylabel '{/Roman=17 Na_2O+K_2O (wt. percent)}'
set arrow 1 from 38.7,7.9 to 38.7,2.5 head lt 1 lw 1
set arrow 2 from 39.5,9 to 43,11 head lt 1 lw 1
set label 1 '{/Roman=16 Foidite}' at 38.75,8.5 center
set label 2 '{/Roman=16 Phonolite}' at 57,14 center
set label 3 '{/Roman=16 Tepri-}' at 50.75,11.85 left
set label 4 '{/Roman=16 phonolite}' at 50.75,11.35 left
set label 5 '{/Roman=16 Phono-}' at 47,9.75 left
set label 6 '{/Roman=16 tephrite}' at 47,9.25 left
set label 7 '{/Roman=16 Tephrite}' at 44.5,6.5 center
set label 8 '{/Roman=16 Basanite}' at 43.25,5.5 center
set label 9 '{/Roman=16 Picro-}' at 41.5,2.5 left
set label 10 '{/Roman=16 basalt}' at 41.5,2 left
set label 11 '{/Roman=16 Trachyte}' at 64,12.5 center
set label 12 '{/Roman=16 Trachydacite}' at 64.75,9.25 center
set label 13 '{/Roman=16 Trachy-}' at 55.65,9 left
set label 14 '{/Roman=16 andesite}' at 55.65,8.5 left
set label 15 '{/Roman=16 Basaltic}' at 51,7.5 left
set label 16 '{/Roman=16 trachy-}' at 51,7.0 left
set label 17 '{/Roman=16 andesite}' at 51,6.5 left
set label 18 '{/Roman=16 Trachy-}' at 47.25,5.9 left
set label 19 '{/Roman=16 basalt}' at 47.25,5.4 left
set label 20 '{/Roman=16 Basalt}' at 48.8,3.5 center
set label 21 '{/Roman=16 Rhyolite}' at 73,8 center
set label 22 '{/Roman=16 Dacite}' at 67.5,4 center
set label 23 '{/Roman=16 Andesite}' at 60,3.5 center
set label 24 '{/Roman=16 Basaltic}' at 52.5,3.75 left
set label 25 '{/Roman=16 andesite}' at 52.5,3.25 left
plot "maitre-sl.dat" with line 1, \
"maitre-dl.dat" with line 3
set term postscript enhanced monochrome "Roman" 16
set output "maitre.eps"
```

```
# maitre-dl.dat ---> for dashline
41 3
41 7
45 9.4
57 1.5
57 0.5
63 2
63 0.5
74 3
76.3 0.5
36 10
46 10
36 7
41 7
36 3
41 3
# maitre-sl.dat ---> for solidline
41 0.5
41 3
45 9.4
48.4 11.5
52.5 14
45 0.5
45 3
45 5
49.4 7.3
53 9.3
57.6 11.7
61 13.5
45 5
52 5
57 5.9
63 7
69 8
69 13
45 9.4
49.4 7.3
52 5
52 0.5
48.4 11.5
53 9.3
57 5.9
57 1.5
50 15.1
52.5 14
57.6 11.7
63 7
63 2
69 8
74 3
41 3
45 3
```

A.2. Diagram segitiga

```
# Genetic classification of igneous rock (Irvine & Baragar, 1971)
# by I Wayan Warmada <i.wayan.warmada@tu-clausthal.de>
#
# This script was provided by Mudith Karunaratne (Cambridge Univesity,
# Department of Material Science and Metallurgy) and Dr. Engelbert
# Buxbaum (Kuwait University, Health Sciences Center)
#
# latest update on 18.06.2000
#
set size square
set angle degrees
set noborder
set xrange [-10:100]
set yrange [-10:100]
set noxtics
set noytics
set nokey
# plot triangular coordinate system
set linestyle 1 lt 3 lw 1 pt -1 ps 1
set linestyle 2 lt 5 lw 1 pt -1 ps 1
# x-axis
set arrow 1 from 0,0 to 100.0, 0.0 nohead linestyle 1
set arrow 2 from 10,0 to 55.0, 77.9 nohead linestyle 2
set arrow 3 from 20,0 to 60.0, 69.3 nohead linestyle 2
set arrow 4 from 30,0 to 65.0, 60.6 nohead linestyle 2
set arrow 5 from 40,0 to 70.0, 52.0 nohead linestyle 2
set arrow 6 from 50,0 to 75.0, 43.3 nohead linestyle 2
set arrow 7 from 60,0 to 80.0, 34.6 nohead linestyle 2
set arrow 8 from 70,0 to 85.0, 26.0 nohead linestyle 2
set arrow 9 from 80,0 to 90.0, 17.3 nohead linestyle 2
set arrow 10 from 90,0 to 95.0, 8.7 nohead linestyle 2
set label 1 "0" at 0,-2.5 center
set label 2 "10" at 10,-2.5 center
set label 3 "20" at 20,-2.5 center
set label 4 "30" at 30,-2.5 center
set label 5 "40" at 40,-2.5 center
set label 6 "50" at 50,-2.5 center
set label 7 "60" at 60,-2.5 center
set label 8 "70" at 70,-2.5 center
set label 9 "80" at 80,-2.5 center
set label 10 "90" at 90,-2.5 center
# y-axis
set arrow 11 from 100, 0.0 to 50.0, 86.6 nohead linestyle 1
set arrow 12 from 95, 8.7 to 5.0, 8.7 nohead linestyle 2
set arrow 13 from 90, 17.3 to 10.0, 17.3 nohead linestyle 2
set arrow 14 from 85, 26.0 to 15.0, 26.0 nohead linestyle 2
set arrow 15 from 80, 34.6 to 20.0, 34.6 nohead linestyle 2
set arrow 16 from 75, 43.3 to 25.0, 43.3 nohead linestyle 2
set arrow 17 from 70, 52.0 to 30.0, 52.0 nohead linestyle 2
set arrow 18 from 65, 60.6 to 35.0, 60.6 nohead linestyle 2
set arrow 19 from 60, 69.3 to 40.0, 69.3 nohead linestyle 2
```

```

set arrow 20 from 55, 77.9 to 45.0, 77.9 nohead linestyle 2
set label 11 " 0" at 100, 0.0 left
set label 12 " 10" at 95, 8.7 left
set label 13 " 20" at 90, 17.3 left
set label 14 " 30" at 85, 26.0 left
set label 15 " 40" at 80, 34.6 left
set label 16 " 50" at 75, 43.3 left
set label 17 " 60" at 70, 52.0 left
set label 18 " 70" at 65, 60.6 left
set label 19 " 80" at 60, 69.3 left
set label 20 " 90" at 55, 77.9 left
# z-axis
set arrow 21 from 50, 86.6 to 0,0 nohead linestyle 1
set arrow 22 from 5.0, 8.7 to 10,0 nohead linestyle 2
set arrow 23 from 10.0, 17.3 to 20,0 nohead linestyle 2
set arrow 24 from 15.0, 26.0 to 30,0 nohead linestyle 2
set arrow 25 from 20.0, 34.6 to 40,0 nohead linestyle 2
set arrow 26 from 25.0, 43.3 to 50,0 nohead linestyle 2
set arrow 27 from 30.0, 52.0 to 60,0 nohead linestyle 2
set arrow 28 from 35.0, 60.6 to 70,0 nohead linestyle 2
set arrow 29 from 40.0, 69.3 to 80,0 nohead linestyle 2
set arrow 30 from 45.0, 77.9 to 90,0 nohead linestyle 2
set label 21 " 0 " at 50, 86.6 right
set label 22 "90 " at 5.0, 8.7 right
set label 23 "80 " at 10.0, 17.3 right
set label 24 "70 " at 15.0, 26.0 right
set label 25 "60 " at 20.0, 34.6 right
set label 26 "50 " at 25.0, 43.3 right
set label 27 "40 " at 30.0, 52.0 right
set label 28 "30 " at 35.0, 60.6 right
set label 29 "20 " at 40.0, 69.3 right
set label 30 "10 " at 45.0, 77.9 right
#
# gx(x,y) = x + y * cos(60) # edge position is "z y x"
gx(x,y) = 100 - (x + y) + y * cos(60)
# 100 - (x + y) will switch edge position to "x y z"
gy(x,y) = y * cos(30)
# -----
# Label of edges
# -----
set label 31 "A" at -5,-5 right font "Helvetica,24" # label x-Axis
set label 32 "F" at 50,92.5 center font "Helvetica,24" # label y-Axis
set label 33 "M" at 105, -5 left font "Helvetica,24" # label z-Axis
# Label of points
set label 34 "R" at 19.3,32.8 center
set label 35 "D" at 28.0,41.5 center
set label 36 "A" at 33.4,47.4 center
set label 37 "BA" at 41.3,53.7 center
set label 38 "FB" at 51.5,58.8 center
set label 39 "B" at 64.3,48.9 center
set label 40 "R" at 19.8,19.2 center
set label 41 "D" at 32.5,27.8 center
set label 42 "A" at 39.0,32.1 center

```

```

set label 43 "BA" at 46.7,36.5 center
set label 44 "B" at 53.7,39.9 center
# Legend
set label 45 "Key" at 85,87 left
set label 46 "A" at 82,82 right
set label 47 "F" at 82,78 right
set label 48 "M" at 82,74 right
set label 49 "B" at 82,70 right
set label 50 "FB" at 82,66 right
set label 51 "BA" at 82,62 right
set label 52 "A" at 82,58 right
set label 53 "D" at 82,54 right
set label 54 "R" at 82,50 right
set label 55 'Na20+K20' at 85,82 left
set label 56 'FeO+Fe203' at 85,78 left
set label 57 "MgO" at 85,74 left
set label 58 "basalt" at 85,70 left
set label 59 "ferro-basalt" at 85,66 left
set label 60 "basaltic andesite" at 85,62 left
set label 61 "andesite" at 85,58 left
set label 62 "dacite" at 85,54 left
set label 63 "rhyolite" at 85,50 left
set label 64 "tholeiitic" at 75.0,34.6 rotate
set label 65 "calc-alkaline" at 72.5,30.3 rotate
# -----
# rotate command in gnuplot just rotate text into 90 degree
# when the text will be rotated into special degree should
# be modified in postscript file
# -----
plot "irvine1.dat" using (gx($1,$2)):(gy($1,$2)) with points 7, \
    "irvine1.dat" using (gx($1,$2)):(gy($1,$2)):(0.1) \
    smooth acsplines notitle with lines 8, \
    "irvine2.dat" using (gx($1,$2)):(gy($1,$2)):(0.1) \
    smooth acsplines notitle with lines 8, \
    "irvine3.dat" using (gx($1,$2)):(gy($1,$2)) with points 71, \
    "irvine3.dat" using (gx($1,$2)):(gy($1,$2)) with line 8
#
set term postscript enhanced color "Roman" 15
set output "irvine.eps"
replot
#
# Coordinate of the points for Irvine & Baragar's classification
# irvine1.dat
# A F M
63.2 35 1.8
49.5 45 5.5
40.7 51.8 7.5
29.2 59.1 11.7
16 65 19
8.9 53.6 37.5
#
# irvine2.dat
# A F M

```

```
64.7 31.7 3.6
51 40 9
35 50 15
21.3 56.2 22.5
15 50 35
10.1 40.8 49.1
#
# irvine3.dat
# A F M
67.7 25 7.3
50 35 15
41 40 18
30.8 45 24.2
21.8 49 29.2
```

Indeks

TeX, 4

algoritma, 9, 11
angka bena, 10
angka signifikan, 10
aproksimasi, 10
azimuth, 58

bagan alir, 12
BSD, 5

close source, 5
copyleft, 5
copyright, 5
Cramer, 18

DEM, 2
diagram piramida, 51
diagram probabilitas, 51
diagram segitiga, 51
diagram skater, 51
digitizer, 75
diskret, 64
divergen, 12
diversity index, 15

Fisher, 15
freeware, 5

galat, 10
Gauss, 17
Gauss-Jordan, 17
Gauss-Newton, 18
Gauss-Seidel, 17
geologi, 1
Geotouch, 66
GIS, 2
GMT, 66, 77
GNU/GPL, 5
GPS, 2

hampiran, 10

IAMG, 6
IDS, 64
indeks sebaran, 15
interval kontur, 70
invers distance, 3
invers distance power, 64
Iterasi, 12
iterasi, 14

kaidah Sturges, 53
kartografi, 1
Kesalahan rambatan, 1
ketelitian, 10
keterusan ruang, 70
komputer, 1
konvergen, 12
kovarian, 70
kriging, 3, 64

Lapace, 17
LaTeX, 4
LGPL, 5
linear programming, 17
LyX, 4

minimum curvature, 3, 64
mobile computing, 2
model matematis, 9

nearest neighbor, 3, 64
Newton-Raphson, 14
numerik, 9

open source, 5

paleoekologi, 15
pengkonturan, 61
peta kontur, 61
Poisson, 15

proprietary, 5

raster, 75

rata-rata aritmatik, 58

rata-rata vektor, 58

resultan, 58

scanner, 75

segitiga, 63

teknologi informasi, 1

tendensi sentral, 58

triangulasi, 63

Uncert, 66

vektor, 75

Vis5d, 66