

**PUSAT PENGAJIAN KEJURUTERAAN  
BAHAN DAN SUMBER MINERAL**

**PENGELASAN MINERALOGI DAN KIMIA BAGI LEMPUNG DARI  
SARAWAK BARAT, MALAYSIA UNTUK KEGUNAAN DALAM  
INDUSTRI JUBIN DI MALAYSIA.**

Disediakan Oleh:

**HAZRINA BINTI ABDUL RAHMAN  
(60268)**

Disertasi ini dikemukakan kepada

**UNIVERSITI SAINS MALAYSIA**

Sebagai memenuhi sebahagian daripada syarat keperluan untuk  
ijazah dengan kepujian

**SARJANA MUDA KEJURUTERAAN  
(KEJURUTERAAN SUMBER MINERAL)  
MAC 2004**

## PENGHARGAAN

Setinggi kesyukuran dipanjatkan ke hadrat Ilahi kerana dengan izinNya, dapatlah saya menyempurnakan kajian ilmiah projek tahun akhir ini.

Setinggi-tinggi penghargaan dirakamkan buat penyelia saya, Encik Tuan Besar Tuan Sarif yang telah banyak memberi bimbingan dan tunjuk ajar sepanjang saya menjalankan kajian ini. Tidak ketinggalan juga kepada pembantu penyelia iaitu Dr. Kamar Shah Ariffin dan Profesor Radzali Othman yang turut membantu semasa saya menjalankan kajian ini.

Sekalung penghargaan turut diucapkan kepada Encik Alex Unya selaku Pengarah Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia, Sarawak dan Encik Azemi Hj. Eki yang banyak memberi kerjasama dalam mendapatkan sampel-sampel lempung dari Negeri Sarawak.

Terima kasih juga turut diucapkan kepada dekan, Dr. Khairun Azizi Azizli dan Dr. Ir. Mior Termizi b Yusof selaku Pengurus Rancangan Kejuruteraan Sumber Mineral di atas segala bimbingan yang diberi. Penghargaan juga ditujukan kepada semua kakitangan teknikal makmal di Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan dan Sumber Mineral atas segala pertolongan dan kerjasama yang diberikan.

Akhir sekali, buat kedua-dua ayahbonda dan keluarga serta kawan-kawan yang banyak memberi sokongan moral dan bantuan sepanjang saya menjalankan kajian ini.

Terima kasih.

## ABSTRAK

Kajian ini dijalankan untuk mengkaji ciri-ciri kimia, mineralogi, fizikal dan sifat-sifat jasad bakar lempung dan melihat kesesuaiannya untuk kegunaan dalam industri seramik terutamanya industri jubin. Lima sampel dikutip dari empat kawasan di Sarawak Barat yang setiap satunya diambil di Kampung Sebangkoi, Kawasan Jaong dan Telaga Air serta dua sampel dikutip di Kampung Keranji-Serayan.

Kajian mineralogi dan kajian kimia dijalankan untuk mengenalpasti kehadiran fasa mineral dan kandungan oksida dalam sampel. Analisis yang telah dijalankan ialah analisis sinar-x, penentuan morfologi, analisis taburan saiz partikel, penentuan pH, penentuan kandungan bahan meruap dan kandungan lengasan. Manakala kajian sifat fizikal lempung pula dijalankan untuk mengenalpasti ciri-ciri fizikal sampel dan kajian yang telah dijalankan ialah penentuan spesifik graviti, penentuan indeks keplastikan dan pemerhatian warna sampel mentah. Kajian juga dijalankan ke atas sampel bakar bagi menentukan sifat-sifat jasad selepas bakar. Kajian yang telah dijalankan ialah ujian kecut bakar, ujian kekuatan , pemerhatian warna jasad, ujian keliangan, serap air dan ketumpatan pukal.

Daripada kajian ini, didapati kesemua sampel mempunyai kandungan fasa mineral yang sama iaitu kaolinit, illit, mika dan kuarza. Peratus oksida juga menunjukkan kewujudan oksida yang hampir sama cuma berbeza dari segi kuantitinya. Kesemua sampel mempunyai morfologi berbentuk emping berkepingan yang menunjukkan kewujudan kaolinit. Bagi analisis partikel saiz, kesemua sampel mempunyai peratus partikel kurang dari dua mikron yang melebihi 40% kecuali sampel Jaong. Oleh sebab itu, sampel Jaong mempunyai indeks keplastikan yang rendah. Untuk jasad bakar pula, sampel yang mengalami kecut

bakar yang tinggi akan mempunyai kadar keliangan yang sedikit dan akan mempunyai kadar serapan air yang rendah. Namun begitu, ia akan mempunyai ketumpatan pukal yang tinggi. Selain itu, kekuatan jasad juga akan meningkat dengan peningkatan suhu. Warna jasad akan menjadi semakin putih dengan kenaikan suhu.

Selepas dibandingkan dengan spesifikasi LORENZ, tidak ada sampel yang memenuhi kesemua spesifikasi yang telah ditetapkan. Namun begitu, sampel dari Kampung Keranji-Serayan (B) mempunyai ciri-ciri yang hampir memenuhi spesifikasi ini. Oleh itu, sampel dari Kampung Keranji-Serayan (B) dicadangkan sebagai sampel yang sesuai digunakan dalam industri jubin dinding dan jubin lantai.

## ABSTRACT

This study is carried out in order to make a chemical and mineralogy classification of kaolin and also to determine the physical properties and firing properties of clay for the use in the Malaysian tile industry. Five samples have been taken from four places of West Sarawak which including Kampung Sebangkoi, Jaong, Telaga Air and Kampung Keranji-Serayan (2 samples).

In order to achieve the objective of the study, some characterization analysis has been conducted to the samples which can be divided into the mineralogy and chemical study which including, x-ray analysis, determination of morphology, particle size analysis, pH test, determination of loss of ignition contents and moisture contents. For physical study, the study for specific gravity, plasticity index and observations of the raw samples colour has been carried out. The study also conducted to the firing samples to determine the shrinkage, strength, porosity, water adsorption and bulk density of the body.

From the study, the phase of mineral exists is almost the same which contains kaolinite, illite, mica and quartz. The contents of the oxides is also the same but different in the amount. The flaky morphology can be observed under the scanning electron microscopy. For the particles size distribution, all of the samples is very fine with more than 40% of the particles are less than two micron in size except for the sample from Jaong. Therefore, the plasticity index for the sample from Jaong is also low. For firing body, when the shrinkage increases, the porosity and the water adsorption rates is low. However, the bulk density will arise. The strength will be increases with the increasing of the firing temperature. The color of the body also will change to become brighter with the increasing of the firing temperature.

After compared with the LORENZ specifications, not any of the samples is matching with all the specifications required. However, it is also some of the parameter is fulfilled. From the result obtained, it is suggested that the sample from Kampung Keranji-Serayan (B) is the most suitable as a raw materials in tile industry.

KANDUNGAN	MUKASURAT
Penghargaan	ii
Abstrak	iii
Abstract	v
Kandungan	vii
Senarai Jadual	ix
Senarai Rajah	x
Senarai Lampiran	xii
1.0 : Pengenalan	1
 2.0 : Kajian Persuratan	
2.1.0 Pengenalan lempung	3
2.2.0 Faktor-faktor yang mempengaruhi sifat lempung	4
2.3.0 Pengelasan lempung	11
2.4.0 Jenis lempung	13
2.5.0 Geologi lempung	17
3.0 : Objektif	26
4.0 : Lokasi & Geologi Kawasan Persampelan	29
5.0 : Kaedah Makmal	36
5.1.0 Kajian Mineralogi	37
-Penentuan kelengasan	37
-Analisis Pembelauan Sinar-x	37
-Penentuan morfologi	37
-Analisis taburan saiz partikel	38
5.3.0 Kajian Kimia	38
-Penentuan LOI	38
-Analisis Pendafluor Sinar-x	38
-Ujian pH	39
5.4.0 Kajian Sifat Fizikal	39
-Spesifik graviti	39
-Pemerhatian warna	39

-Penentuan indeks keplastikan	40
5.5.0 Kajian Jasad Bakar	41
-Ujian kecut bakar	42
-Ujian kekuatan MOR	42
-Ujian keliangan, penyerapan air dan ketumpatan pukal	42
6.0: Keputusan & Perbincangan	44
6.1.0 Pemerhatian terhadap sampel asal	44
6.2.0 Penentuan kandungan lengasan	46
6.3.0 Penentuan LOI	47
6.4.0 Analisis Pendafluor sinar-x	48
6.5.0 Ujian pH	56
6.6.0 Analisis Pembelauan sinar-x	57
6.7.0 Penentuan morfologi	61
6.8.0 Penentuan indeks keplastikan	63
6.9.0 Penentuan spesifik graviti	65
6.10.0 Analisis taburan saiz partikel	66
6.11.0 Ujian pengecutan jasad bakar	71
6.12.0 Ujian kekuatan MOR	75
6.13.0 Ujian keliangan dan penyerapan air	78
6.14.0 Penentuan ketumpatan pukal	84
6.15.0 Pemerhatian warna jasad bakar	86
6.16.0 Rumusan Sampel	89
7.0 : Kesesuaian	93
8.0 : Kesimpulan	97
Rujukan	98
Lampiran	102

## SENARAI JADUAL

Jadual	Tajuk	Mukasurat
Jadual 2.0	Pengelasan jenis lempung berasaskan kegunaannya	12
Jadual 2.1	Sistem usia geologi	19
Jadual 3.0	Spesifikasi piawai lempung yang digunakan sebagai bahan mentah dalam industri jubin lantai dan jubin dinding	27
Jadual 6.1	Pemerhatian ke atas sampel asal	44
Jadual 6.2	Keputusan penentuan kandungan lengasan	46
Jadual 6.3	Keputusan penentuan kehilangan bahan meruap (LOI)	47
Jadual 6.4(a)	Analisis Pendafluor Sinar-x	48
Jadual 6.4(b)	Keputusan analisis perkadarhan daripada data XRF	49
Jadual 6.5	Keputusan ujian pH	56
Jadual 6.6 (a)	Analisa Ujian XRD	57
Jadual 6.6 (b)	Kandungan Fasa Mineral dalam Sampel	57
Jadual 6.8	Keputusan penentuan indeks keplastikan	63
Jadual 6.9	Keputusan menunjukkan nilai SG	65
Jadual 6.10	Keputusan analisa taburan saiz partikel	66
Jadual 6.11	Jadual keputusan % kecut linear jasad bakar	71
Jadual 6.12	Keputusan ujian kekuatan	75
Jadual 6.13 (a)	Keputusan ujian keliangan	78
Jadual 6.13(b)	Keputusan ujian serapan air	78
Jadual 6.14	Keputusan penentuan ketumpatan pukal	84
Jadual 6.15	Pemerhatian warna jasad bakar	86
Jadual 7.1	Perbandingan spesifikasi piawai lempung bagi industri jubin lantai dan jubin dinding dengan sampel	94

## SENARAI RAJAH

Rajah	Tajuk	Mukasurat
Rajah 3.0	Carta alir menunjukkan kaedah kajian yang dijalankan	28
Rajah 4.1	Peta menunjukkan kawasan Sarawak Barat	29
Rajah 4.2	Pokok Jinggau	30
Rajah 4.3	Keratan rentas mendapan lempung di Kpg. Sebangkoi	31
Rajah 4.4	Keratan rentas mendapan lempung di Kawasan Jaong	32
Rajah 4.5	Peta menunjukkan Kampung Sebangkoi dan Kawasan Jaong	32
Rajah 4.6	Keratan rentas mendapan lempung di Telaga Air	33
Rajah 4.7	Keratan rentas mendapan lempung di Kampung Keranji-Serayan (A) dan (B)	34
Rajah 4.8	Peta menunjukkan kawasan Telaga Air dan Kampung Keranji-Serayan	35
Rajah 6.1	Graf menunjukkan perbandingan peratus oksida dalam sampel dari Kawasan Kajian	48
Rajah 6.2	Graf menunjukkan perbandingan kandungan fasa mineral dalam sampel lempung dari kawasan kajian	49
Rajah 6.3	Menunjukkan graf analisis pembelauan sinar-x sampel	58
Rajah 6.4	Menunjukkan graf analisis pembelauan sinar-x sampel	59
Rajah 6.5	Pemerhatian morfologi sampel dari Jaong	62
Rajah 6.6	Pemerhatian morfologi sampel dari Telaga Air	62
Rajah 6.7	Pemerhatian morfologi sampel dari Kampung Keranji-Serayan (B)	62
Rajah 6.8	Graf menunjukkan taburan saiz partikel sampel	66
Rajah 6.9	Menunjukkan taburan saiz partikel bagi sampel dari Kampung Sebangkoi	67
Rajah 6.10	Menunjukkan taburan saiz partikel bagi sampel dari Jaong	67
Rajah 6.11	Menunjukkan taburan saiz partikel bagi sampel dari Telaga Air	68
Rajah 6.12	Menunjukkan taburan saiz partikel bagi sampel dari Kampung Keranji-Serayan (A)	68

Rajah 6.13	Menunjukkan taburan saiz partikel bagi sampel dari Kampung Keranji-Serayan (B)	69
Rajah 6.14	Graf menunjukkan kadar kecut bakar sampel melawan suhu pembakaran	74
Rajah 6.15	Graf menunjukkan nilai modulus pecah sampel melawan suhu pembakaran	75
Rajah 6.16	Graf menunjukkan % keliangan melawan suhu pembakaran	79
Rajah 6.17	Graf menunjukkan % serapan air melawan suhu pembakaran	79
Rajah 6.18	Graf perbandingan % keliangan dan % serapan air bagi sampel Kampung Sebangkoi	80
Rajah 6.19	Graf perbandingan % keliangan dan % serapan air bagi sampel Jaong	80
Rajah 6.20	Graf perbandingan % keliangan dan % serapan air bagi sampel Telaga Air	81
Rajah 6.21	Graf perbandingan % keliangan dan % serapan air bagi sampel Kampung Keranji-Serayan (A)	81
Rajah 6.22	Graf perbandingan % keliangan dan % serapan air bagi sampel Kampung Keranji-Serayan (B)	82
Rajah 6.23	Graf ketumpatan pukal melawan suhu pembakaran	84
Rajah 6.24	Menunjukkan warna jasad bakar sampel dari Kampung Sebangkoi dan Jaong	87
Rajah 6.25	Menunjukkan warna jasad bakar sampel dari Telaga Air dan Kampung Keranji-Serayan (A)	87
Rajah 6.26	Menunjukkan warna jasad bakar sampel dari Kampung Keranji-Serayan (B)	88

## SENARAI LAMPIRAN

Lampiran	Tajuk	Mukasurat
LAMPIRAN 1	KAEDAH PENYEDIAAN SAMPEL DAN TATACARA KAJIAN	102
LAMPIRAN 2	DATA ANALISIS KIMIA SAMPEL MENGGUNAKAN KAEDAH PENDAFLUOR SINAR-X (XRF)	108
LAMPIRAN 3	CARA PENGIRAAN KAEDAH ANALISIS PERKADARAN MENGGUNAKAN DATA-DATA DARIPADA ANALISIS XRF	109

## 1.0 PENGENALAN

Kaolin mempunyai banyak kegunaan di dalam industri dan kegunaan baru juga masih dikaji. Mineral industri ini unik kerana secara kimianya, ia bersifat lengai untuk julat pH yang besar, warnanya yang putih, lembut dan tidak lelas, penebat haba dan elektrik yang baik selain kosnya yang murah berbanding bahan ganti lain seumpamanya.

Sesetengah kegunaan kaolin memerlukan spesifikasi tertentu termasuk taburan saiz partikel, warna dan kecerahan, kelikatan dan ada juga yang tidak memerlukan spesifikasi tertentu.

Mengikut sejarahnya, kaolin pada mulanya digunakan dalam seramik dan masih merupakan aplikasi penting kaolin. Ia digunakan untuk penghasilan jubin, tembikar putih, insulator, refraktori dan dalam bata putih. Ciri penting untuk aplikasi kaolin dalam penghasilan bahan-bahan ini ialah, sifat keplastikannya, kekuatan dan warna pembakarannya.

Jubin seramik diperbuat daripada lempung dengan campuran beberapa mineral lain seperti talkum dan sebagainya. Selepas dibentuk, jubin jenis ini akan dibakar dan ini yang membezakannya dengan jubin simen. Jubin simen diperbuat daripada campuran simen dan pasir dan ia tidak melalui proses pembakaran. Terdapat beberapa kaedah digunakan dalam membentuk jubin-jubin ini iaitu, ‘Dust Press’, ‘Extrusion’, ‘Slush mold or wet pour’ dan ‘Rampress’.

Sebelum jasad jubin diakar, ia akan dikeringkan di dalam oven untuk mengurangkan kandungan lembapan di dalamnya. Ini penting dilakukan bagi mengelakkan gas yang bertekanan tinggi terperangkap di dalamnya yang boleh menyebabkan jubin meletup. Setelah dikeringkan, jubin akan dibakar dalam relau pada suhu yang tinggi untuk menguatkan jasad jubin.

Setiap jenis jubin mempunyai ciri-ciri tertentu. Ciri-ciri ini menentukan kegunaan yang sesuai untuk sesuatu jubin itu. ‘American Society for Testing & Materials’ (ASTM) telah mengeluarkan kaedah untuk ujian ke atas jubin seramik seperti yang terkandung dalam ANSI 137.1 1988. Daripada ujian-ujian ini, beberapa ciri tertentu telah dikenalpasti sebagai parameter penting dalam penghasilan jubin seramik;

- serapan air
- Ketahanan lelas
- Ketahanan hentaman
- Kekuatan pecah
- Ketahanan terhadap kotoran
- Kualiti visual

## BAB 2.0 KAJIAN PERSURATAN

### 2.1.0 Pengenalan Lempung

Lempung merupakan salah satu bahan yang biasa ditemui di muka bumi ini. Pelbagai takrifan diberikan untuk menggambarkan lempung. Menurut *Bates* (1969), secara amnya lempung adalah satu bahan yang wujud secara semulajadi dan ia adalah tanah yang mempunyai ciri-ciri seperti:

- i. Partikel saiz yang berkoloid atau hampir berkoloid iaitu  $2\mu\text{m}$
- ii. Komponen utamanya adalah mineral lempung dengan Aluminium Hidroksida Silikat sebagai komponen utama
- iii. Menunjukkan sifat keplastikan apabila dicampur air. Sifat keplastikan ialah satu sifat bahan terlembab yang tercangga apabila dikenakan tekanan, dengan bentuk canggaan dikekalkan apabila tekanan dilepaskan.

Selain mineral lempung, lempung juga terdiri daripada campuran mineral bukan lempung dan bahan organik.

Istilah lempung juga sering dikaitkan dengan saiz butirannya yang sangat halus dan takrifannya juga bergantung kepada aplikasinya dalam bidang-bidang tertentu. Dalam bidang Geologi, menurut skala Wentworth, had saiz atas partikel lempung adalah  $1/256\text{mm}$  atau 4 mikron. Manakala dalam kajian tanah menyatakan yang mineral lempung cenderung bersaiz kurang daripada 2 mikron dan mineral bukan lempung bersaiz lebih daripada 2 mikron. Oleh itu, 2 mikron telah dijadikan sebagai anggaran kepada saiz atas bagi partikel lempung secara amnya. Saiz butiran yang sangat halus ini yang membezakan lempung daripada sedimen yang lain dan ia menyebabkan kajian mengenainya agak sukar (*Grim*, 1968).

*Grim* (1968) turut menyatakan istilah lempung ini juga tidak mempunyai kepentingan genetik. Hampir kesemua lempung terbentuk daripada hasil

pengluluhawaan batuan yang sedia ada, terjadi daripada kegiatan hidroterma atau dimendapkan sebagai suatu sedimen.

#### 2.2.0 Faktor-faktor yang mempengaruhi sifat bahan lempung

Menurut *Grim* (1968), untuk mencirikan bahan lempung sepenuhnya, faktor-faktor yang mempengaruhi sifat bahan lempung mestilah diketahui. Faktor-faktor yang telah dikelaskan adalah seperti:

##### 2.2.1 Komponen mineral lempung

Ia merujuk kepada identiti dan kelimpahan relatif kesemua komponen mineral lempung. Mineral lempung tertentu walaupun dalam jumlah yang sedikit, ia boleh memberi kesan yang agak besar pada sifat mineral lempung. Maka, tidak memadai dengan hanya menentukan komponen utama mineral lempung.

Bagi mencirikan sepenuhnya bahan lempung dan untuk memberikan data yang mencukupi bagi memahami sifat fizikal, maka, analisis mineral mesti dijalankan secara terperinci dan menyeluruh. Langkah ini mestilah dijalankan tanpa mengubah mineral lempung. Kebiasaannya, beberapa pendekatan adalah perlu seperti pembelauan, elektron mikroskop dan kaedah kimia. Walaupun dengan gabungan beberapa kaedah yang lain, data yang lengkap adalah sukar untuk diperolehi (*Grim*, 1968).

*Bates* (1969) menyatakan kebanyakan mineral lempung kecuali beberapa jenis mineral lempung yang jarang ditemui, mempunyai struktur hablur monoklinik atau trikilinik dan mempunyai morfologi berkeping-keping atau seperti berbilah-bilah. Ia terdiri daripada kepingan atau lapisan atom, dipenuhi seperti telur yang disusun dalam bekas telur (egg crate). Dalam kebanyakan mineral lempung, lapisan ini terdiri daripada dua jenis;

- a. lapisan yang terdiri daripada oksigen atau hidroksida yang terkandung atom-atom Aluminium(Al), Besi (Iron) atau Magnesium(Mg). Apabila Al hadir, hanya 2/3 daripada kedudukan yang mungkin akan diisi untuk mengimbangkan struktur yang mempunyai formula kimia  $\text{Al}_2(\text{OH})_6$  dan ia dikenali sebagai struktur gibsit. Apabila Mg yang hadir, kesemua ruang akan dipenuhi dan formula kimianya ialah  $\text{Mg}_3(\text{OH})_6$  yang dikenali sebagai struktur brusit.
- b. lapisan yang terdiri daripada silikon, oksigen dan hidroksida yang mempunyai formula am  $\text{Si}_4\text{O}_6(\text{OH})_4$  yang dikenali sebagai lapisan tetrahedron silika.

Dalam asas komponen dan struktur hablur, lebih daripada satu dozen mineral lempung telah dikenalpasti. Ia telah diklasifikasikan dalam empat kumpulan utama iaitu kaolinit, montmorillonit, illit dan klorit.

### *1. Kumpulan Kaolinit.*

Daripada beberapa mineral dalam kumpulan ini, kaolinit merupakan kandungan utama yang penting. Struktur asasnya adalah 2 lapisan kekisi, terdiri daripada gibsit dan tetrahedron silika, berulang secara infiniti dan selari terhadap satah a dan paksi-b. Kaolinit tidak mengembang (expand) dengan penambahan kandungan air dan tiada penukaran Aluminium oleh logam lain berlaku. Formulanya ialah  $(\text{OH})_8\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}$  (*Bates ,1969*).

Elektron Mikrograf menunjukkan kaolinit wujud sebagai partikel berkelupas (flaky) atau euhedral rata dengan bentuk heksagonal. Mineral ini adalah mineral yang biasa ditemui dalam lempung dan syal walaupun

tidak dominan. Bagi kaolin putih tulen, ia terbentuk daripada proses hidroterma, pengluluhawaan dan pensedimenan. Mendapan seperti ini adalah punca/sumber kepada lempung (kaolin) bergred tinggi yang sesuai digunakan untuk kertas dan refraktori (*Bates, 1969*).

Halloysit adalah salah satu mineral dalam kumpulan kaolinit yang mempunyai partikel berbentuk segiempat (tabular) memanjang. Ia seakan-akan seperti bentuk tiub tetapi, terdapat bukti menyatakan ia berbentuk kelupas (flake) yang berpintal dan bergulung ke atas. Halloysit berperanan sebagai pemangkin dan lempung peluntur (bleaching clay) (*Bates, 1969*).

Mineral-mineral lain yang turut terkandung dalam kumpulan ini ialah Dikit dan Nakrit kerana strukturnya yang hampir sama dengan struktur kaolinit. Namun begitu, kedua-dua mineral ini jarang ditemui di dalam bahan lempung (*Grim, 1968*).

## 2. *Kumpulan Montmorillonit*

Berbeza daripada kaolinit, mineral dalam kumpulan ini cenderung berlaku dalam bentuk yang tidak menentu atau berbilah-bilah. Ia berbeza daripada kaolinit dalam beberapa aspek. Pertamanya, struktur asasnya terdiri daripada tiga lapisan iaitu lapisan gibus diapit oleh dua lapisan tetrahedron silika seperti sandwich. Keduanya pula, Magnesium akan menggantikan kebanyakan Aluminium dalam lapisan gibus dan yang ketiganya ialah, ketiga-tiga unit lapisan mempunyai ikatan yang lemah terhadap jirannya pada arah-c oleh air. Oleh itu, dimensi c tidak tetap dan montmorillonit dikatakan mempunyai struktur lapisan yang boleh mengembang. Aspek terakhir, di antara unit-unit lapisan ini, selain air

terdapat juga kehadiran ion-ion lain seperti kalsium, kalium atau natrium yang menunjukkan proses pertukaran ion boleh berlaku dalam montmorillonit. Formula amnya ialah  $(OH)_4Al_4Si_8O_{20}.nH_2O$ .

Montmorillonit adalah kandungan utama bentonit yang menunjukkan sifat yang boleh mengembang. Selain itu, montmorillonit juga merupakan kandungan dalam sesetengah lempung penjerap (adsorbent clay). Kedua-dua bahan ini mempunyai kepentingan ekonomik yang penting dalam industri (*Bates, 1969*).

### 3. Kumpulan Illit

Ia merupakan istilah umum bagi mineral lempung yang menyerupai mika. Illit berlaku sebagai partikel kecil yang sedikit berkelupas dan kadang-kadang dikelaskan sebagai aggregat yang tidak menentu. Unit asasnya adalah seperti montmorillonit tetapi dengan sedikit penggantian silika oleh aluminium dalam lapisan tetrahedral silika dan terdapat juga besi dan magnesium di celahan lapisan

Unit-unitnya diikat kukuh oleh atom kalium dan ia tidak mengembang. Formula amnya ialah  $(OH)_4K_y(Si_{8-y}Al_y)(Al_4Fe_4Mg_4Mg_6)O_{20}$ . Dalam illit, nilai y terletak dalam julat 1-1.5, manakala dalam muskovit y = 2. Ini membuktikan kandungan kalium dalam illit lebih sedikit daripada muskovit. Apabila illit kehilangan kandungan kalium daripada lapisan haburnya, air akan memasuki kekisi dan ia memperolehi keupayaan untuk mengembang (*Bates, 1969*).

#### *4. Kumpulan Klorit*

Struktur klorit agak menyerupai illit tetapi ikatan di antara 3 lapisan disebabkan oleh lapisan atom magnesia dan hidroksil ( $Mg(OH)_2$ ). Juzuk klorit dalam lempung agak sukar untuk dikesan (*Bates, 1969*).

#### *5. Struktur lapisan bercampur*

Garis sempadan yang membezakan di antara keempat-empat kumpulan mineral lempung ini sukar untuk ditentukan dan ia diambil kira sebagai campuran unit-unit kecil. Lapisan campuran illit dan montmorillonit dan campuran montmorillonit dengan klorit adalah yang biasa terbentuk. Struktur-struktur ini agak sukar dikenalpasti tetapi ia memainkan peranan yang penting kerana ia memberikan kesan tertentu kepada sifat-sifat lempung (*Bates, 1969*).

#### *6. Attapulgite*

Selain mempunyai bentuk berkeping, mineral lempung juga berbentuk gentian. Salah satu daripadanya ialah attapulgite yang mempunyai nilai ekonomik yang penting. Struktur hablurnya adalah jenis berantai selain jenis berlapis. Attapulgite adalah magnesium hidroksida silikat dan ia merupakan juzuk utama dalam sesetengah lempung penjerap (adsorbent clays) (*Bates, 1969*).

#### 2.2.2 Komposisi mineral bukan lempung

Komposisi ini merujuk kepada identiti mineral bukan lempung, kelimpahan relatif mineralnya dan taburan saiz spesies individunya. Antara mineral

bukan lempung yang banyak terkandung dalam lempung ialah kalsit, dolomit, emping mika yang besar, pirit, feldspar, gibsit dan beberapa mineral lain lagi. Berikut ialah beberapa contoh mineral bukan lempung yang biasa ditemui;

kuarza -  $\text{SiO}_2$

alumina –  $\text{Al}_2\text{O}_3$

ferum oksida –  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$

karbonat –  $\text{CaCO}_3$

rutil –  $\text{TiO}_2$

ilmenit –  $\text{FeTiO}_3$

Magnesia –  $\text{MgO}$

Alkali –  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$

Mineral bukan lempung dalam lempung lebih cenderung tertumpu dalam partikel yang lebih kasar daripada 2 mikron. Oleh itu, pengasingannya boleh dibuat dengan teknik pengelasan mudah seperti mencampurnya dalam air. Sesetengah lempung mungkin mengandungi partikel besi oksida atau hidroksida yang sangat halus dan ia amat penting sebagai bahan pigmen.

Kebiasaannya, penentuan mineral bukan lempung yang kasar boleh dibuat dengan mikroskop petrografi. Mineral bukan lempung boleh memberikan kesan yang berbeza dalam seramik. Kuarza, mengurangkan sifat keplastikan dan pengecutan. Alumina menjadikan lempung sesuai untuk lempung refraktori kerana ia memberikan rintangan untuk lempung menjadi lembut pada suhu tinggi. Besi oksida, seperti juga feldspar bertindak sebagai fluks iaitu menurunkan takat lebur proses dan ia merupakan agen pewarna yang kuat. Lime, magnesia dan alkali turut

bertindak sebagai fluks manakala lime turut bertindak sebagai peluntur. Titanium berfungsi sebagai fluks pada suhu tinggi manakala karbon dan air akan dikeluarkan semasa proses pembakaran (*Grim, 1968*).

#### 2.2.3 Bahan organik

Bahan organik dalam lempung wujud dalam 2 bentuk iaitu sebagai cebisan dan keping-keping kayu, spora dan bahan tumbuhan lain dalam pelbagai julat saiz serta molekul organik yang dijerap daripada partikel mineral lempung. Bahan organik yang bersaiz halus dan dalam jumlah yang sedikit yang terkandung dalam lempung akan memberikan kesan pigmentasi dari kelabu terang ke kelabu gelap. Bahan organik ini wujud mungkin disebabkan oleh proses geologi yang menggalakkan pembentukannya atau pun dari persekitaran geologi semasa proses pemendapannya (*Bates, 1969*).

#### 2.2.4 Ion yang boleh bertukar ganti dan garam terlarut.

Sesetengah bahan lempung mengandungi garam yang terlarut dalam air yang mungkin terperangkap dalam lempung semasa proses pengumpulan atau pun terbentuk selepas proses luluhawa atau perubahan, seperti dalam pengoksidaan pirit untuk menghasilkan sulfat. Garam terlarut yang biasa ditemui dalam lempung termasuklah klorit, sulfat, alkali karbonat, alkali bumi, aluminium dan besi.

Mineral lempung dan sesetengah bahan organik yang dijumpai dalam lempung mempunyai kesan tertentu terhadap kebolehan pertukaran ion. Kemampuan pertukaran ion bagi mineral lempung dan bahan organik,

termasuk juga identiti dan kelimpahan relatif ion pertukaran yang wujud, adalah sifat penting mineral lempung (*Grim, 1968*).

#### 2.2.5 Tekstur

Ia merujuk kepada taburan saiz partikel juzuk, bentuknya, orientasinya dalam ruang dan terhadap antara satu sama lain dan juga daya yang mengikat partikel-partikel itu. Analisis saiz partikel akan menunjukkan pembahagian saiz manakala bentuk dan orientasi partikel boleh dilihat dengan menggunakan ‘Scanning Electron Microscopy’ (SEM).

Selalunya, kaolinit akan berbentuk emping heksagonal, halloisit berbentuk tiub panjang, illit, klorit, vermiculit dan kebanyakan zarah smektit berbentuk emping tak menentu, manakala attapulgit-sepiolit-poligorskite dan sesetengah mineral smektit berbentuk bilah memanjang atau berserabut (*Grim, 1968*).

#### 2.3.0 Pengelasan Lempung

Menurut *Bates (1969)*, dalam pengelasan lempung, asas yang biasa digunakan ialah kegunaannya, asal kejadian atau gabungan kedua-duanya. Dalam industri, pengelasan lempung selalunya berasaskan kegunaannya. Pengelasan mudah dan agak ringkas ialah pembahagian kepada enam jenis lempung yang dikeluarkan oleh *U.S. Bureau of Mines*. Enam jenis lempung yang telah dikenalpasti bersama dengan kegunaan utamanya disenaraikan seperti dalam Jadual 2.0 .

Jadual 2.0 Pengelasan Jenis Lempung Berasaskan Kegunaannya.

Jenis lempung	Kegunaan
Kaolin	Pengisi, pelapis (coating), refraktori, seramik
Lempung bebola	Seramik, refraktori
Lempung api	Refraktori, seramik
Bentonit	Bendalir penggerudian, ‘foundry sand’(swelling type), penjerap (non-swelling type)
Fuller earth	Penjerap dan pelbagai kegunaan lain
Lempung-lempung lain (termasuk shale)	Seramik, simen, aggregat boleh kembang

*Bates (1969)* menyatakan dari aspek geologi, pengelasan lempung adalah berasaskan asal kejadian. Dalam pengelasan ini, tiga kelas pembahagian utama digunakan iaitu lempung sisa (*residual clays*), lempung terangkut (*transported clays*) dan lempung yang mengalami perubahan (*alteration clays*). Lempung sisa kekal selepas pelarutan batu kapur, atau terbentuk daripada penghuraian kimia batuan *feldspathic* pada tempat yang sama. Lempung perubahan, atau bentonit dihasilkan dari pengluluhawaan dan perubahan setempat silika, batuan volkanik atau mendapan abu gunung berapi. Lempung terangkut pula termasuk yang terangkut dalam aliran sungai, tasik, paya, lagun, delta dan laut. Kebanyakan lempung jenis ini terhasil daripada kedua-dua proses, iaitu sebagai lempung sisa atau lempung perubahan pada mulanya dan kemudian terangkut dan termendap sebagai sedimen.

#### 2.4.0 Jenis lempung

Terdapat beberapa jenis lempung utama yang biasa digunakan dalam industri antaranya ialah kaolin, lempung bebola, lempung api dan bentonit. Lempung lain yang turut digunakan ialah seperti ‘fuller-earth’ dan ‘building clays’.

#### 2.4.1 Kaolin

Nama kaolin berasal daripada perkataan Cina iaitu Kauling yang bermaksud rabung yang tinggi iaitu nama sebuah bukit dekat Jauchau Fu, China kerana lempung telah dilombong di situ beberapa abad lepas. Sekarang, istilah kaolin digunakan dalam kumpulan mineral lempung, istilah batuan, komoditi dalam mineral perindustrian dan ia juga turut dikenali sebagai lempung China. Definisi mineraloginya yang dinyatakan oleh Ross dan Kerr (1931); kaolin ialah jisim batuan yang terbentuk daripada mineral lempung yang rendah kandungan besinya dan selalunya ia berwarna putih. Ia dibentuk oleh aluminium silikat hidrus ( $2\text{H}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ). Kaolinit ialah mineral yang mencirikan kebanyakan kaolin (*Grim, 1968*).

Untuk istilah lempung komoditi, definisinya hendaklah termasuk kegunaannya. Kaolin ialah satu lempung yang terdiri daripada kaolinit tulen atau mineral lempung lain yang berkaitan, yang berlaku secara semulajadi atau pun boleh diproses dan dirawat untuk meningkatkan keputihannya atau hampir putih (*Bates, 1969*).

Kaolin juga bersifat lengai terhadap bahan kimia pada julat pH yang luas, ia lembut (nonabrasive) dan merupakan pengalir haba dan elektrik yang lemah. Pelbagai kegunaan utama kaolin dalam industri antaranya ialah sebagai pengisi dan pembalut dalam industri kertas kerana warnanya yang sangat putih (*Bates, 1969*).

#### 2.4.2 Lempung Bebola

Lempung bebola telah ditakrifkan oleh American Society for Testing & Materials (Anon., 1971a) sebagai lempung sekunder yang selalunya dicirikan oleh kehadiran bahan organik, mempunyai sifat keplastikan yang tinggi, mempunyai kekuatan kering yang tinggi, julat pengacaan yang panjang dan berubah menjadi warna cerah apabila dibakar. Kaolinit ialah mineral utama dalam lempung bebola dengan peratusan melebihi 70%. Terdapat sedikit perbezaan di antara istilah warna cerah apabila dibakar dalam konteks lempung bebola dengan warna putih kaolin. Ia memerlukan asas praktikal untuk membezakan kedua-dua jenis lempung ini. Oleh itu, lempung bebola sebenarnya wujud daripada kepelbagaiannya kaolin tetapi ia dianggap sebagai jenis lempung yang berbeza kerana kegunaannya yang pelbagai dalam industri.

Kehadiran bahan organik yang menyebabkan lempung berwarna kelabu gelap sehingga kelabu cerah, kebiruan, coklat atau hitam (*Bates, 1969*).

#### 2.4.3 Lempung Api

Lempung ini juga dikenali sebagai lempung refraktori. Ia digunakan secara meluas dalam pembuatan produk yang memerlukan ketahanan terhadap suhu yang tinggi. Kualiti dan sifat lempung ini dinyatakan sebagai ‘pyrometric cone equivalents’ (PCE) iaitu kaedah merekabentuk titik paduan (fusion point).

Sifat refraktori kaolinit yang menyebabkan ia tahan terhadap suhu yang melebihi  $1500^{\circ}\text{C}$ . Selepas dibakar, warna akan berubah menjadi kuning pucat atau kelabu. Ciri penting untuk refraktori ialah, kandungan

mika dan campuran besi yang rendah. Selain digunakan sebagai refraktori, lempung ini juga digunakan untuk produk bukan refraktori seperti bata, paip lempung dan seramik (*Lefond, 1983*).

#### 2.4.4 Bentonit

Menurut *Grim (1968)*, istilah bentonit mula digunakan oleh Knight, khususnya bagi lempung plastik dan berkoloid yang dijumpai dekat Fort Benton di dalam lapisan Kapur di Wyoming; lempung ini mempunyai ciri pengampulan yang unik dengan boleh mengembang beberapa kali ganda daripada isipadu asalnya apabila diletakkan di dalam air, dan akan menjadi gel tiksotropik dengan air walaupun jumlah bentonit di dalam gel tersebut adalah sedikit. Urutan daripada ini, Hewet telah menunjukkan bahawa lempung ini terjadi disebabkan oleh perubahan setempat (*in situ*) abu gunung berapi, Ross dan Shannon kemudiannya telah mengakaji beberapa lempung yang terjadi disebabkan oleh perubahan abu dan telah mentakrifkan semula istilah bentonit dengan menghadkan kepada lempung yang terhasil daripada perubahan setempat abu gunung berapi. Mereka telah menunjukkan bahawa bahan lempung tersebut terdiri sebahagian besarnya daripada smektit dan secara amnya adalah terlalu berkoloid dan plastik.

Komponen mineral lempung yang dominan di dalam bentonit ialah smektit. Komposisi smektit didapati berbeza dengan banyak sekali di dalam lain-lain bentonit. Perbezaan ini mungkin terdapat di dalam struktur kekisi smektit atau di dalam kation-kation yang boleh bertukar ganti.

Bentonit dikelaskan kepada dua kumpulan iaitu ‘*sodium-based*’ dan ‘*calcium-based*’. Perbezaan di antara kedua-dua kelas ini ialah, bagi ‘*sodium-based*’, ion natrium yang saling tukaran dan ia boleh menyerap banyak air dan

menyebabkan ia boleh mengembang manakala bagi ‘*calcium-based*’, ion kalsium yang saling tukaran. Berbeza daripada ‘*sodium-based*’, bentonit jenis ini tidak akan mengembang apabila basah dan ia juga tidak membentuk larutan homogen.

Bentonit penting sebagai bendalir penggerudian, ‘*foundary sand bond*’, penyerap dalam bahan kumuhan haiwan dan ia juga kalis air (*Grim, 1968*).

## 2.5.0 Geologi Lempung

### 2.5.1 Batuan

Terdapat tiga jenis batuan utama iaitu batuan igneus, batuan metamorfik dan batuan sedimen. Namun begitu, hanya dua daripadanya yang berkaitan dengan geologi pembentukan lempung iaitu batuan igneus dan batuan sedimen. Batuan igneus terbentuk daripada pemejalan magma yang berpunca daripada teras bumi yang sangat panas. Batuan sedimen pula terbentuk daripada batuan igneus apabila terurai oleh beberapa agen pengurai seperti aliran air, angin, glasier dan karbon dioksida (*Worral, 1982*).

Agen-agen ini akan mengurai batuan igneus secara perlahan-lahan dan akan memecahkannya kepada pecahan-pecahan kecil yang kemudiannya akan diangkat ke muara sungai, tasik atau laut dan akan termendap pada dasarnya. Mendapan ini kemudiannya akan membentuk batuan sedimen, dan lempung adalah salah satu daripadanya. Mendapan tersebut tidak hanya mengandungi lempung kerana kadar penguraian bahagian-bahagian pada batuan igneus adalah berbeza.

Kaedah mudah yang digunakan bagi menentukan usia relatif sesuatu mendapan ialah dengan menganggap mendapan yang lebih dalam adalah lebih tua daripada mendapan pada lapisan atas. Walaubagaimanapun, pemendapan sedimen akan terganggu oleh gerakan kerak bumi mengikut perubahan masa yang akan menyebabkan lipatan kerak dan pergolakan lapisan mendapan. Fenomena ini sering menyebabkan dasar laut akan terdedah ke permukaan melebihi paras air atau pun sebaliknya. Sehubungan ini, sebahagian mendapan akan terangkat oleh sungai yang baru terbentuk manakala mendapan yang lebih tua akan terdedah ke permukaan sebagai singkapan (*Worral, 1982*).

Jadual 2.1 menunjukkan perkaitan di antara usia geologi dengan pembentukan mendapan lempung. Pada Era Paleozoik Awal, tiada berlaku pembentukan mendapan lempung. Mendapan lempung hanya mula terbentuk pada Era Paleozoik Akhir dalam zaman *Carboniferous* yang berusia kira-kira 285 juta tahun dahulu. Pada zaman ini, lempung api yang dipercayai terbentuk. Lempung bebola pula mula terbentuk pada Era Kainozoik iaitu dalam zaman *Eocene* yang berusia 60 juta tahun dahulu. Pembentukan mendapan lempung terus berlaku sehingga sekarang.

Jadual 2.1 Sistem Usia Geologi ( Worrall, 1982)

Era	Period	Anggaran Usia (juta tahun dahulu)	Mendapan lempung utama	Mendapan lain
Paleozoik bawah (Primer)	Cambrian	500		Batu pasir, batu loh ( <i>slates</i> ), kerikil bersilika
	Ordovian	410		Batu pasir, batu loh
	Silurian	350		Syal berbatu loh, batu kapur, batu pasir, ' <i>flagstones</i> '
Paleozoik atas (Primer)	Devonian	325	Syal bata	' <i>Old Red Sandstones</i> ' dan batu kapur
	Carboniferous	285	Lempung api	Batu kapur gunung, ' <i>millstone grit</i> ', arang batu
	Permian	210	Tanah baja ( <i>marls</i> ) merah dan putih	Batu kapur bermagnesia, gypsum dan batu pasir

Jadual 2.1, sambungan-

Era	Period	Anggaran Usia (juta tahun dahulu)	Mendapan lempung utama	Mendapan lain
Mesozoik (sekunder)	Triassic	170	Tanah baja ( <i>marls</i> )	'Bunter Sandstones', lapisan batu kerikil, 'Keuper Sandstones', gipsum
	Jurassic	145	Lempung Oxford, ' <i>fuller's earth</i> '	Batu kapur, gipsum, 'calcareous sands and grit', jet dan lignit.
	Cretaceous	120	'Gault clay', 'Hastings clay', 'Weald clay'	'Upper and Lower Greensands', 'Chalk', batu api
Cainozoik (tertier)	Eocene	60	'Dorest ball clays', 'London clay'	Batu kerikil, pasir dan lignit
	Oligocene	35	'Devon ball clays'	Batu kapur bersilika, lignit
	Miocene	20		
	Pliocene	8		'calcerous sands', tanah loam dan batu kapur

Jadual 2.1 sambungan-

Era	Period	Anggaran Usia (juta tahun dahulu)	Mendapan lempung utama	Mendapan lain
Quaternary	Pleistocene	1	<i>'alluvium brick-earths'</i>	Gravel, <i>'chalk'</i> , <i>'flinty shingle'</i> , pasir
	Halocene (recent)	-	<i>'glacial clays'</i> , <i>'boulder clays'</i>	Pasir dan batu kapur, alluvial dan longgokan glasier.

### 2.5.2 Pengelasan Lempung dari aspek geologi.

#### i. Lempung sisa (Residual Clays)

*Bates (1969)* menyatakan kebanyakan lempung jenis ini terbentuk daripada;

- Larutan batu kapur atau dolomit dan meninggalkan lempung sebagai sisa atau
- Daripada penguraian batuan yang kaya dengan feldspar seperti granit dan pegmatit.

Lempung yang terbentuk dengan cara ini biasa dijumpai di kawasan yang panas dan lembab yang terletak di bawah lapisan batuan karbonat tetapi ia jarang digunakan secara komersial. Ini kerana, ia mengandungi bahan-bahan yang tidak diperlukan seperti ferum dioksida, pasir dan batu rejang (*chert*). Ia juga selalunya berada di dasar batuan yang menyebabkan ia sukar untuk diekstrak keluar.

#### ii. Lempung Terubahan (Alteration Clays)

Bukti perubahan lempung jenis piroklastik atau bentonit termasuklah kehadiran satu atau lebih serpihan kekaca yang terubahan, komposisi kimia yang menunjukkan bahawa kandungan silika dan bahan alkalinya telah disingkirkan dan digantikan dengan air, selain pengembangan lapisan individu kekisinya (*Bates 1969*).

#### iii. Lempung terangkut (Transported Clays)

Terdapat beberapa kawasan kejadian lempung jenis ini yang telah dikenal pasti (*Bates, 1969*). Antaranya ialah sungai dan glasier, kawasan paya, lagun dan delta serta kawasan marin.

- Sungai dan glasier

Lempung yang mempunyai nilai komersial yang tidak berubah menjadi batuan dasar (induk) ialah lempung yang terbentuk di sungai-sungai atau di tasik glasier. Walaupun ia mudah dijumpai, namun ia tidak wujud dalam kuantiti (tonnage) yang banyak.

- Kawasan paya

Lempung yang terbentuk di kawasan paya pada hari ini bukan merupakan sumber lempung yang penting namun, lempung yang wujud pada zaman dahulu kala (berjuta-juta tahun dahulu) merupakan sumber penting. Ia lebih dikenali sebagai ‘*underclays*’ kerana ia berada di bawah lapisan arang batu.

- Lagun dan delta

Beberapa lempung komersial termendap di kawasan lagun dan delta yang tergolong dalam usia *Crataceous* dan *Tertiary*. Keadaan iklimnya ialah tropika dan subtropika. Lapisan lempung cenderung berbentuk ‘*lenticular*’ dan dikelilingi oleh pasir.

- Kawasan marin

Kebanyakan lempung marin komersial dijumpai di Atlantik dan di teluk pantai yang lapang. Berdasarkan sistem Tertier, Lempung Crataceous merupakan lempung yang penting. Kebanyakan lempung ini digunakan sebagai bahan penjerap kerana ia adalah bahan ‘*fuller’s earth*’ yang aktif secara semulajadi atau yang sudah diaktifkan melalui perawatan asid.

### 2.5.3 Geologi Kejadian Kaolin

Secara umumnya, mendapan kaolin dikelaskan kepada dua kelas utama iaitu kaolin primer (sisa) dan kaolin sekunder (termendak). Mod pembentukan kaolin akan mempengaruhi mineralogi, kandungan kimia dan morfologi lempung dan turut mempengaruhi pemilihan kaerah pemprosesan yang akan digunakan untuk menjadikannya produk komersial (*Bloodworth, et. al, 1993*).

#### i. Kaolin primer.

Kaolin jenis ini adalah kaolin yang terbentuk secara ‘*in-situ*’ daripada perubahan batuan induk yang kaya dengan aluminosilikat seperti granit atau ‘*gneiss granitic*’ yang disebabkan oleh pengluluhawaan, hidrotermal dan kadang-kadang proses volkanik. Keadaan batuan induk adalah penting dalam penentuan kualiti kaolin. Kandungan kaolinit dalam kaolin primer adalah di antara 20-30%.

Pengluluhawaan batuan granit adalah proses utama dalam pembentukan kaolinit melalui pelarutlesapan alkali daripada mineral aluminosilikat. Mendapan kaolin membentuk sebagai sisa pada atau berdekatan permukaan. Perubahan hidrotermal batuan yang mengadungi aluminosilikat merupakan proses pengkaolinatan yang penting. Batuan hos hendaklah mempunyai retakan yang cukup bagi membenarkan aliran air bawah tanah yang panas. Aliran haba tinggi granit akan membekalkan keadaan termal optimum yang diperlukan untuk menggerakkan perolakan air bawah tanah. Kaolin berkualiti tinggi dihasilkan daripada batuan hos granit yang kurang mengandungi mineral besi seperti biotit (*Bloodworth, et. al, 1993*).