

A. C. Mclean C. C. Gribble

**geologi**  
*untuk*  
**JURUTERA AWAM**

Penterjemah  
KHAIRUDDIN ABDUL KARIM

Penerbit  
Universiti Teknologi Malaysia  
Skudai  
Johor Darul Ta'zim  
1998

# Kandungan

*Kata pengantar kepada edisi kedua*

*Kata pengantar kepada edisi pertama*

ix

*Penghargaan*

xi

<b>1</b>	<b><i>Pengenalan</i></b>	<b>1</b>
1.1	Peranan jurutera dalam penjelajahan bersistem ke atas tapak	1
1.2	Perkaitan geologi dengan kejuruteraan awam	3
1.3	Sains geologi	3
1.4	Tujuan dan organisasi buku ini	4
<b>2</b>	<b><i>Mineral dan batuan</i></b>	<b>6</b>
2.1	Mineral pembentuk batuan lazim	6
2.1.1	Sifat-sifat mineral	6
2.1.2	Mineral silikat	13
2.1.3	Mineral bukan silikat	31
2.2	Batuan	34
2.2.1	Sifat batuan	34
2.2.2	Batuan igneus	35
2.2.3	Struktur dan bentuk batuan igneus	43
2.2.4	Batuan sedimen	51
2.2.5	Batuan metamorf	65
<b>3</b>	<b><i>Mendapan superfisial</i></b>	<b>72</b>
3.1	Tanah	72
3.2	Luluhawa	72
3.2.1	Pengenalan	72
3.2.2	Luluhawa mekanikal	74
3.2.3	Luluhawa kimia	76
3.2.4	Luluhawa biologi	77
3.2.5	Peranan tumbuhan	78
3.2.6	Pengaruh iklim	78
3.3	Tanah sisa moden	79
3.3.1	Pembentukan tanah dan gred kejuruteraan luluhawa	79
3.3.2	Pemerihalan tanah	80
3.3.3	Terminologi tanah	83

3.3.4	Pengelasan tanih sisa	84
3.4	Mendapan superfisial terangkut	84
3.4.1	Pengenalan	84
3.4.2	Mendapan bawaan angin	87
3.4.3	Mendapan (bawaan sungai) aluvium	88
3.4.4	Hakisan dan pemendapan di kawasan pantai	91
3.5	Mendapan (bawaan ais) glasier	97
3.5.1	Pengenalan	97
3.5.2	Pengglasieran semasa Epok Pleistosen	97
3.5.3	Glasier dan alirannya	98
3.5.4	Hakisan oleh ais	101
3.5.5	Pemendapan oleh ais	103
3.5.6	Pemendapan oleh air lebur	105
3.5.7	Fenomena glasier lewat dan pascaglasier	106
3.5.8	Fenomena periglasier	107
3.6	Bentuk bumi	109
3.6.1	Bentuk bumi hakisan	109
3.6.2	Bentuk bumi pemendapan	113
4	<i>Taburan batuan di permukaan dan di bawah permukaan</i>	<b>116</b>
4.1	Pengenalan	116
4.2	Peta dan keratan geologi	117
4.3	Sifat dan kegunaan stratigrafi	120
4.3.1	Jenis batuan dan persekitaran masa silam	120
4.3.2	Skala masa geologi	125
4.3.3	Pembentangan stratigrafi batuan dalam peta dan laporan	130
4.4	Canggaan batuan (geologi struktur)	131
4.4.1	Singkapan dan struktur subpermukaan	131
4.4.2	Lapisan berkemiringan seragam (strata mengufuk pugak dan condong)	132
4.4.3	Lipatan	137
4.4.4	Retakan dalam batuan	144
4.4.5	Sesar	147
4.4.6	Kekar	152
4.4.7	Ketakselarasan, lampau-injak dan lapik mara (tindihan)	157
4.5	Tektonik keping dan keseismikan	158
4.5.1	Lapisan dan keping bumi	158
4.5.2	Magnitud dan keamatan gempa bumi	166
4.5.3	Hubungan antara gempa bumi dengan sesar	167

4.5.4	Peramalan gempa bumi	170
4.5.5	Risiko dan masalah seismik bagi jurutera	171
4.6	Kerak benua	173
4.6.1	Fitur utama kerak benua	173
4.6.2	Batuan-batuan di Britain	173
5	<i>Air (tanah) subpermukaan</i>	182
5.1	Kelakuan air dalam batuan dan tanah	182
5.1.1	Keporosan, kekondukan hidraulik dan kebolehtelapan	182
5.1.2	Hukum Darcy	183
5.2	Edaran semula jadi air subpermukaan	185
5.2.1	Kerpasan dan penyebarannya	185
5.2.2	Air tanah dan aras air tanah	188
5.2.3	Aliran air tanah	191
5.2.4	Pengawalan geologi ke atas pergerakan air subpermukaan	194
5.2.5	Luahan semula jadi air tanah	198
5.3	Beberapa aspek amalan kejuruteraan air tanah	201
5.3.1	Air tanah dan kejuruteraan	201
5.3.2	Inventori air tanah	202
5.3.3	Penapakan dan pengujian telaga-telaga individu	205
5.3.4	Penyaliran air tanah	206
5.3.5	Pembuangan sisa toksik, dan penyimpanan bendalir, di bawah tanah	209
6	<i>Penjelajahan geologi satu tapak kejuruteraan</i>	214
6.1	Pertimbangan am	214
6.1.1	Pengenalan	214
6.1.2	Taakulan induktif	215
6.1.3	Penjelajahan bersistem satu tapak	218
6.2	Penyiasatan rintis	219
6.2.1	Sumber maklumat bagi penyiasatan tapak di UK	219
6.2.2	Geologi tapak	222
6.2.3	Lombong lama mineral	224
6.3	Survei geofizik gunaan	229
6.3.1	Pengenalan	229
6.3.2	Gelombang seismik	232
6.3.3	Kaedah pembiasan seismik	235
6.3.4	Kaedah pemantulan seismik	241

6.3.5	Survei seismik : sejarah kes	243
6.3.6	Kaedah elektrk	245
6.3.7	Kaedah magnet	249
6.3.8	Kaedah graviti	252
6.4	Penggerudian, penggerakan, perparitan dan pembopengan	254
6.4.1	Penggerudian dan penggerakan	254
6.4.2	Perparitan dan pembopengan	259
6.4.3	Keadaan air tanah	260
<b>7</b>	<b><i>Batuan dan kejuruteraan awam</i></b>	<b>263</b>
7.1	Pengelasan batuan untuk tujuan kejuruteraan	263
7.1.1	Pengelasan batuan menggunakan kriteria mudah	263
7.1.2	Pengelasan kumpulan batuan secara kejuruteraan	265
7.2	Sifat-sifat kejuruteraan batuan	268
7.2.1	Isotropisme	268
7.2.2	Sifat-sifat indeks batuan	268
7.2.3	Batuan sebagai agregat	280
7.2.4	Ciri beberapa jenis batuan lazim sebagai agregat	284
7.3	Penggerudian, letupan, dan pengorekan batuan	289
7.3.1	Sifat-sifat batuan yang berkaitan dengan penggerudian	289
7.3.2	Teknik-teknik letupan	290
7.3.3	Sejarah kes pengorekan batuan : Jalan Strome baru ( A890 ), Wester Ross, Scotland.	292
7.3.4	Ujian masalah	296
<b>8</b>	<b><i>Faktor geologi utama yang mempengaruhi projek-projek kejuruteraan tertentu</i></b>	<b>300</b>
8.1	Kestabilan cerun dan potongan	300
8.1.1	Faktor geologi yang mempengaruhi kestabilan pengorekan baru	300
8.1.2	Faktor-faktor geologi lain yang menyebabkan ketidakstabilan cerun sedia ada.	301
8.1.3	Jenis kegagalan cerun tanah	302
8.1.4	Jenis kegagalan cerun semula jadi batuan	303
8.1.5	Penstabilan cerun	309
8.1.6	Sejarah kes: pengorekan Dok Kishorn, Wester Ross, Scotland	309
8.2	Air permukaan terbendung: geologi tapak takungan dan empangan	313

8.2.1	Bocoran dan pertimbangan lain	313
8.2.2	Sejarah kes : bocoran dari Empangan Clubbiedean, Midlothian, Scotland	316
8.3	Geologi terowong	318
8.3.1	Pertimbangan geologi dalam pembinaan terowong	318
8.3.2	Kaedah pengorekan	320
8.3.3	Kerumitan yang timbul daripada keadaan geologi setempat	321
8.3.4	Sejarah kes : Terowong Selat Inggeris yang telah dicadangkan	326
Lampiran A	<i>Pemerihalan beberapa kumpulan penting tanah</i>	331
Lampiran B	<i>Sifat hidraulik dan ujian pengepaman satu akuifer</i>	338
Lampiran C	<i>Survei Geologi Britain dan Survei Geologi kerajaan lain</i>	341
Lampiran D	<i>Penjelajahan lombong-lombong lama batu arang di United Kingdom</i>	345
Lampiran E	<i>Graf masa-jarak ketibaan pertama bagi model halaju yang terdiri daripada dua lapisan yang terpisah oleh satu antara muka mengufuk, dan dalam mana <math>V_2</math> adalah lebih besar berbanding dengan <math>V_1</math></i>	348
Lampiran F	<i>Kualiti agregat</i>	350
Lampiran G	<i>Kualiti agregat dan ujian-ujian di negara-negara lain</i>	358
Lampiran H	<i>Pemerihalan bersistem batuan dan ketakselanjaraan batuan</i>	364
	<i>Indeks</i>	370

# 1

## PENGENALAN

### 1.1 Peranan Jurutera Dalam Penjelajahan Bersistem Ke atas Tapak

Disebabkan penyiasatan ke atas kesesuaian dan ciri-ciri tapak mempengaruhi reka bentuk dan penyusunan kerja-kerja kejuruteraan awam serta keselamatan struktur-struktur berhampiran, butir-butir tentang penyiasatan ini diterangkan dalam Kod Amalan Piawai Britain bagi penyiasatan tapak (BS 5930: 1981, dahulunya CP 2001). Bahagian-bahagian tentang geologi dan penjelajahan tapak menentukan tahap minimum yang perlu diketahui oleh seseorang jurutera profesional.

Penjelajahan dan pemeriksaan bersistem satu tapak baru *mungkin* melibatkan lima peringkat prosedur. Peringkat-peringkat ini adalah:

- (1) *penyiasatan rintis* menggunakan maklumat yang telah diterbitkan dan data sedia ada yang lain;
- (2) *survei geologi terperinci* tapak, mungkin berserta kajian fotogeologi;
- (3) *Survei-survei geofizik gunaan* bagi menyediakan maklumat tentang geologi subpermukaan;
- (4) *penggerakan, penggerudian dan pengorekan* bagi memastikan keputusan-keputusan yang diperolehi sebelumnya dan bagi pemerincian kuantitatif tempat-tempat genting di tapak; dan
- (5) *pengujian tanah dan batuan* untuk menilai kesesuaian, khususnya ciri-ciri mekanikal (**mekanik tanah** dan **mekanik batuan**), sama ada *in situ* atau menggunakan sampel-sampel

Dalam projek kejuruteraan yang besar, setiap peringkat ini mungkin dijalankan dan dilapor oleh seorang perunding yang pakar dalam bidang geologi, geofizik atau kejuruteraan (serta berpengetahuan terperinci tentang mekanik tanah dan batuan). Walaupun khidmat seorang pakar digunakan, seorang jurutera biasanya akan menyelia dan bertanggungjawab ke atas projek secara keseluruhannya. Oleh itu, seorang jurutera

mestilah mempunyai kefahaman yang cukup tentang geologi bagi mengetahui bagaimana dan bila kepakaran pakar perunding boleh dan perlu digunakan, dan bagi membolehkan dia dapat membaca laporan-laporan mereka dengan daya pengertian yang baik, menentukan ketepatannya, dan menilai bagaimana keadaan-keadaan yang telah diperihalkan boleh mempengaruhi projek tersebut. Dalam sesetengah kes, seseorang jurutera dapat mengenalpasti jenis-jenis batuan lazim dan struktur-struktur geologi yang mudah, dan tahu di mana dia boleh memperoleh maklumat tentang geologi untuk kegunaan pemeriksaan rintis. Apabila membaca laporan, atau mengkaji peta-peta geologi, dia mestilah mempunyai kefahaman yang menyeluruh tentang makna istilah-istilah geologi dan berkebolehan memahami konsep-konsep dan alasan-alasan geologi. Sebagai contoh, batuan sedimen klas yang terdapat di bawah tapak yang diperihalkan dalam laporan geologi mungkin disalah anggap oleh seorang jurutera awam sebagai terdiri secara keseluruhannya daripada batu pasir. Batuan sedimen klas meliputi berbagai-bagai jenis yang berbeza, seperti konglomerat, batu pasir dan syal atau batu lumpur. Sudah tentu ia bukanlah sesuatu yang luar biasa jika terdapat jujukan-jujukan beberapa jenis batuan yang berbeza di tapak yang sedang dibangunkan – katakanlah, saling-lapis lapisan-lapisan batu pasir dan syal, atau batu pasir dengan lapisan-lapisan konglomerat. Setiap jenis batuan ini mempunyai sifat-sifat kejuruteraan yang berbeza, yang mana boleh mempengaruhi banyak aspek kerja pembangunan seperti penggerudian teras ke dalam, dan pengorekan jisim batuan, dan pencerucukan dalam ke dalam strata-strata di bawah tapak.

Pengujian bersistem sifat-sifat kejuruteraan ke atas tanah dan batuan terletak antara geologi klasik dan disiplin-disiplin kejuruteraan yang lebih lama, seperti kajian struktur. Ia telah menarik minat, dan mendapat sumbangan daripada mereka yang mempunyai latihan awal sama ada dalam bidang geologi atau kejuruteraan, tetapi kebanyakannya telah berkembang dalam jabatan kejuruteraan awam dan kejuruteraan lombong itu sendiri dan biasanya diajar oleh kakitangan di jabatan-jabatan tersebut. Ujian-ujian ini, dan petunjuk tentang reka bentuk atau pengolahan masalah-masalah yang timbul daripadanya, lazimnya merupakan persoalan bidang jurutera, dan dengan demikian luar daripada skop buku ini. Sebabnya ialah hal ini terletak pada amalan tradisi kedua-dua bidang ini. Latihan seseorang jurutera memberikannya pengajaran yang kukuh daripada segi menyatakan kesimpulan dan keputusannya dalam bentuk angka-angka, dan daripada segi menyelaraskan diri kepada satu tatahukum amalan. Dia juga mempunyai kefahaman tentang peringkat pembinaan projek kejuruteraan, dan adalah lebih layak menilai perkaitan

Sebab berlakunya pembahagian tradisi antara amalan geologi dan kejuruteraan mestilah dijelaskan. Bagaimanapun, ini dapat dilakukan dengan menyentuh kemajuan penting yang telah dicapai sepanjang dekad yang lepas. Peningkatan daripada segi kursus-kursus sarjana muda dan ijazah lanjutan yang telah ditawarkan, penerbitan dan perkhidmatan daripada pakar dalam bidang geologi kejuruteraan sama ada yang dirintis atau dibiayai oleh jabatan geologi atau badan-badan seperti Persatuan Geologi London, mencerminkan kebangkitan minat bagi memenuhi sepenuhnya keperluan geologi dikalangan jurutera, dalam usaha untuk merapatkan jurang yang telah wujud antara kedua-dua disiplin.

### 1.2 Perkaitan geologi dengan kejuruteraan awam

Kebanyakan projek kejuruteraan melibatkan beberapa kerja pengorekan tanah dan batuan, atau melibatkan pembebanan bumi dengan cara membina satu struktur di atasnya. Dalam sesetengah kes, batuan yang telah dikorek mungkin digunakan sebagai bahan binaan, dan dalam kes lain mungkin membentuk sebahagian besar hasil yang telah disempurnakan, seperti keratan lebuh raya atau tapak untuk satu takungan. Kebolehlaksanaan, perancangan dan reka bentuk, pembinaan dan penentuan kos, dan keselamatan sesuatu projek mungkin bergantung secara kritikal kepada keadaan geologi di mana kerja pembinaan akan dijalankan. Ini khususnya adalah kes bagi tapak 'lapangan baru' yang luas, yang mana kawasan yang terlibat menjangkau berkilo-kilometer panjang, dan merentas kawasan yang secara perbandingan belum dimajukan. Antara contoh termasuklah projek Terowong Selat Inggeris dan pembinaan lebuh raya. Pada satu bahagian lebuh raya M9 yang menyambungkan Edinburgh dengan Stirling, dan yang merentasi lombong-lombong syalminyak yang telah ditinggalkan, penjajaran semula jalan, berdasarkan nasihat para ahli geologi kerajaan, telah membawa kepada penjimatan kos yang agak besar. Dalam projek yang sederhana, atau yang melibatkan pembangunan semula tapak terhad, keperluan daripada segi pengetahuan geologi di kalangan jurutera atau nasihat geologi akan berkurang, tetapi tidak boleh diabaikan. Pemeriksaan tapak secara penggerak dan pengujian sampel mungkin adalah satu permulaan yang memadai sebelum kerja-kerja pembinaan dijalankan, dalam kes-kes yang sedemikian.

### 1.3 Sains geologi

Geologi adalah kajian tentang Bumi pejal. Ia meliputi penyiasatan batuan

yang membentuk Bumi (**petrologi**) dan cara ia teragih (**struktur** batuan), dan juzuk-juzuknya (**mineralogi** dan **kristalografi**). Geokimia adalah kajian kimia batuan dan taburan unsur-unsur utama dan surih dalam batuan, rangkaian batuan, dan mineral. Ini boleh membawa kepada pemahaman tentang bagaimana batuan tertentu terbentuk (**petrogenesis**), dan juga, dalam erti kata paling umum, kepada pengetahuan tentang kimia lapisan-lapisan bahagian atas Bumi.

Taburan batuan di permukaan Bumi ditentukan secara melakukan **survei geologi** (iaitu, melalui **pemetaan geologi**) dan direkodkan pada **peta geologi**. Maklumat tentang batuan ini ditindih di atas peta dasar topografi. Maklumat tentang sifat dan keadaan-keadaan fizik aras-aras Bumi yang lebih dalam hanya boleh didapati melalui kaedah-kaedah khas, iaitu **geofizik**, yang merupakan sains kembar geologi. Istilah 'sains Bumi' merangkumi kedua-duanya. Daripada teori dan kaedah geofizik, satu set teknik-teknik (**geofizik gunaan**) telah dibangunkan bagi tujuan penjelajahan taburan batuan pada aras-aras cetek di mana minat para ahli geologi dan ahli geofizik saling berkait.

Pengetahuan tentang Bumi pada masa kini menimbulkan persoalan-persoalan tentang proses yang telah membentuknya pada masa yang lepas: iaitu, tentang sejarahnya. Pentafsiran lapisan-lapisan batuan sebagai sejarah Bumi dinamakan **stratigrafi**, dan kajian tentang proses-proses yang menghasilkan batuan sedimen dinamakan **sedimentologi**. Kajian fosil-fosil (**paleontologi**) berkait rapat dengan sejarah Bumi, dan daripada kedua-duanya telah wujud kefahaman tentang perkembangan hayat di Bumi. Pemahaman yang telah diperolehi, iaitu tentang jarak/tempoh masa yang bermula beribu-ribu juta tahun dahulu, mengenai asal mula kehidupan dan tentang evolusi manusia, adalah sumbangan utama geologi kepada falsafah saintifik dan pemikiran bahawa lelaki dan wanita adalah manusia yang berpengetahuan.

#### 1.4 Tujuan dan organisasi buku ini

Buku ini mentakrifkan istilah-istilah penting, menerangkan konsep fenomena dan kaedah alasan, dan menunjukkan cara bagaimana kesimpulan tentang geologi sesuatu tapak boleh tercapai dan cara menghargai perkaitannya dengan satu projek kejuteraan. Ia dianggap sebagai teks bagi satu kursus pengenalan untuk penuntut-penuntut sarjana muda kejuruteraan. Ia juga mengandungi maklumat tambahan yang boleh digunakan oleh penuntut-penuntut yang bercadang hendak mendalami pengajian geologi gunaan mereka melebihi daripada kursus asas. Pada masa yang sama, buku ini diharap akan menjadi lebih daripada hanya

satu manual profesional yang sempit, dan adalah diharapkan ia dapat memajukan pendidikan saintifik dan penuntut secara penyampaian, sebagai contoh, tabii dan menggunakan taakulan induktif dalam sains.

Buku ini disusun agar batuan dan tanah yang membentuk Bumi diperihalkan dahulu, diikuti oleh faktor-faktor yang mengawal taburannya di dalam Bumi. Seterusnya ia menerangkan bagaimana taburan batuan dan tanah di satu-satu tempat dapat ditentukan, dan akhirnya ia membincangkan kepentingan relatif faktor geologi dalam beberapa jenis projek kejuruteraan.

Penyusunan kata-kata adalah seringkas yang boleh. Para ahli geologi akademik telah menghasilkan banyak perkataan bagi memerihalkan sains mereka, dan para ahli geologi gunaan bukan sahaja telah menambah perbendaharaan kata tersebut tetapi juga telah mewujudkan jargon bahasa - kadang-kala hanya digunakan secara setempat - hasil perhubungan mereka dengan pelombong-pelombong. Oleh kerana perkembangan keupayaan untuk membaca laporan-laporan geologi adalah satu daripada tujuan buku ini, maka wujud satu pertentangan jika setiap istilah geologi yang dirasakan tidak penting kepada konsep atau alasan umum yang dibincangkan, ditinggalkan sesuka hati, walau sekuat mana sekalipun penyuntingan yang berkesan ingin dilakukan. Bagi membantu penuntut-penuntut memperolehi pengetahuan perbendaharaan kata asas geologi, istilah-istilah penting ditaip dalam bentuk terang, biasanya pada masa kali pertama ditemui. Sebagai tambahan, ia disenaraikan dalam indeks, yang mana juga bertindak sebagai satu glosari. Sekali lagi, oleh kerana buku ini diharapkan dapat digunakan bagi dua tujuan, iaitu sebagai bahan bacaan dan rujukan, terdapat lampiran-lampiran yang menerangkan beberapa kenyataan terperinci yang mana jika tidak, mungkin termampat dalam teks. Dengan adanya sebahagian besar maklumat ini, maka dikira mencukupi bagi jurutera yang hanya berpengetahuan tentang tertib magnitud nilai-nilai berangka untuk memahami, sebagai contoh, bagaimana dan mengapa ciri-ciri jenis-jenis batuan lazim berbeza.

#### **Bahan rujukan dan bacaan terpilih**

- British Standards Institution 1981. Code of Practice for Site Investigations. BS 5930: 1981 (sebelumnya CP 2001).
- Edwards, R. J. G. 1971. The engineering geologist. *Q. J. Engng Geol.* 4, 283-316.
- Glossop, R. 1969. Engineering geology and soil mechanics. *Q. J. Engng Geol.* 2, 1-5
- Military Engineering 1976. *Applied geology for engineers*. Jld. 15. London: HMSO.
- Rawlings, G. E. 1971. The role of the engineering geologist during construction. *Q. J. Engng Geol.* 4, 209-20.
- Taylor, R.K. 1971. The functions of the engineering geologist in urban development. *Q. J. Engng Geol.* 4, 221-40.