

KARBONATIT: PETROLOGI DAN GEOLOGI EKONOMI

OKKI VERDIANSYAH

INTISARI. Karbonatit merupakan batuan beku dengan kandungan mineral karbonat lebih dari 50%. Karbonatit sangat dekat eratannya dengan kompleksitas batuan pada tatanan geologi pemekaran tengah benua, disepanjang zona sesar. Dari studi keterdapatannya, karbonatit ditemukan sebagai batuan intrusif maupun ekstrusif. Karbonatit merupakan batuan beku yang memiliki tingkat kompleksitas mulai dari yang tinggi sampai sederhana, dengan mineral esensial adalah varietas kalsit atau dolomit dengan beberapa mineral felsik dan mafik serta kehadiran fosfat, sulfat, mineral oksida besi, karbonat mineral jarang (RE carbonates), sulfida, fluorit, dan jenis oksida Nb. Tekstur pada batuan karbonatit dilihat dari keragaman dan jumlah mineral tersebut. Secara ekonomi, karbonatit memiliki kandungan unsur incompatible element yang bernilai tinggi, seperti unsur jarang (REE) dan LILE (*Large Ion Lithophile Elements*). Cadangan unsur bernilai ekonomi tinggi terdapat sebagai endapan tunggal atau berkelompok, dimana setiap kompleks atau tipe karbonatit berbagai lokasi mempunyai kandungan unsur yang berbeda-beda.

1. PENDAHULUAN

Karbonatit telah menjadi suatu topik sangat penting bagi petrologis dan geologis dalam beberapa dekade akhir ini. Secara genetik karbonatit memiliki hubungan dekat dengan batuan alkali subsilikat atau batuan alkali ultramafik. Banyak batuan yang menampakan ciri sebagai batuan beku silikat juga terlihat pada karbonatit. Karbonatit hadir pula pada batuan beku intrusif dan ekstrusif, dimana batuan intrusif ini terbentuk pada berbagai kedalaman. Karbonatit dapat hadir sebagai dike, sill, lembaran-lembaran pipa stok, dan beberapa tubuh yang tidak beraturan. Tipe ekstrusif hadir sebagai aliran dan aliran piroklastik yang saat ini merupakan suatu volkanik aktif Oldoinyo Lengai, Tangayika, Tanzania.

Secara petrologi, kompleks karbonatit menunjukkan variasi-variasi dari beberapa spesies karbonat dengan umur relatif (seri diferensiasi). Batuan-batuan tersebut berkembang menjadi sebuah variasi dari batuan alkali subsilikat, hingga berkembang dalam beberapa variasi silikat lainnya. Meskipun dikarakteristikan oleh perbedaan unsur minor yang tinggi dan kehadiran unsur jejak, karbonatit dibedakan dalam konsentrasi relatif dari beberapa unsur-unsur ini (seperti tipe Nb, RE) dan unsur-unsur tertentu hadir secara mineralogi (monasit vs karbonat RE). Dalam batuan beku silikat, unsur minor dapat hadir dalam beberapa spesies (Ba dalam kalsit) atau barit.

Diyakini bahwa karbonatit itu terbentuk dalam beberapa cara seperti kristalisasi langsung dan penggantian dari magma, penggantian atau presipitasi dari hidrotermal, dan solidifikasi dari material kaya karbonat (rheomorfik). Namun, dalam hipotesa lainnya dapat dijumpai hal yang berbeda. Perbedaan ini merupakan cerminan dari kompleksitas studi mengenai karbonatit itu sendiri.

2. HIPOTESA / GENESA KARBONATIT

Karbonatit terbentuk dari beberapa genesa khusus yang dapat dikatakan saling berbeda, tergantung dari tipe lokasi pembentukannya serta keberadaan karbonatit pada kompleksnya. Karbonatit dapat berasal dari beberapa proses, yaitu: 1) Reomorfisme atau mobilisasi batugamping dan marmer. 2) Metasomatisme alkali atau rekristalisasi dari batugamping atau senolit marmer atau keduanya. 3) Penggantian hidrotermal dari berbagai batuan beku alkali, pengisian retakan, atau deposisi ruang terbuka oleh larutan hidrotermal. 4) Magmatik:

- Larutan karbonatitik primer dan batuan alkali yang berasosiasi yang berasal dari metasomatisme pada batuan dinding.
- Larutan karbonatitik sebagai larutan primer dan juvenil. Reaksi terjadi pada level yang dalam dengan batuan hancuran membentuk magma alkali
- Larutan karbonatitik merupakan larutan sekunder yang terbentuk dari fraksinasi yang sejalan dengan diferensiasi dari satu atau beberapa magma induk (seperti: ijolitik, peridotitik), CO₂ sebagai juvenil.
- Larutan karbonatitik merupakan larutan sekunder yang terbentuk dari fraksinasi selama diferensiasi dari satu magma alkali yang terkontaminasi oleh batugamping sinteksis.

Hipotesa dan teori pembentukan karbonatit berdasarkan studi petrologi dan geokimia menghasilkan kesimpulan bahwa karbonatit dapat terbentuk secara primer dari kristalisasi magma alkali, lelehan residual dari fraksinasi kristalisasi dari magma peridotit alkali karbonat, fraksi fluida immiscible yang terpisah dari magma induk kimberlitik, melilitik, nefelinitik (Wyllie *et al.*, 1990). Karbonatit dapat didefinisikan sebagai batuan yang kaya karbonat (50 % atau lebih) yang tidak terbentuk secara sedimen dan metamorfosa. Pada istilah karbonatit sebenarnya sangat sulit untuk mendefinisikan karbonatit tanpa mengaplikasikannya dengan genesa dan keterdapatannya.

Smith (1956, dalam Heinrich, 1966) mendeskripsikan karbonatit sebagai batuan yang mempunyai komposisi mineral serupa dengan batugamping dan marmer dari asal proses sedimenter, yang hadir dalam batuan intrusi dan dikenal berasosiasi dengan batuan beku alkali. Pecora (1956, dalam Heinrich, 1966) mendefinisikan bahwa istilah karbonatit telah disimpulkan untuk batuan kaya karbonat yang mungkin terbentuk dari fluida kaya karbonat, yang berasal dari proses magmatisme.

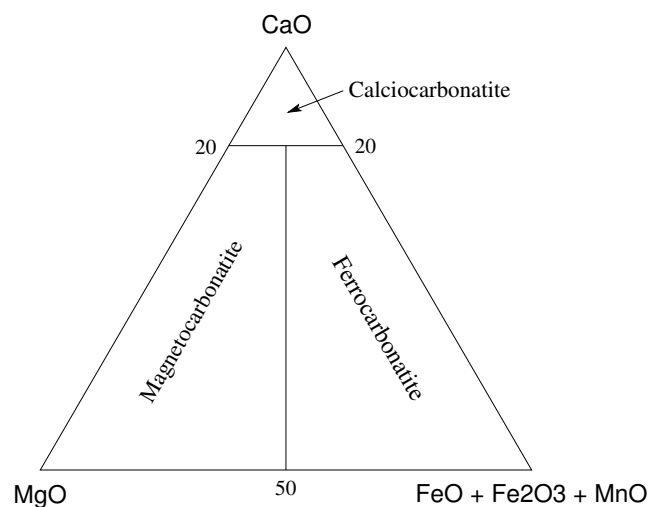
3. KLASIFIKASI DAN ISTILAH PENAMAAN KARBONATIT

Secara umum karbonatit dapat dikatakan sebagai batuan yang memiliki kandungan karbonat cukup tinggi, dan merupakan batuan beku. Dalam studi karbonatit itu sendiri, terdapat beberapa istilah yang cukup berbeda karena dibuat berdasarkan karakteristik lokasi dan faktor pengamatan peneliti itu sendiri. Karbonatit merupakan batuan beku yang memiliki tingkat kompleksitas mulai dari yang tinggi sampai sederhana, dengan mineral esensial adalah varietas kalsit atau dolomit dengan beberapa mineral felsik dan mafik serta kehadiran fosfat, sulfat, mineral oksida besi, karbonat unsur jarang (*RE carbonates*), sulfida, fluorit, dan jenis oksida Nb. Tekstur pada batuan karbonatit dilihat dari keragaman dan jumlah mineral tersebut.

Berdasarkan varietas dari karbonat esensialnya, maka karbonatit terbagi menjadi *calcitic sövite* dan *dolomitic sövite*, dengan beberapa nama lainnya yang berbeda dalam penggunaan istilah seperti *calcitic rauhaugite*, *dolomitic sövite*, *ankeritic rauhaugite* (Brögger, 1921 dalam Heinrich, 1966). Ada beberapa versi sistem klasifikasi batuan

karbonatit, seperti klasifikasi tingkat kimiawi oksida dan model kandungan silika dalam karbonatit. Klasifikasi pada Gambar 3.1 hanya dapat digunakan untuk batuan beku yang mengandung >50% karbonat (Streckeisen, 1979, dalam Wooley *et al*, 1996). Berdasarkan mineralogi, karbonatit dapat dibedakan menjadi:

- (1) *Calcite-carbonatite* – dimana karbonat utamanya adalah kalsit. Jika berukuran kasar maka disebut *sövite*; jika sedang sampai halus disebut *alvikite*.
- (2) *Dolomite-carbonatite* – dimana karbonat utamanya adalah dolomit. Juga disebut sebagai *beforsite*.
- (3) *Ferrocarnatite* – dimana karbonat utamanya merupakan karbonat kaya besi.
- (4) *Natrocarbonatite* – mengandung unsur utama berupa sodium, potasium, dan kalsium karbonat. Sampai saat ini hanya ditemukan di gunungapi Oldoinyo Lengai, Tanzania.

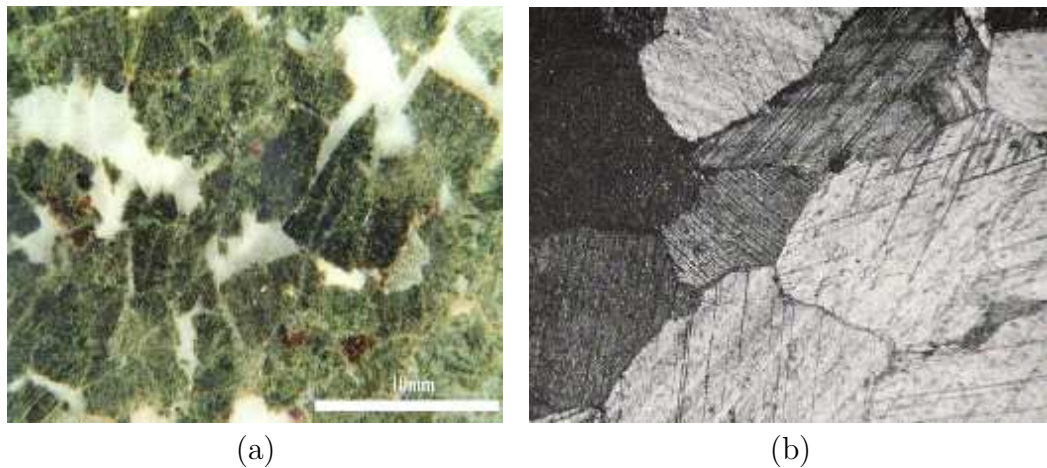


GAMBAR 3.1. Klasifikasi Karbonatit berdasarkan MgO–FeO–CaO (Streckeisen, 1979, dalam Wooley *et al*, 1996)

Klasifikasi dan istilah seputar karbonatit telah dijabarkan oleh Rogger (1921); Eckerman (1948) dalam Heinrich, 1966).

Komposisi mineralogi. Dalam analisis karbonatit tidak ada data kuantitas mineralogi yang pasti dapat digunakan, maka dalam penentuan jenis karbonatit, lebih ditentukan berdasarkan tekstur dan heterogenitas mineral serta dengan perlakuan tertentu terhadap suatu jenis karbonatit. Mineral-mineral yang umum terdapat dalam karbonatit yaitu mineral karbonat (kalsit, dolomit, karbonat unsur jarang, dan alkali karbonat), grafit, fosfat, sulfat, fluorit, sulfida, titanium oksida, niobium bearing oksida, baddeleyit, piroksen, garnet, mika, wolastonit, amfibol, kuarsa, feldspar, silikat lainnya. Pecora (1956, dalam Heinrich, 1966) mengatakan bahwa telah ada lebih dari 50 mineral yang ada pada pengamatan karbonatit.

Tekstur. Karbonatit atau *sövite* mempunyai berbagai macam tekstur, bentuk dan ukuran. Beberapa tekstur yang terlihat dapat berupa derajat orientasi kristal, atau foliasi yang kuat. Foliasi biasanya terbentuk sebagai paralelisasi dari butiran karbonat, orientasi kristalografi dari kalsit, paralelisasi dari silikat dan magnetit atau karbonat lainnya yang berbentuk lensa, atau lapisan. Beberapa tekstur yang umum pada batuan karbonatit dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan Tabel 1.



GAMBAR 3.2. Tekstur pada karbonatit: a) piroksen dalam kalsit (Anonim, 2005); b) tekstur mosaik (granitoid) pada soevit (Heinrich, 1966).

TABEL 1. Tekstur pada Karbonatit (Heinrich, 1966)

<i>Type</i>	<i>Description</i>
1. Gneissoid (flow)	Subparallel to parallel alignment of grain axes and/or crystallographic axes
2. Banded	Parallel alignment of lenses and bands of contrasting mineralogy or grain size. In some case bands may be crumpled, may grade into a mega banding or zonal structure of the entire body
3. Granitoid (“massive”)	Equigranular-anhedral
4. Aphanitic (“marzipan”)	Like 3, but so fine-grained that grain can be seen only microscopically
5. Pegmatitic	Very coarse-grained (carbonate grains several inches or more across), heterogranular, and texturally diverse (banding comb structure)
6. Shear foliation	Close-spaced, subparallel, wavy fracture planes coated by younger minerals. May be autoclastic
7. Breccia	Rotated fragments of various wall rocks or of older carbonatite in carbonatite matrix or pieces of carbonatite in an alcaic silicate rock matrix
8. Replacement	Veins, corrosion, pseudomorphs, relict, pseudobreccia
9. Porphyritic	Large single crystals in a finer-grained host. Includes both true phenocrysts and large euhedral metacryst
10. Metamorphic	Cataclastic features, multiple microshear, grain attenuation, boudinage.

Kompleks karbonatit dan batuan alkali. Komplek karbonatit merupakan suatu kesatuan kelompok batuan dalam suatu tempat dimana ditemukannya batuan karbonatit tersebut. Kompleks karbonatit juga menggambarkan tipe endapan karbonatit yang sangat beragam. Tipe-tipe kehadiran dari karbonatit dikelompokkan sebagai:

- (1) Asosiasi dengan kompleks cincin alkali (Cyclolith)

- (a) Karbonatit inti
Lokasi: Jacupigara (Brazilia), Fen (Norway), Alnö (Swedia), Kaiserstuhl (Jerman), Phalaborwa (Afrika Selatan), Pulau Chilwa (Nyasaland), Magnet *cove* (Arkansas).
 - (b) Kompleks cincin yang mengandung karbonatit dan fenit (tanpa intrusi alkali silika atau sangat sedikit).
Lokasi: Danau Lacker, Ontario (*cone-sheet*), Shawa, Rhodesia Selatan, Spitskop, Afrika Selatan (*ring dike*).
 - (c) Dike, Ringdike, *cone-sheet*, zona breksi dari karbonatit tanpa, satelit, kompleks cincin alkali tanpa core karbonatit.
Lokasi: Sungai Firesand (Ontario), Ngualla, Mbeya, Tanganyika, Nkombwa, Rhodesia Utara.
- (2) Asosiasi dengan kompleks alkali tanpa ring
- (a) Lembaran (sheets) besar atau tabular atau masa tak beraturan. Dike kecil mungkin memotong batuan silikat atau batuan dindingnya. Pegunungan Mass (California), Seiland (Norwegia).
 - (b) Dikes, swarm dikes, stockwork, atau sill tanpa kompleks alkali. Pegunungan McLure (Colorado), Tamazert (Moroko), Lonnie (British Columbia).
- (3) Tidak berasosiasi secara langsung dengan kompleks alkali
- (a) Lembaran-lembaran besar dengan struktur campuran.
Lokasi: Kaluwe (Rhodesia Utara), Ikomba (Tanganyika).
 - (b) Swarms of Carbobnatites dikes or sills.
Lokasi: Wigu Hill, Montana, Teluk Salmon.
- (4) Karbonatit ekstrusif (volkanik)
- (a) Aliran lava.
Lokasi: Fort portal (Uganda timur), Oldoinyo Lengai (Tanganyika).
 - (b) Piroklastik.
Lokasi: Danau Laacher (Jerman), Hopi Buttes (Arizona), dan Kawah Basotu (Tanganyika).

4. GEOLOGI EKONOMI

Karbonatit sangat kaya kandungan unsur tanah jarang (REE), dan merupakan batuan yang mengandung REE paling banyak dibanding batuan beku lainnya (Heinrich, 1966). Niobium (Nb) merupakan salah satu unsur yang sering ditambang dalam karbonatit, karena kehadiran piroklor dan mineral dengan sampingan Niobium sangat sering dijumpai dalam karbonatit. Pada pertambangan karbonatit juga sering dihasilkan fosfat, fluorit, dan REE.

Endapan ekonomis pada karbonatit, sangat berasosiasi dengan kompleks batuan alkali. Secara ekonomis, karbonatit mengandung unsur-unsur berharga tinggi yang tergolong sebagai logam jarang seperti niobium, *rare earth*, thorium, serta unsur fosfat, tembaga, besi, titanium, zirconium, aluminium, barit, fluorit, vermikulit, dan soda.

Klasifikasi endapan mineral pada karbonatit. Tipe endapan mineral yang terkandung dalam karbonatit diklasifikasikan berdasarkan bentuk, ukuran, tekstur dan keterdapatannya. Klasifikasi endapan mineral pada karbonatit diidentikkan dengan adanya kompleks batuan alkali. Berikut adalah klasifikasi endapan mineral pada kompleks karbonatitik alkali (Heinrich, 1966)

- (1) Endapan prakarbonatit

- (a) Berasosiasi dengan batuan ultramafik dan mafik
 - (i) Kumpulan magnetit-ilmenit (Iron Mt., Fremont Co. Colorado) meningkat sampai menjadi konsentrasi magnetit dan diseminasi pada peridotit, piroksenit, jakupirangit (Alnö, swedia)
 - (ii) Lensa dan massa magnetit-perovskit (Iron Hill, Gunnison Co, Colo, Jakupirangit dan Ipanema, Brazil)
 - (iii) Diseminasi perovskit pada piroksenit (Afrikanda, USSR)
 - (iv) Sebagai tubuh magnetit-apatit-piroklor (Lacher Lake, Ontario): Apatit-magnetit
 - (v) Diseminasi piroklor pada malignit (Nemegosenda lake, Ontario)
- (b) Asosiasi dengan batuan felsik: nefelin dalam tuvinit (Tuva, USSR)
- (c) pada fenit dan batuan kontak lainnya: piroklor (Nemegosenda Lake, Ontario)
- (2) Endapan karbonatitik
 - (a) Tahap awal (pemula)
 - (i) Batuan Karbonat (Tororo, Uganda)
 - (ii) Apatit, diseminasi dan melensa pada sövite dan rauhaugit (Araxã dan Jacupiranga, Brazil. Alno, Swedia, Bukit Sukulu, Uganda)
 - (iii) Magnetit, diseminasi dan berlapis pada sövite (Bukusu, Uganda)
 - (iv) Baddeleyit-thorianit, diseminasi dalam sövite (Phalaborwa, Afrika selatan)
 - (v) RE, karbonatit kalisit-barit-bastnasit (Sulphide Queen, Montana)
 - (b) Menengah

Piroklor, diseminasi, zonasi, pada sövite, dengan kenampakan khas timbul retakan dan rekahan, serta altereasi deuteritik (Iron Hill, Gunnison, Colorado)
 - (c) Akhir
 - (i) RE dan thorium, pengganti akhir pada intrusi ankeritik, sideritik, dan karbonatit manganitik serta karbonat RE (Iron Hill Colorado)
 - (ii) Fe, pada karbonat hematitik (Roberg, Norway), dan paa karbonatit sideritik (Kalkfeld, Afrika baratdaya)
 - (iii) Cu, sebagai tubuh alterasi sulfida tembaga (Phalaborwa, Afrika Selatan)
- (3) Urat-urat karbonatit akhir dan penggantian
 - (a) Ti, Rutil dan Brookit sebagai urat, tubuh pengganti, mengandung Li sebagai mika taenolit (Magnet Cove, Arkansas)
 - (b) Th-RE veins, pada kompleks urat atau rekahan mineralisasi, biasanya bersifat hematitik, dengan thorit dan monasit atau senotime, biasanya gerdapat diluar kompleks karbonatit. (Iron Hill, Colorado)
 - (c) Ba, sebagai urat barit (Alno,Swedia; Shawa, Rhodesia; Nyasalang, Magnet Cove)
 - (d) Urat fluorit (Okorusu, Uganda; Bukusu, Uganda); Amba Dongar, India)
 - (e) Apatit, sebagai urat (Magnet Cove, Ark; Spitskop, Afrika selatan)
 - (f) Nb, *quartzose columbite vein* (Iron Hill, Colorado)
 - (g) Sr, urat strontianit (Kangankunde, Nyasaland)
- (4) Endapan supergen
 - (a) Tufa, travertin, *soda lakes*, *CO₂ springs*
 - (b) Lateritik besi, mangan, fosfat sekunder
 - (c) Akumulasi residual apatit, piroklor, barit, magnetit, fluorit, zircon, baddeleyit, rutil, brookit, anatase, leukosen

(d) Air tanah: vermikulit

5. KESIMPULAN

Karbonatit dapat didefinisikan sebagai batuan yang kaya karbonat (50 % atau lebih) yang tidak terbentuk secara sedimentasi dan metamorfosa. Secara mineralogis, karbonatit memiliki tingkat kompleksitas yang tinggi dan dapat juga sangat rendah, dengan komposisi mineralogi tiap tipe karbonatit berbeda-beda. Tekstur batuan pada karbonatit tergantung dari mineralogi pembentuknya, yang umumnya akan menampilkan adanya foliasi, mosaik.

Karbonatit memiliki nilai ekonomi yang cukup tinggi yaitu dengan kandungan unsur-unsur jarang seperti niobium, tanah jarang (*rare earth*), thorium, titanium, serta unsur lainnya seperti fosfat, tembaga, besi, zirconium, alumunium, barit, fluorit, vermikulit, dan soda. Endapan karbonatit tidak lepas dari jenis kompleks ditemukannya karbonatit itu, yang secara umum terbagi menjadi endapan pra-karbonatit, endapan karbonatitik, urat-urat karbonatit akhir dan penggantian, endapan supergen.

UCAPAN TERIMAKASIH

Tulisan ini merupakan ringkasan dari Referat yang telah penulis susun. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada Perpustakaan Jurusan Teknik Geologi yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan studi pustaka dan Bapak Dr. I Wayan Warmada yang telah bersedia menjadi pembimbing referat dan menyunting naskah ini.

DAFTAR ACUAN

- [1] Anonim, 2005, URL: <http://web.uct.ac.za/depts/geolsci.html>
- [2] Dawson, 2005, The Oldoinyo Lengai, URL: <http://it.stlawu.edu/~cnya/Lenweb2b.htm>
- [3] Heinrich, E.W., 1966, The geology of carbonatites: Rand McNally, Chicago
- [4] Le Bas M.J., 1977, Carbonatite – nephelinite volcanism: An African case history, John Wiley and Sons, Great Britain.
- [5] Mc Lemore VT., Modreski P.J., 1990, Mineralogy and geochemistry of altered rocks associated with Lemitar carbonatites, central New Mexico, USA, *Lithos* v. 26, pp. 99-113.
- [6] Modreski P. J., 1986, Carbonatite deposits, URL: <http://www.pubs.usgs.gov/bul/b1693>
- [7] Murray, J.W., 1981, A guide classification in geology, Ellis Horwood Limited, New York
- [8] Williams, H. Turner F.J., Gilbert C.M., 1982, Petrography: An introduction to the study of rock in thin section, Freeman and Company, New York.
- [9] Ray J.S., Shukla P.N., 2004, Trace element geochemistry of Amba Dongar carbonatite complex, India: Evidence for fractional crystallization and silicate-carbonate melt immiscibility, *Proc. Indian Acad. Sci. (Earth Planet. Sci.)* v. 113, pp. 519-531
- [10] Wyllie P.J., Baker M.B., White B.S., 1990, Experimental boundaries for origin and evolution of carbonatites, *Lithos* v. 26, pp. 3-19
- [11] Wooley A.R., 1996, A web browser flowchart for the classification of igneous rocks, URL: <http://www.geol.lsu.edu/henry/Geology3041/Lecture.htm>