

BAB II  
DASAR TEORI

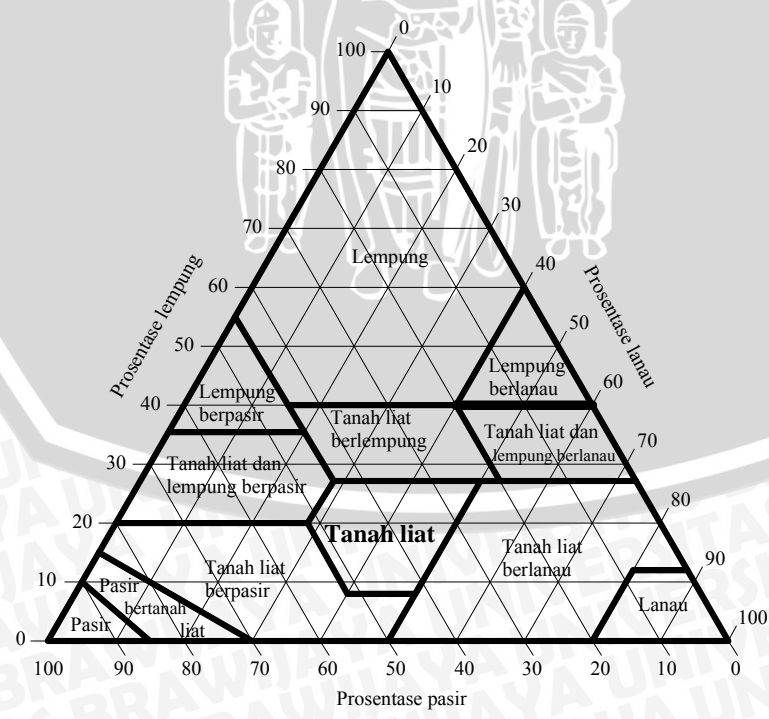
2.1 Klasifikasi Tanah

Untuk menerangkan tanah berdasarkan ukuran-ukuran partikelnya, beberapa organisasi telah mengembangkan batasan-batasan ukuran golongan jenis tanah (*soil separate size limits*). Organisasi ini adalah *MIT*, *USDA*, *AASHTO*, dan *USCS*. Pada saat sekarang, sistem *Unified (USCS)* telah diterima di seluruh dunia (Braja M. Das, 1988).

Tabel 2.1 Batasan-batasan Ukuran Golongan Tanah

Nama golongan	Ukuran butiran (mm)			
	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung
<i>Massachusetts Institute of Technology (MIT)</i>	> 2	2 - 0,06	0,06 - 0,002	< 0,002
<i>U. S. Department of Agriculture (USDA)</i>	> 2	2 - 0,05	0,05 - 0,002	< 0,002
<i>American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)</i>	76,2 - 2	2 - 0,075	0,075 - 0,002	< 0,002
<i>Unified Soil Classification System (U.S. Army Corps of Engineers, U.S. Bureau of Reclamation)</i>	76,2 - 4,75	4,75 - 0,075	Halus (yaitu lanau dan lempung) < 0,0075	

Sumber: Braja M. Das, jilid 1, hal: 7



Gambar 2.1 Klasifikasi berdasarkan tekstur oleh USDA

### 2.1.1 Lempung

Lempung (*clay*) sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopis dan submikroskopis yang berbentuk lempengan-lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika, mineral-mineral lempung, dan mineral-mineral yang sangat halus lain. Pada Tabel 2.1, lempung didefinisikan sebagai golongan partikel yang berukuran kurang dari 0,002 mm. Dalam hal ini tanah diklasifikasikan sebagai lempung hanya berdasarkan pada ukurannya saja. Belum tentu tanah dengan ukuran partikel lempung tersebut juga mengandung mineral-mineral lempung. Dari segi mineral, yang disebut tanah lempung ialah yang mempunyai partikel-partikel mineral tertentu yang menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air. Jadi dari segi mineral, tanah dapat juga disebut sebagai tanah bukan lempung meskipun terdiri dari partikel-partikel yang sangat kecil berukuran submikroskopis, tetapi umumnya mereka tidak dapat menyebabkan terjadinya sifat plastis dari tanah (Braja M. Das, 1988).

### 2.1.2 Mineral Lempung

Mineral lempung merupakan senyawa aluminium silikat yang kompleks yang terdiri dari satu atau dua unit dasar yaitu *silika tetrahedra* dan *aluminium oktahedra*. Kombinasi dari unit-unit silika tetrahedra dan aluminium oktahedra tersebut bisa membentuk lembaran silika dan lembaran gibbsite. Lembaran-lembaran silika dan gibbsite ini yang membentuk tiga tipe utama mineral tanah lempung yaitu kaolinite, illite, dan montmorillonite.

Bahan silika juga merupakan bahan yang bisa memasuki pori-pori batuan dan ruang-ruang di antara butiran pasir dan quartz ( $\text{SiO}_2$ ), dan menjadi unsur-unsur sementasi antar butiran. Sedangkan quartz ( $\text{SiO}_2$ ) adalah produk yang sangat tahan terhadap pelapukan dan termasuk mineral yang sangat stabil (Braja M. Das, 1988).

### 2.1.3 Tanah Liat

Tanah liat (*loam*) adalah pasir dan sliab yang mengandung tanah pekat (*clay*) yang susunannya berbeda-beda menurut sumber penemuan (Heinz Frick, 1999).

Jenis tanah liat yang dipakai untuk pembuatan batu bata dan genteng adalah tanah liat yang mudah leleh (*easily fusible clay*). Dalam tanah liat ada dua macam bahan utama, yaitu golongan yang dapat leleh pada suhu tinggi yang disebut jaringan pengikat dan butir-butir pengisi yang tetap tidak leleh pada suhu tinggi. Fraksi yang leleh ini

akan mengeras pada waktu pendinginan dan mengikat butir pengisi menjadikan suatu masa yang keras seperti batu (Ismoyo, 1984).

Tanah liat membuat tanah bersifat plastis, akan tetapi terlalu banyak tanah liat (kurang pasir) berakibat susutan bata dan genteng cukup besar selama pengeringan dan pembakaran, juga retak dan melengkung. Pasir menghilangkan sifat tersebut akan tetapi jika terlalu banyak pasir berakibat tidak ada lekatan antar butiran-butirannya, dan akibatnya bata dan genteng menjadi getas dan lemah (Kardiyono, 1995).

## 2.2 Lumpur Lapindo

Banjir lumpur panas Sidoarjo 2006 merupakan kasus menyemburnya lumpur panas di lokasi pengeboran PT. Lapindo Brantas di Desa Renokenongo Porong Sidoarjo sejak tanggal 29 Mei 2006. Semburan lumpur panas ini menyebabkan tergenangnya kawasan permukiman, pertanian dan perindustrian di tiga kecamatan disekitarnya, serta mempengaruhi aktivitas perekonomian di Jawa Timur.

Banyak ahli geologi yang menganalogikan semburan lumpur Lapindo dengan gejala alam yang disebut *mud volcano*, yang banyak tersebar di Indonesia. Berdasarkan dari hasil penelitian bahwa lumpur yang berasal dari perut bumi mengandung lempung dan pasir. Hingga saat ini lumpur yang keluar terdiri dari 70% zat cair dan 30% zat padat. Beberapa penelitian juga dilakukan terhadap kandungan unsur kimianya.

Tabel 2. 2 Kandungan tanah lumpur Lapindo berdasarkan ukuran butir

Jenis	Prosentase
Clay (lempung)	71,43 %
Silt (lanau)	10,71 %
Sand (pasir)	17,86 %

Sumber: Totok Noerwasito

Beberapa kajian juga dilakukan terhadap kandungan lumpur yang ditujukan untuk pemanfaatan lumpur tersebut sebagai bahan bangunan. Diketahui bahwa lumpur mengandung cukup banyak silika, dimana silika merupakan salah satu unsur yang sering digunakan sebagai bahan bangunan. Hasil penelitian di laboratorium juga menunjukkan kalau lumpur Lapindo bisa dibuat bahan bangunan seperti bata, *paving block*, dan genteng (Noerwasito, 2006).

Silika merupakan komposisi dari mineral kwarsa, dimana kwarsa memiliki sifat tahan terhadap pelapukan dan hanya sedikit yang terlarut dalam air. (Braja M.Das, 1988)

Berdasarkan penelitian terdahulu tentang uji kuat tekan bahan batu bata juga memperlihatkan adanya hubungan yang nyata antara penambahan lumpur Lapindo dengan kuat tekan bahan batu bata. Penelitian ini menggunakan variasi komposisi prosentase penambahan lumpur Lapindo mulai dari 0%, 50%, 55%, 60%, 65%, dan 70%. Secara keseluruhan batu bata dengan penambahan lumpur Lapindo, nilai kuat tekannya mengalami peningkatan. Nilai kuat tekan optimum adalah  $104,62 \text{ kg/cm}^2$  pada komposisi penambahan 30% lebih besar 41,49% dari kuat tekan normal ( $73,94 \text{ kg/cm}^2$ ). Untuk penambahan lumpur Lapindo lebih besar dari 30% perlu dilakukan penelitian lanjutan sehubungan dengan terjadinya retak-retak dan pelengkungan pada batu bata. Padahal nilai kuat tekannya masih di atas kuat tekan batu bata normal. Untuk penelitian lanjutan ini, selain komposisi penambahan lumpur Lapindo juga dilakukan penambahan komposisi pasir pada campuran bahan batu bata. Karena pasir dapat memperkecil terjadinya retak-retak dan perubahan bentuk menjadi melengkung. Selain dari hasil kuat tekan, penelitian ini juga menunjukkan bahwa penambahan lumpur Lapindo dapat memperkecil nilai prosentase absorpsi (Acief Sunardi, Edhi Wahyuni, 2007).

Berdasarkan hasil pengujian Depudi Bidang TPSA-BPPT, hasil analisis kimia dan mineral lumpur Lapindo di lokasi Siring dan Renokenongo adalah sebagai berikut:

Tabel 2.3 Hasil analisa kimia lumpur Lapindo dengan metode SEM-EDX di lokasi Siring

Element	(keV)	mass %	Error %	At %	Compound	mass %	Cation K
O		45.88					
Na K	1.041	1.17	1.10	1.71	Na <sub>2</sub> O	1.57	1.8924
Mg K	1.253	1.75	1.00	4.84	MgO	2.90	2.5165
<b>Al K</b>	<b>1.486</b>	<b>13.27</b>	<b>1.09</b>	<b>16.54</b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>25.07</b>	<b>22.5960</b>
<b>Si K</b>	<b>1.739</b>	<b>25.67</b>	<b>1.18</b>	<b>61.46</b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>54.92</b>	<b>44.6292</b>
Cl K	2.621	0.91	0.65	1.72	Cl	0.91	1.9770
K K	3.312	1.93	0.98	1.66	K <sub>2</sub> O	2.32	4.6320
Ca K	3.690	1.54	1.31	2.58	CaO	2.16	3.9388
Fe K	6.398	7.89	2.54	9.50	FeO	10.15	17.8180
Total		100.00		100.00		100.00	14.71

Sumber: Depudi Bidang TPSA-BPPT

Tabel 2.4 Hasil analisa kimia lumpur Lapindo dengan metode SEM-EDX di lokasi Renokenongo

Element	(keV)	mass %	Error %	At %	Compound	mass %	Cation	K
O		45.13						
Na K	1.041	1.53	0.87	2.24	Na <sub>2</sub> O	2.06	0.57	2.4258
Mg K	1.253	1.84	0.80	5.09	MgO	3.05	0.64	2.5788
<b>Al K</b>	<b>1.486</b>	<b>13.37</b>	<b>0.86</b>	<b>16.66</b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>25.25</b>	<b>4.21</b>	<b>22.1879</b>
<b>Si K</b>	<b>1.739</b>	<b>24.07</b>	<b>0.94</b>	<b>57.64</b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>51.49</b>	<b>7.29</b>	<b>40.9104</b>
S K	2.307	0.38	1.17	0.81	SO <sub>3</sub>	0.96	0.10	0.7800
Cl K	2.621	1.49	0.51	2.83	Cl	1.49	0.00	3.2139
K K	3.312	2.13	0.77	1.83	K <sub>2</sub> O	2.56	0.46	5.0282
Ca K	3.690	1.66	1.03	2.79	CaO	2.32	0.35	4.1749
Fe K	6.398	8.40	2.00	10.12	FeO	10.81	1.28	18.7002
Total		100.00		100.00		100.00	14.91	

Sumber: Depudi Bidang TPSA-BPPT

Tabel 2.5 Hasil analisa lumpur Lapindo di lokasi Siring dan Renokenongo

Analisa	Metode	SRG-077 Siring	RKG-078 Renokenongo
Mineralogi	XRD	Quartz Calcite Halit Clinoclor, Ferroan Mucovite	Quartz Kaolinite Muscovite
Kimia	SEM-EDX	SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> FeO MgO K <sub>2</sub> O CaO Na <sub>2</sub> O Cl	SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> FeO MgO K <sub>2</sub> O CaO Na <sub>2</sub> O Cl SO <sub>3</sub>

Sumber: Depudi Bidang TPSA-BPPT

Berdasarkan pengujian toksikologis di 3 laboratorium terakreditasi (Sucofindo, Corelab dan Bogorlab) diperoleh kesimpulan ternyata lumpur Lapindo tidak termasuk limbah B3 seperti Arsen, Barium, Boron dan sebagainya yang tergolong anorganik. Sedangkan untuk bahan organik seperti Trichorophenol, Chlordane dan sebagainya hasil pengujian juga menunjukkan semua parameter bahan kimia itu berada dibawah baku

mutu, sehingga kekhawatiran masyarakat selama ini bahwa unsur kimia lumpur Lapindo berbahaya dan beracun adalah tidak benar. Sehingga pemanfaatan lumpur Lapindo sebagai bahan bangunan, aman bagi kesehatan (Mukono, 2006).

Tabel 2. 6 Hasil pengujian toksikologis

Beberapa Hasil Pengujian		
Parameter	Hasil uji maksimum	Baku Mutu
		(PP Nomor 18/1999)
Arsen	0,045 Mg/L	5 Mg/L
Barium	1,066 Mg/L	100 Mg/L
Boron	5,097 Mg/L	500 Mg/L
Timbal	0,05 Mg/L	5 Mg/L
Raksa	0,004 Mg/L	0,2 Mg/L
Sianida Bebas	0,02 Mg/L	20 Mg/L
Trichlorophenol	0,017 Mg/L	2 Mg/L (2,4,6 Trichlorophenol)
		400 Mg/L (2,4,4 Trichlorophenol)

Sumber: <http://id.wikipedia.org>

Hasil penelitian di Laboratorium Mekanika Tanah Politeknik Negeri Malang juga menunjukkan kalau lumpur Lapindo mengandung 22.13 % lanau, 19.40% pasir dan 58.47% lempung. Dari hasil penelitian tersebut maka lumpur Lapindo termasuk jenis tanah lempung. Jenis tanah ini mempunyai partikel – partikel mineral tertentu yang menghasilkan sifat – sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air, sehingga dapat dicetak dengan mudah dan dikeringkan dengan cepat. Sifat plastis dan mudah dicetak ini sangat memudahkan dalam proses pembuatan genteng keramik.

### 2.3 Genteng Keramik

Menurut Peraturan Genteng Keramik Indonesia (PGKI NI 19 Tahun 1976) genteng keramik adalah suatu unsur bangunan yang berfungsi sebagai penutup atap dan yang dibuat dari tanah liat dengan atau tanpa dicampur dengan bahan tambahan, dibakar dalam suhu yang cukup tinggi, sehingga tidak dapat hancur apabila direndam dalam air. Keramik merupakan material padat, campuran inorganik yang terdiri dari elemen-elemen metalik dan nonmetalik terikat bersama melalui ikatan ionik atau kovalen. Sebagian besar keramik termasuk ke dalam campuran-campuran seperti silika (SiO<sub>2</sub>) dan alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Bila diproses secara tepat sehingga memiliki kemurnian tinggi, mereka menunjukkan biokompatibilitas yang sempurna (satu fungsi dari insolubilitas

dan *inertness* kimia) dan ketahanan *wear* yang tinggi (keras, licin, permukaan hidrofilik). Material keramik merupakan material yang sangat kaku dan *brittle*, namun sangat kuat di bawah beban kompresi.

Berdasarkan bentuknya genteng keramik dapat dibagi menjadi tiga macam, yaitu :

- a. Genteng lengkung cekung, yaitu genteng dengan penampang yang berbentuk gelombang, tidak simetris tanpa bagian yang rata.
- b. Genteng lengkung rata, yaitu genteng dengan penampang bagian tengah yang rata dan tepi tepinya melengkung.
- c. Genteng rata, yaitu genteng dengan permukaan yang rata, dengan tepi yang satu beralur dan tepi lainnya berlidah, biasanya dibuat dengan mesin kempa/ press.

### 2.3.1 Bahan

#### 2.3.1.1 Tanah Liat (Lempung)

Tanah liat berasal dari kerak bumi yang terjadi karena pelapukan dan erosi angin, air dan gletser sehingga berbentuk halus. Pada tanah liat terdapat akar-akaran dan sisa tumbuh-tumbuhan serta bahan organik lainnya yang membusuk sehingga tanah liat menjadi berwarna (Sinugroho dan Hartono, 1979).

Tanah liat adalah hasil disintegrasi atau penghancuran batuan silikat alam (biasanya adalah batuan feldspar) oleh pengaruh air dan karbondioksida. Tergantung apakah tanah liat tersebut tetap ditempat disintegrasi atau diangkut ketempat lain, maka dapat digolongkan menjadi :

- a. Tanah liat primer, yaitu tanah liat yang terdapat ditempat terjadinya disintegrasi, yang biasanya masih berhubungan dengan batuan asalnya, belum mengalami pelapukan.
- b. Tanah liat sekunder, yaitu tanah liat yang telah mengalami pengangkutan, kemudian diendapkan ditempat yang lain.

Bahan keramik dibagi dalam dua golongan, yaitu :

- a. Golongan keramik tidak kedap air, dimana penyerapan air lebih besar dari 5%
- b. Golongan keramik kedap air, diman penyerapan air kurang dari 5%

Bahan baku utama dari genteng keramik adalah tanah liat.

Tergantung sifat- sifatnya terhadap pengaruh suhu, maka tanah liat dapat digolongkan menjadi :

- a. Tanah liat tahan api (*refractory clay*). Golongan ini adalah tergolong paling murni, kebanyakan terdiri dari tanah liat kaolimit yang mengandung sedikit campuran- campuran kuarsa, feldspar, mika, kalsium, karbonat dan senyawa- senyawa besi. Keramik jenis ini tahan suhu diatas 1580°C. *Refractory clay* yang dibakar dapat berwarna putih, kekuning- kuningan atau abu- abu muda.
- b. Tanah liat titik leleh tinggi (*high melting clay*). Mengandung campuran- campuran seperti oksida- oksida besi, pasir kuarsa dan senyawa- senyawa lain dalam jumlah yang besar dibanding dengan *refractory clay*. Tanah liat ini dipakai untuk pembuatan tegel porselin, tegel laniat yang berbentuk mozaik dan pipa yang tahan suhu tinggi.
- c. Tanah liat yang mudah meleleh (*easily fusible clay*). Susunan mineral pembentuknya sangat berbeda- beda dan banyak tercampur zat seperti pasir kuarsa, bermacam- macam oksida, batu kapur dan senyawa- senyawa organik. Tanah liat jenis ini dipakai untuk pembuatan batu bata, genteng dan bata berlubang.

Menurut persyaratan umum bahan bangunan Indonesia (PUBI 1986) mendefinisikan tanah liat dalam tiga jenis:

- a. Tanah Liat (*clay*) adalah jenis tanah yang dalam keadaan kering terasa seperti berlemak, mempunyai daya susut muai yang besar dan mempunyai daya ikat yang besar baik dalam keadaan kering maupun basah.
- b. Tanah Geluh (*loam*) adalah jenis tanah dalam keadaan kering tidak terasa seperti berlemak, mempunyai daya susut muai yang kecil dan mempunyai daya ikat yang kecil dalam keadaan basah maupun kering.
- c. Tanah Liat dan Shale untuk pembuatan agregat ringan adalah tanah liat yang akan mengembang atau membekah bila dipanaskan sampai temperatur tinggi pada atau diatas titik leburnya, dan membentuk butiran yang keras dan ringan.

Lempung adalah hasil pelapukan dari batuan keras dan merupakan batuan sedimen. Berdasarkan atas tempat pengendapan dan jarak pengangkutannya dari daerah asal, lempung dapat dibagi dalam jenis-jenis sebagai berikut (Sinugroho dan Hartono,1979):

1. Lempung Residual adalah lempung yang terdapat pada tempat dimana lempung itu terjadi, atau dengan kata lain lempung tersebut belum berpindah tempat sejak terbentuknya.



2. Lempung Illuvial adalah lempung yang telah terangkut dan mengendap pada suatu tempat yang tidak jauh dari tempat asalnya, misalnya di kaki-kaki bukit.
3. Lempung Alluvial adalah lempung yang diendapkan oleh air sungai disekitar atau sepanjang sungai.
4. Lempung Marin adalah lempung yang endapannya diendapkan di laut.
5. Lempung Rawa adalah lempung yang diendapkan di rawa-rawa.
6. Lempung danau adalah lempung yang diendapkan di danau (air tawar).

Lempung yang dibakar pada temperatur tinggi akan mengalami perubahan perubahan (Sinugroho dan Hartono, 1979), antara lain :

1. Pada temperatur  $\pm 150$  C, maka semua air pembentuk yang ditambahkan pada lempung pada waktu membuat genteng akan menguap.
2. Pada temperatur antara 400 – 600 C, air yang terikat secara kimia dan zat-zat lain didalam lempung akan menguap.
3. Pada temperatur diatas 800 C, terjadi perubahan-perubahan kristal dari lempung dan mulai terbentuk bahan gelas yang mengisi pori-pori, sehingga bahan menjadi padat dan kuat.
4. Senyawa-senyawa besi akan berubah menjadi senyawa yang lebih stabil dan umumnya memberi warna merah (bila temperatur terlalu tinggi, maka warna menjadi hitam).
5. Lempung mengalami susut kembali dan dinamakan susut bakar. Susut bakar ini tidak boleh terlalu besar (maksimum 2%) supaya tidak timbul cacat, seperti perubahan bentuk, pecah-pecah, dan retak-retak. Secara praktis lempung yang telah dibakar tidak kembali lagi menjadi lempung oleh pengaruh air atau udara.

Lempung adalah bahan dasar dalam pembuatan genteng. Adapun beberapa syarat lempung dalam pembuatan genteng adalah sebagai berikut (Sinugroho dan Hartono,1979):

1. Lempung terdapat disuatu tempat yang dekat dengan jalan dan jumlahnya cukup banyak.
2. Lempung harus plastis atau agak plastis, sehingga dapat mudah diberi bentuk.
3. Bila lempung kurang plastis harus dilakukan usaha-usaha peningkatan keplastisan, seperti penyimpanan di luar, penggilingan lebih halus, perendaman atau dengan penambahan bahan-bahan lain.

4. Lempung mempunyai kekuatan kering tinggi dan susut kering rendah (maksimum 10%). Bila susut kering terlalu besar, dapat ditambahkan bahan pengurus.
5. Lempung tidak mengandung fraksifikasi dari batuan keras berukuran lebih besar dari 1,410 mm. Bila terdapat kerikil, harus dihaluskan dengan alat penggiling.
6. Lempung tidak mengandung butir-butir kapur berukuran lebih besar dari 0,5 mm. Bila terdapat butir-butir kapur, maka perlu dihaluskan hingga tembus saringan 0,5 mm.
7. Lempung telah padat pada pembakaran disekitar 900°C-1000°C.
8. Lempung tidak boleh mempunyai susut bakar terlalu tinggi (maksimum 2%).

Dalam tanah liat ada dua bahan utama yaitu golongan yang dapat leleh pada suhu tinggi yang disebut jaringan pengikat dan butir-butir pengisi (*filter grains*) yang tetap tidak meleleh pada suhu tinggi. Fraksi yang leleh ini akan mengeras pada waktu pendinginan dan mengikat atau menyemen jarak-jarak tanah liat butir pengisi dan menjadi suatu massa yang keras seperti batu (Ismoyo, 1984). Sifat-sifat tanah liat yang penting untuk bahan keramik antara lain :

1. Plastisitas. Bahan tanah liat harus sanggup diubah bentuknya tanpa terjadi retakan-retakan. Hal yang sama mempengaruhi adalah susunan mineral, besar butir tanah liat, jumlah air dalam pasta tanah liat, kadar garam dan zat organik yang larut. Plastisitas sangat erat hubungannya dengan susut tanah liat tersebut. Tanah liat yang sangat plastis susut 10- 15 % pada kadar air  $\pm$  28%. Plastisitas rendah jika susut diudara lebih kecil dari 7% pada kadar air mencapai 20%.
2. Sifat keteguhan pada suhu tinggi. Pada pembakaran dengan temperatur yang tinggi, sifatnya tetap teguh dan bersifat kedap air. Tanah liat baru boleh meleleh pada suhu sedikitnya 450°C.
3. Sifat tahan api. Pada pemakaian sebagai bahan konstruksi maka adalah penting nilainya daya tahan tanah liat pada suhu tinggi.

#### 2.3.1.2 Air

Air merupakan salah satu bahan tambahan dalam pembuatan genteng. Penambahan air dilakukan agar lempung menjadi lebih plastis sehingga memberikan kemudahan dalam pembentukan atau pencetakan. Air yang dapat digunakan sebagai

bahan tambahan dalam pembuatan genteng mempunyai syarat-syarat sebagai berikut (Sinugroho dan Hartono,1979):

1. Air cukup banyak dan kontinyu sepanjang tahun.
2. Air harus tidak sadah (tidak mengandung garam-garam yang larut dalam air, seperti garam dapur dan lain-lain).
3. Air cukup bersih (tidak mengandung bibit penyakit).

Dalam proses pembuatan genteng, air ditambahkan secukupnya pada lempung sampai lempung tersebut menjadi plastis dan mudah untuk dibentuk atau dicetak.

### 2.3.2 Proses Pembuatan Genteng

Pembuatan genteng dapat dilakukan dengan cara yang sederhana dengan menggunakan alat- alat sederhana ataupun dengan menggunakan mesin- mesin modern.

Tahapan- tahapan pembuatan genteng adalah :

1. Pencarian lahan tanah liat
2. Penggalian tanah liat
3. Persiapan lahan
4. Pembentukan atau Pencetakan
5. Pengeringan
6. Penyusunan genteng dalam tungku
7. Pembakaran
8. Pemilihan dan pengontrolan mutu

#### 2.3.2.1 Pencarian lahan

Lahan tanah liat (*clay quarry*) harus memenuhi syarat yaitu tidak terlalu jauh dari tungku pembakaran.

#### 2.3.2.2 Penggalian tanah liat

Setelah didapatkan lahan tanah liat yang memenuhi syarat maka diadakan penggalian dan pengangkutan. Penggalian sebaiknya dilakukan secara merata sehingga tidak menimbulkan lubang- lubang yang dapat menjadi kubangan- kubangan bila hujan tiba. Bila terpaksa digunakan tanah persawahan atau tegalan maka jangan dilakukan penggalian yang terlalu dalam. Bila dijumpai tanah- tanah yang berbatu, maka sebaiknya dipilih daerah yang lain.

### 2.3.2.3 Persiapan lahan

Tanah liat yang telah diangkut dikumpulkan dalam tempat terbuka supaya terkena sinar matahari dan embun hingga hancur dengan sendirinya. Tanah liat yang telah hancur dimasukkan kedalam lubang- lubang yang telah disediakan dan direndam selama semalam atau lebih dengan air yang banyak. Setelah perendaman cukup, maka tanah liat basah dihamparkan dengan ketebalan maksimal 20 cm. Bila tanah liat tersebut dianggap terlalu gemuk maka perlu dikuruskan dengan menambahkan agregat yang agak kasar, biasanya bubuk semen merah atau pasir. Penyampuran bahan pengurus ini haruslah diaduk dan diremas sehingga betul- betul rata.

### 2.3.2.4 Pembentukan dan Pencetakan

Bila tanah liat tersebut mengandung batuan kecil/ kerikil dalam jumlah yang cukup banyak, maka perlu digiling dengan wals atau alat penggiling lain. Pada pabrik- pabrik yang besar, sambil menggiling untuk meratakan maka alat desak/ press itu sekaligus mendesakkan pelat tanah liat dengan ketebalan yang sudah ditentukan sesuai dengan ukuran standar tebal genteng. Secara otomatis pula pelat tanah liat tersebut dipotong- potong dan dimasukkan kedalam mesin cetak pembentuk dan dicetak desak. Hasilnya disebut genteng press. Pada mesin cetak modern, maka untuk menghindari melekatnya tanah liat ke cetakan, maka cetakan tersebut diolesi dengan campuran minyak solar dan minyak kelapa.

### 2.3.2.5 Pengeringan

Setelah genteng mentah dicetak, maka diadakan proses pengeringan. Bila mutu tanah liat kurang sempurna maka proses pengeringan harus dilakukan hanya dengan diangin- anginkan saja. Tetapi bila mutu tanah liat cukup baik maka genteng- genteng mentah tersebut dapat disandarkan secara miring, diletakkan ditempat terbuka supaya terkena panas matahari. Genteng yang telah kering udara (mengandung kadar air  $\pm 5-7\%$  air) siap untuk dibakar.

### 2.3.2.6 Penyusunan genteng dalam tungku

Genteng mentah yang telah kering disusun secara rapi agar efektif penggunaan ruangan dalam tungku, kemudian pintu tungku ditutup. Cara penyusunan tergantung pada tungku pembakaran yang digunakan. Genteng mentah disusun sejajar berdiri atau melintang.

### 2.3.2.7 Pembakaran

Setelah genteng disusun, pintu tungku ditutup dan pembakaran dimulai secara perlahan- lahan hingga asap yang keluar tidak berwarna putih lagi dan suhu  $\pm 150^{\circ}\text{C}$ , kemudian suhu pembakaran dinaikkan menjadi  $600^{\circ}\text{C}$ . Sebaiknya suhu ini dipertahankan  $\pm 4$  jam dan pada akhir pembakaran suhu diturunkan secara perlahan- lahan agar genteng dapat matang secara merata.

Di Indonesia lazim digunakan tipe tungku dengan panas turun naik. Dindingnya tidak perlu dilapisi dengan bata tahan api, lantainya cukup dilepa dengan pasir dan tanah liat. Bahan bakar yang digunakan dapat berupa batu bara, kayu bakar atau solar. Kayu bakar biasanya boros, panas tidak dapat merata sehingga kematangan juga tidak merata. Sedangkan penggunaan solar kemungkinan besar akan terjadi *over heated* pada genteng- genteng yang terletak dekat semburan solar. Maka sebaiknya digunakan *movable heaters* yaitu alat pemanas yang dapat dipindah- pindahkan sehingga terjadi pembakaran yang merata. Cara yang lebih mutakhir adalah dengan menggunakan cara pengaliran udara yang dapat diatur (*heated air regulatiuon system*).

### 2.3.2.8 Pemilihan dan pengontrolan mutu

Sesudah suhu cukup rendah, genteng dalam tungku dapat dibongkar, kemudian genteng yang sudah matang dipilih untuk menentukan mutu. Secara teknis peraturan pengujian mutu terdapat dalam PGKI NI 19, tetapi dalam prakteknya hal- hal yang perlu diperhatikan pada pemeriksaan adalah berdasarkan sifat- sifat genteng, seperti tidak terdapat pecah- pecah, retak- retak atau perubahan bentuk dan warna harus merata, juga bunyi dari genteng nyaring atau tidak serta kehalusan (kerataan).

## 2.3.3 Syarat- syarat dan Pengujian Genteng Keramik

Genteng keramik memiliki peraturan yang dijelaskan dalam Peraturan Genteng Keramik Indonesia NI 19 (PGKI NI 19) mengenai syarat- syarat dan pengujian genteng keramik. Untuk menghasilkan genteng yang baik dan kontrol terhadap mutu genteng, maka genteng keramik harus memenuhi persyaratan berdasarkan PGKI NI 19.

### 2.3.3.1 Syarat-syarat Genteng Keramik

#### 2.3.3.1.1 Pandangan Luar

- a) Genteng tingkat I : Genteng tingkat I harus mempunyai permukaan yang utuh dan licin; dalam keadaan kering jika dipukul ringan harus berbunyi nyaring; kerapatan

pada pemasangan harus baik; warna harus sesuai dengan warna yang dipesan; bila terdapat lapisan tembikar atau lapisan pewarna, lapisan itu harus melekat baik pada genteng aslinya.

- b) Genteng tingkat II: Genteng tingkat II harus mempunyai kerapatan yang baik; adanya retak-retak kecil pada pemasangan yang tidak menyebabkan perembesan air diperbolehkan.
- c) Genteng tingkat III: Genteng tingkat III tidak memenuhi syarat-syarat genteng tingkat I dan II, tetapi yang masih dapat dipakai.
- d) Semua genteng harus diberi kaitan (bagian untuk menyangkutkan pada reng), yang cukup baik dan kuat, sehingga genteng tidak akan menggeser ke bawah apabila dipasang pada atap.

#### 2.3.3.1.2 Ketetapan Ukuran

Genteng standar harus memenuhi ukuran-ukuran sebagai berikut:

Tabel 2.7 Ukuran genteng standar PGKI NI-19

	Genteng			Keterangan
	Kecil	Sedang	Besar	
Panjang berguna (jarak reng)	200 mm	250 mm	333 mm	
Lebar berguna	200 mm	200 mm	200 mm	Penyimpangan 6 mm
Jarak penutup memanjang	40 mm	50 mm	67 mm	Kecuali genteng beralur
Jarak penutup melintang	40 mm	40 mm	40 mm	Kecuali genteng beralur
Kaitan: Tinggi	10 mm	10 mm	10 mm	Untuk genteng lengkung
Panjang	30 mm	30 mm	30 mm	Cekung dan lengkung
Lebar	10 mm	10 mm	10 mm	Rata

Sumber: PGKI NI-19, 1978: 4

#### 2.3.3.2 Pengujian Genteng Keramik

Genteng keramik memiliki peraturan yang dijelaskan dalam Standar Nasional Indonesia 03-2095-1998 mengenai syarat-syarat dan pengujian genteng keramik. Untuk menghasilkan genteng yang baik dan kontrol terhadap mutu genteng, maka genteng keramik harus memenuhi persyaratan dan pengujian berdasarkan SNI 03-2095-1998.

2.3.3.2.1 Kuat Lentur Genteng Keramik

Untuk menentukan beban lentur diperlukan paling sedikit 6 buah genteng uji. Yang disebut beban lentur dari genteng ialah hasil rata-rata dari 6 buah genteng uji yang dibulatkan sampai 1 kg. Genteng harus mempunyai beban lentur sebagai berikut:

Tabel 2.8 Beban lentur

Genteng Tingkat	Rata-rata dari minimum 6 buah genteng ujian (kg)	Harga minimum untuk masing-masing genteng ujian (kg)
I	170	140
II	110	90
III	80	65

Sumber: SNI 03-2095-1998: 3

2.3.3.2.2 Berat, Pandangan Luar, Ketetapan Bentuk, dan Ukuran Genteng Keramik

Untuk menentukan berat dari genteng diperlukan 10 buah genteng uji dan sebuah neraca yang dapat menimbang dengan ketelitian sampai 10 gram. Penentuan berat diperoleh dari penimbangan 10 genteng uji, yang akhirnya berat genteng yang dipakai adalah berat rata-rata dari 10 penimbangan.

Untuk pengujian pandangan luar, ketetapan bentuk, dan ukuran genteng dilakukan terhadap hal-hal berikut:

Tabel 2.9 Pengujian pandangan luar

Jenis Pengujian	Keterangan
Permukaan genteng	Dalam hal ini, permukaan genteng dapat dinyatakan dengan mulus, tidak terdapat bintik-bintik hitam, benjolan lekukan, cacat, nuansa warna dan bentuk harus seragam.
Retak-retak	Dalam hal ini, retak-retak dapat dinyatakan sebagai, kecil, besar atau tidak ada.
Susunan genteng di atas atap	Dalam hal ini, susunan genteng dapat dinyatakan sebagai rapi, baik atau tidak rapi.

Sumber: SNI 03-2095-1998: 2

Tabel 2.10 Ketetapan ukuran genteng keramik

Nama Ukuran	Jenis Genteng		
	Kecil	Sedang	Besar
Panjang berguna (jarak reng)	200 mm	250 mm	300 mm
Lebar berguna	200 mm	200 mm	200 mm
Jarak penutup memanjang	40 mm	40 mm	60 mm
Jarak penutup melintang	40 mm	40 mm	40 mm
Kaitan:			
Tinggi	10 mm	10 mm	10 mm
Panjang	30 mm	30 mm	30 mm
Lebar	10 mm	10 mm	10 mm

Sumber: SNI 03-2095-1998: 2

### 2.3.3.2.3 Rembesan dan Penetrasi Air Genteng Keramik

Untuk semua tingkat, genteng harus tahan terhadap perembesan air. Pada pengujian perembesan air, air tidak boleh menetes dari bagian bawah genteng dalam waktu kurang dari 2 jam. Selain itu, dilakukan juga pengujian penetrasi air untuk mengetahui seberapa dalam air meresap ke dalam genteng dengan menggunakan alat ukur penetrasi.

Tabel 2.11 Penyerapan air genteng keramik

Tingkat mutu	Penyerapan air maksimum (%)
I	12
II	15
III	20

Sumber: SNI 03-2095-1998: 3

### 2.3.3.2.4 Struktur Mikro Genteng Keramik

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kondisi struktur mikro dari genteng keramik dengan menggunakan foto *scanning electron*.

## 2.4 Genteng Lumpur Lapindo

Dari hasil penelitian lumpur Lapindo termasuk jenis tanah lempung. Jenis tanah ini mempunyai partikel – partikel mineral tertentu yang menghasilkan sifat – sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air, sehingga dapat dicetak dengan mudah dan dikeringkan dengan cepat. Sifat plastis dan mudah dicetak ini sangat memudahkan dalam proses pembuatan genteng keramik. Hal ini menunjukkan kalau lumpur Lapindo bisa dibuat bahan bangunan seperti bata, *paving block*, dan genteng (Noerwasito, 2006).

Penelitian tentang penambahan lumpur Lapindo terhadap kuat lentur genteng keramik juga menunjukkan hasil yang signifikan. Variasi komposisi prosentase penambahan lumpur Lapindo yang digunakan mulai dari 0%, 30%, 40%, 50%, 60%, dan 70%. Secara eksperimental, data yang diperoleh sudah bisa menggambarkan pengaruh dari penggunaan lumpur Lapindo terhadap kuat lentur genteng keramik. Analisis data juga menunjukkan hasil yang sama tentang pengaruh nyata penggunaan lumpur Lapindo terhadap kuat lentur genteng keramik. Pengaruh dari penggunaan lumpur Lapindo ini adalah meningkatkan kuat lentur genteng keramik terhadap kuat lentur genteng normal. Peningkatan kuat lentur genteng keramik campuran lumpur Lapindo terjadi pada semua komposisi mulai dari 30% sampai 70%. Komposisi



optimum campuran lumpur Lapindo dalam penelitian ini, yang diperoleh dari analisis regresi data adalah 62,74%. Dari data eksperimental diperoleh peningkatan kuat lentur rata-rata komposisi penambahan 30% sebesar 24,3% dari kuat lentur rata-rata genteng normal (Agus Dwiyanto, Edhi Wahyuni, 2007).

Berdasarkan penelitian Agus Dwiyanto (2007), pengujian kuat lentur genteng menggunakan 10 buah benda uji untuk setiap komposisi, yaitu 0%, 50%, 55%, 60%, 65% dan 70%. Dari hasil perhitungan statistika diketahui bahwa ada pengaruh penggunaan lumpur Lapindo terhadap kuat lentur genteng keramik. Besar pengaruh dari penggunaan lumpur Lapindo terhadap kuat lentur genteng terlihat dari hasil pengujian untuk tiap-tiap komposisi. Nilai kuat lentur genteng dengan campuran berbagai komposisi lumpur Lapindo apabila dibandingkan dengan kuat lentur genteng normal adalah:

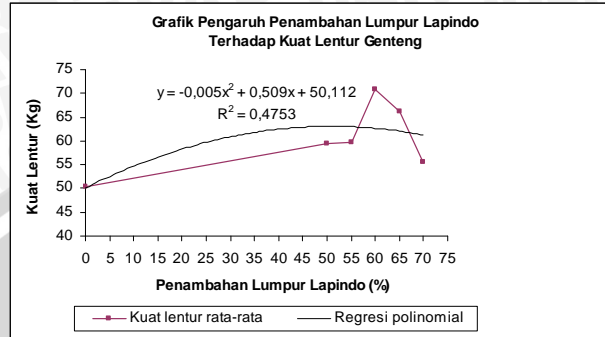
- Genteng normal (0% lumpur Lapindo + 100% tanah liat asli) menghasilkan kuat lentur rata-rata 50,37 kg.
- Genteng komposisi I (50% lumpur Lapindo + 50% tanah liat asli) menghasilkan kuat lentur rata-rata sebesar 59,44 kg. Genteng komposisi I, 18,00% lebih kuat daripada genteng normal.
- Genteng komposisi II (55% lumpur Lapindo + 45% tanah liat asli) menghasilkan kuat lentur rata-rata sebesar 59,74 kg. Genteng komposisi II, 18,61% lebih kuat daripada genteng normal.
- Genteng komposisi III (60% lumpur Lapindo + 40% tanah liat asli) menghasilkan kuat lentur rata-rata sebesar 70,94 kg. Genteng komposisi III, 40,83% lebih kuat daripada genteng normal.
- Genteng komposisi IV (65% lumpur Lapindo + 35% tanah liat asli) menghasilkan kuat lentur rata-rata sebesar 66,10 kg. Genteng komposisi IV, 31,22% lebih kuat daripada genteng normal.
- Genteng komposisi V (70% lumpur Lapindo + 30% tanah liat asli) menghasilkan kuat lentur rata-rata sebesar 55,51 kg. Genteng komposisi V, 10,20% lebih kuat daripada genteng normal.

Apabila dari hasil perbandingan di atas dibuat urutan genteng dengan nilai kuat lentur tertinggi sampai terendah maka:

Urutan 1 = Genteng komposisi III

Urutan 2 = Genteng komposisi IV

- Urutan 3 = Genteng komposisi II
- Urutan 4 = Genteng komposisi I
- Urutan 5 = Genteng komposisi V
- Urutan 6 = Genteng normal



Gambar 2.2 Grafik Regresi Kuat Lentur  
Sumber : Agus Dwitanto, 2007

Dari hasil analisa di atas diketahui bahwa sebenarnya penambahan lumpur Lapindo pada pembuatan genteng keramik akan meningkatkan kuat lentur genteng yang ada. Penambahan maksimum lumpur Lapindo dalam penelitian ini adalah 70% yang mampu meningkatkan kuat lentur sebesar 10,20% dari kuat lentur normal. Tetapi, penambahan lumpur Lapindo yang menghasilkan kuat lentur optimum adalah 60% (komposisi III). Penambahan lumpur Lapindo sebesar 60% ini bisa menghasilkan kuat lentur rata-rata paling tinggi yaitu 40,83% dari kuat lentur normal. Dari hasil foto scanning elektron terlihat ukuran pori lebih kecil, diameter ukuran butir lebih kecil sehingga kesan kenampakan lebih kompak.

Penambahan lumpur Lapindo pada genteng meningkatkan nilai kuat lentur genteng rata-rata dari kuat lentur rata-rata genteng normal. Nilai kuat lentur rata-rata genteng normal adalah 50,37 kg dan nilai kuat lentur rata-rata genteng Lapindo maksimum adalah 70,94 kg. Nilai pengujian akan dibandingkan dengan nilai kuat lentur rata-rata berdasarkan SNI 03-2095-1998.

Tabel 2.12 Perbandingan Kuat Lentur Berdasarkan SNI

Genteng Komposisi	Kuat Lentur (kg)	Kuat Lentur SNI (kg)		
	Genteng Uji	Mutu I	Mutu II	Mutu III
NORMAL	50,37	170	110	80
I	59,44	170	110	80
II	59,74	170	110	80
III	70,94	170	110	80
IV	66,1	170	110	80
V	55,51	170	110	80

Sumber: Agus Dwiyanto, 2007

Dari tabel di atas terlihat semua jenis genteng mulai genteng normal sampai genteng Lapindo tidak ada yang memenuhi syarat SNI 03-2095-1998 pada semua jenis mutu.

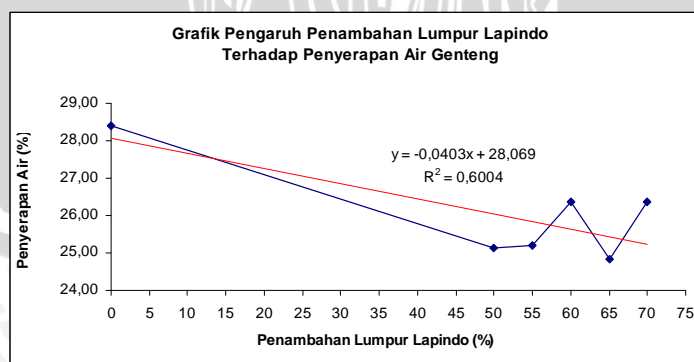
Hasil penelitian lain adalah mengenai pengujian penyerapan air dan rembesan genteng keramik. Berdasarkan penelitian Adi Wahyu Widodo (2008), pengujian penyerapan air genteng menggunakan benda uji sebanyak 10 buah untuk komposisi 0%, 50%, 55%, 60%, 65% dan 70%. Dari hasil perhitungan statistika diketahui bahwa ada pengaruh penggunaan lumpur Lapindo terhadap penyerapan air genteng keramik. Besar pengaruh dari penggunaan lumpur Lapindo terhadap penyerapan air genteng terlihat dari hasil pengujian untuk tiap-tiap komposisi. Nilai penyerapan genteng dengan campuran berbagai komposisi lumpur Lapindo apabila dibandingkan dengan penyerapan air genteng normal adalah cenderung mengalami penurunan.

Berdasarkan hasil pengujian maka penambahan lumpur Lapindo pada genteng mengurangi nilai prosentase penyerapan air dari prosentase penyerapan air genteng normal. Nilai pengujian diperlihatkan pada tabel :

Tabel 2.13 Perbandingan Penyerapan Air Genteng Berdasarkan SNI

Genteng Komposisi	Penyerapan Air (%)	Syarat Penyerapan Air Maksimum (%)		
		Mutu I	Mutu II	Mutu III
NORMAL	28,41	12	15	20
I	25,14	12	15	20
II	25,19	12	15	20
III	26,38	12	15	20
IV	24,84	12	15	20
V	26,36	12	15	20

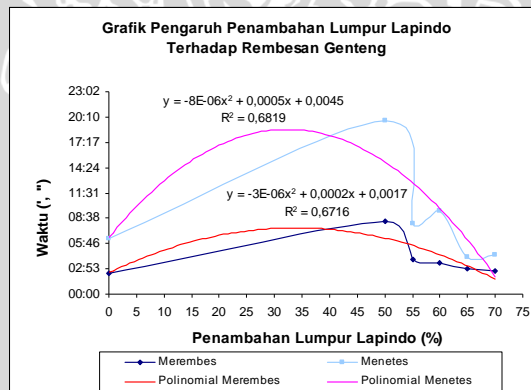
Sumber: Adi Wahyu Widodo, 2008



Gambar 2.3 Grafik Regresi Penyerapan Air  
Sumber : Adi Wahyu Widodo, 2008

Dari tabel di atas terlihat dari nilai prosentase penyerapan air maksimum yang disyaratkan SNI 03-2095-1998 maka nilai penyerapan air semua jenis genteng mulai genteng normal sampai genteng Lapindo tidak memenuhi syarat yang ada.

Pengujian rembesan air genteng menggunakan benda uji sebanyak 5 buah untuk setiap komposisi, yaitu 0%, 50%, 55%, 60%, 65% dan 70% dan genteng normal. Dari hasil perhitungan persamaan regresi diperoleh nilai optimum untuk waktu merembes 36,78 dan 62,5 untuk waktu menetes. Nilai optimum untuk waktu merembes 36,78 menunjukkan prosentase penambahan lumpur Lapindo optimum yang akan menghasilkan waktu yang dibutuhkan air untuk merembes ke dalam genteng paling lama. Nilai optimum waktu rembesan ini yang bisa dipakai, sedangkan nilai optimum waktu menetes tidak digunakan. Hal ini karena genteng yang baik tidak boleh menetes dalam kurun waktu tertentu. Nilai penambahan lumpur Lapindo optimum terhadap rembesan air genteng ini di luar komposisi yang diteliti. Hasil pengujian menunjukkan nilai prosentase lumpur Lapindo optimum yang menghasilkan waktu merembes paling lama adalah komposisi I,  $x = 50\%$ .



Gambar 2.4 Regresi Rembesan genteng  
Sumber : Adi Wahyu Widodo, 2008

Berdasarkan hasil pengujian maka penambahan lumpur Lapindo secara optimum pada genteng akan memperlama waktu perembesan air dari waktu perembesan air genteng normal

## 2.5 Struktur Mikro

Struktur mikro adalah konfigurasi distribusi fasa untuk suatu komposisi tertentu. Elemen kasar dari material dapat disiapkan dan dilihat, dimana elemen halus selalu harus dilihat dengan bantuan mikroskop. Hal ini yang disebut dengan struktur makro, yang secara umum digunakan untuk melihat bagian yang kasar dari struktur, yang

mampu dilihat oleh mata. Batas resolusi dari kemampuan mata manusia diperkirakan seperlima milimeter atau 200  $\mu\text{m}$ . Sedangkan struktur mikro diperoleh dari pembesaran porsi bagian terkecil dari struktur makro. Kapasitas pembesaran menggunakan mikroskop optik elektron sampai dengan ukuran butiran  $10^{-5}$  kali, ini dengan mengaplikasikan teknik transmisi dan penginderaan mikroskop optik elektron, dibuat dengan kemungkinan untuk menetapkan struktur material dan fraksi seukuran micrometer. (Ch. Koesmartadi, 1999).

Manfaat pengamatan struktur mikro diantaranya mempelajari hubungan sifat-sifat bahan dengan struktur dan cacat pada bahan, memperkirakan sifat bahan jika hubungan tersebut sudah diketahui.

Kebanyakan keramik memiliki struktur mikro poligranuler yang sama seperti *alloy* metalik. Sifat-sifat keramik tercatat luas karena karakteristik mikrostrukturnya, termasuk ukuran *grain*, porositas, tipe dan distribusi fase-fase dalam masing-masing *grain*. Sebagaimana halnya dengan *alloy* metalik, struktur mikro keramik dapat diubah secara bermakna melalui teknik-teknik pemrosesan thermal.

Satu teknik tersering fabrikasi material keramik adalah mencampur partikel-partikel halus dari material dengan air dan satu pengikat organik dan menekan mereka ke dalam satu  *mold*  untuk membentuk sesuai yang diinginkan. Selanjutnya dikeringkan melalui pemanasan untuk menguapkan airnya dan membakar habis bahan pengikatnya. Bagian ini kemudian di-*fired* atau *sintered* pada satu temperatur yang lebih tinggi. Proses ini menjadikannya densifikasi sebagaimana partikel-partikel masuk ke dalam kontak dekat yang terarahkan oleh mekanisme-mekanisme seperti difusi, evaporasi, dan kondensasi yang mengurangi energi permukaan total dalam bagian itu. Sebagaimana halnya dengan *casting alloy* metalik, mikro struktur yang terjadi (sehingga juga sifat-sifatnya) dari bagian keramik akan bergantung pada kontrol dari variabel-variabel kunci dalam pemrosesannya. Sebagai contoh, *strength* adalah berbanding terbalik secara proporsional baik dalam hal ukuran *grain* maupun porositas. Ukuran *grain* dapat dikontrol melalui ukuran awal partikel-partikel yang akan digunekan membentuk bagian, di mana semakin kecil ukurannya maka semakin kecil ukuran *grain* yang didapat. Bagimanapun, ukuran *grain* akan meningkat selama pemrosesan berlangsung, di mana porositas akan dikurangi, sehingga *sintering* time adalah sangat penting.

Setiap mineral dapat diidentifikasi oleh komposisi kimia dan bentuk kristal penyusunnya. Beberapa bentuk kristal umumnya memiliki bentuk tertutup dan dapat dilihat pada mikroskop dengan perbesaran standar. Bentuk kristal biasanya dapat dilihat

secara kasat mata. Namun pada bentuk kristal tunggal yang bentuk kombinasi dan variasinya tersusun secara kompleks diperlukan mikroskop dengan perbesaran yang lebih detail. Karakteristik bentuk suatu kristal dapat diidentifikasi dengan ciri dari kristal tersebut. Ciri dari kristal dapat digunakan untuk menganalisis hubungan kristal tersebut dengan kristal lainnya. Permukaan dari kristal diatur oleh atom – atom pembentuk kristal yang memberikan ciri – ciri hubungan pantulan yang didasarkan pada kecepatan pertumbuhan bentuk – bentuk individualnya. Ciri lain dari kristal adalah kemampuannya beradaptasi pada fase pertumbuhan. Kemampuan beradaptasi kristal tidak hanya tergantung pada tekanan maupun temperatur yang terjadi, namun juga pada momen kristalisasi dan kandungan komposisi kimianya. Jadi kristal dengan unsur yang sama dapat tumbuh dengan tahapan – tahapan yang sama walau mengalami perbedaan lingkungan dan tempat.

Bentuk luar kristal ditentukan oleh tingkat pertumbuhannya. Karakteristik pertumbuhan kristal terjadi pada sebagian kecil penyusunnya, sedangkan bagian lain mengalami penyusutan untuk menyokong bagian yang mengalami pertumbuhan.

Pertumbuhan terjadi dalam beberapa tahapan yaitu penambahan struktur pelapisan di atas seluruh permukaan, pembentukan spiral dengan penambahan partikel-partikel baris dan penambahan lapisan dari dalam kisi-kisi secara satu arah.

Jarang ditemukan kristal yang terisolasi di alam. Pada umumnya kristal ditemukan dalam bentuk kelompok atau kumpulan agregat yang berbentuk batu karang. Agregat yang berbentuk tidak beraturan adalah bentuk utama dari mineral. Bentuk agregat cenderung tidak bulat melainkan menyerupai bentuk daun. Bentuk agregat yang sering dijumpai adalah agregat berdaun empat (stibnite).

Sifat fisik mineral didasarkan pada bentuk lengkap suatu unsur mineral. Sehingga sifat fisik unsur mineral dapat menjadi dasar yang signifikan dalam proses pengenalan dan identifikasi mineral. Beberapa diantaranya dapat langsung ditentukan, sedangkan untuk mineral yang lebih kompleks diperlukan analisis baik analisis sederhana maupun analisis kompleks dengan bantuan alat pada laboratorium khusus.

Sifat fisik bagian unsur yang padat dapat dipisah menjadi bagian- bagian kecil atau kelompok. Pertama adalah sifat skalar yang dapat dinyatakan berdasarkan jumlah dan urutannya. Kedua adalah sifat vektor yaitu tingkat pertumbuhan, sifat ini didasarkan pada hubungan langsung antar geometrik dan peningkatan pada jenis struktur kristalnya. Hal ini dikarenakan adanya variasi dari jalur terputus- putus pada bentuk anisotropik kristal.

Sifat optik dari mineral merupakan sifat mineral apabila berinteraksi dengan energi penyinaran, yang dapat dibagi menjadi dua bagian besar yaitu pembiasan tunggal (isotropis) dan pembiasan ganda (birefringent). Hal ini terbentuk dengan penyinaran melalui lintasan dengan kecepatan yang sama pada setiap arah dalam suatu unsur. Sinar akan mengalami pembiasan, yang kemudian besar arahnya dibandingkan dengan percepatan dan besar arah sinar yang menembus udara. Gas, cairan dan unsur- unsur yang tidak berbrntuk pada kristal- kristal padat mempunyai sistem yang simetris pada kondisi isotropis.

Pengukuran kilau permukaan kristal terhadap derajat penyinaran, selain dapat ditentukan dengan rasio kecepatan sinar pada unsur dengan kondisi hampa udara (indeks bias) juga dapat ditentukan dengan kesempurnaan permukaan ketika menyerap warna. Bidang mineralogi atau petrografic sering menggunakan mikroskop untuk mengamati unsur struktur mikro. Mikroskop yang digunakan memiliki kapasitas polarisasi yang dapat menghasilkan polarisasi sinar. Penggunaan polarisator memungkinkan menentukan indeks bias isometrik kristal pada potongan penampang secara alami. Indeks bias dapat ditentukan karena terdapat indikasi pembiasan dimetri kristal dan trimetrik kristal. Dengan warna kristal birefringent, dapat dilakukan pengamatan perubahan warna kristal secara kasat mata (pleochroims). Ketika pengamat melakukan perubahann warna kristal melalui pemotongan sinar dan penempatan plat mikroskop (tanpa menggeser plat) tegal lurus pada polarisator, maka bidang pengamatannya tampak gelap. Hal ini dikarenakan pengamat meniadakan seluruh sinar yang keluar dari polarisator. Hal ini sama juga terjadi apabila salah satu unsur yang tidak berbentuk (kristal isotropis) berada diantara dua bidang polarisator dengan material birefringent berada diantaranya. Proses penggelapan terjadi bukan karena tidak ada sinar melainkan adanya perbedaan indikasi pembiasan dan ketebalan kristal. Kaitannya sangat kompleks dan saling mempengaruhi terhadap gelombang sinar didalam kristal. Pada proses pemanasan mikroskop dengan sudut  $360^{\circ}\text{C}$ , material birefringent secara umum mengambil empat posisi pendinginan yang masing- masing posisi memiliki arah tegak yang sama terhadap arah kilauan maksimum.

Pengamatan pada sinar yang memusat dapat dilakukan dengan menempatkan mineral diantara dua lintasan polarisator. Hasilnya dinyatakan berdasarkan jalur sinar memusat melalui titik pusat kristal yang dapat diamati oleh lensa kondensor. Lensa kondensor terletak dibawah benda uji. Karakteristik pembiasan dapat diamati pada kristal berporos tunggal yang terdiri dari sejumlah cincin terpusat yang mengalami

proses perubahan terang dan gelap secara bergantian. Sehingga dapat diketahui bahwa cincin yang berwarna sama dipisahkan oleh garis gelap yang memotong pada  $90^\circ$  (isogreys). Untuk kristal sumbu ganda, proses pengamatan karakteristik pembiasan akan lebih rumit. Yaitu dengan cara pembauran dan perputaran polisor pada kristal aktif.

Mikroskop elektron adalah sebuah mikroskop yang mampu untuk melakukan pembesaran objek sampai 2 juta kali, yang menggunakan elektro statik dan elektro magnetik untuk mengontrol pencahayaan dan tampilan gambar serta memiliki kemampuan pembesaran objek serta resolusi yang jauh lebih bagus daripada mikroskop cahaya. Mikroskop elektron ini menggunakan jauh lebih banyak energi dan radiasi elektromagnetik yang lebih pendek dibandingkan mikroskop cahaya.

Gambar dibuat berdasarkan deteksi elektron baru (elektron sekunder) atau elektron pantul yang muncul dari permukaan sampel ketika permukaan sampel tersebut dipindai dengan sinar elektron. Elektron sekunder atau elektron pantul yang terdeteksi selanjutnya diperkuat sinyalnya, kemudian besar amplitudonya ditampilkan dalam gradasi gelap-terang pada layar monitor CRT (Cathode Ray Tube). Di layar CRT inilah gambar struktur obyek yang sudah diperbesar bisa dilihat. Pada proses operasinya, memerlukan sampel yang ditipiskan, sehingga bisa digunakan untuk melihat obyek dari sudut pandang 3 dimensi. Teknik yang digunakan dalam pembuatan preparat ada berbagai macam tergantung pada spesimen dan penelitian yang dibutuhkan, antara lain :

- *Kriofiksasi* yaitu suatu metode persiapan dengan menggunakan teknik pembekuan spesimen dengan cepat yang menggunakan nitrogen cair ataupun helium cair, dimana air yang ada akan membentuk kristal-kristal yang menyerupai kaca. Suatu bidang ilmu yang disebut mikroskopi cryo-elektron (*cryo-electron microscopy*) telah dikembangkan berdasarkan tehnik ini. Dengan pengembangan dari Mikroskopi cryo-elektron dari potongan menyerupai kaca (*vitreous*) atau disebut *cryo-electron microscopy of vitreous sections (CEMOVIS)*, maka sekarang telah dimungkinkan untuk melakukan penelitian secara virtual terhadap specimen biologi dalam keadaan aslinya.
- *Fiksasi* - yaitu suatu metode persiapan untuk menyiapkan suatu sampel agar tampak realistik (seperti kenyataannya ) dengan menggunakan glutaraldehid dan osmium tetroksida.
- *Dehidrasi* - yaitu suatu metode persiapan dengan cara menggantikan air dengan bahan pelarut organik seperti misalnya ethanol atau aceton.



- Penanaman (*Embedding*) - yaitu suatu metode persiapan dengan cara menginfiltrasi jaringan dengan resin seperti misalnya araldit atau epoksi untuk pemisahan bagian.
- Pembelahan (*Sectioning*)- yaitu suatu metode persiapan untuk mendapatkan potongan tipis dari spesimen sehingga menjadikannya semi transparan terhadap elektron. Pemotongan ini bisa dilakukan dengan ultramicrotome dengan menggunakan pisau berlian untuk menghasilkan potongan yang tipis sekali. Pisau kaca juga biasa digunakan oleh karena harganya lebih murah.
- Pewarnaan (*Staining*) - yaitu suatu metode persiapan dengan menggunakan metal berat seperti timah, uranium, atau tungsten untuk menguraikan elektron gambar sehingga menghasilkan kontras antara struktur yang berlainan di mana khususnya materi biologikal banyak yang warnanya nyaris transparan terhadap elektron (objek fase lemah).
- Pembekuan fraktur (*Freeze-fracture*) - yaitu suatu metode persiapan yang biasanya digunakan untuk menguji membran lipid. Jaringan atau sel segar didinginkan dengan cepat (*cryofixed*) kemudian dipatah-patahkan atau dengan menggunakan *microtome* sewaktu masih berada dalam keadaan suhu nitrogen ( hingga mencapai -100% Celsius)

Materi yang akan dijadikan objek pemantauan dengan menggunakan mikroskop elektron ini harus diproses sedemikian rupa sehingga menghasilkan suatu sampel yang memenuhi syarat untuk dapat digunakan sebagai preparat pada mikroskop elektron. (wikipedia.com).

### 2.5.1 Fasa Keramik

Dikalangan orang awam, keramik biasanya dikaitkan dengan barang- barang kerajinan. Untuk ahli teknik, keramik mencakup berbagai jenis bahan seperti gelas, bata, genteng, enamel porselen, batu tahan api suhu tinggi dan lain sebagainya.

Keramik memiliki karakteristik yang memungkinkan dapat digunakan dalam berbagai aplikasi yang memiliki kapasitas panas yang baik, konduktivitas panas rendah, tahan korosi, keras, kuat namun agak rapuh. Disamping karakteristik tersebut, keramik juga memiliki sifat kelistrikan yang meliputi insulator, semikonduktor, konduktor bahkan superkonduktor, sifatnya dapat magnetik dan non magnetik.

Bahan keramik mempunyai karakteristik yaitu merupakan senyawa antara logam dan bukan logam. Senyawa keramik tersebut memiliki ikatan ionik dan ikatan kovalen sehingga sifatnya berbeda dengan logam dan polimer. Senyawa MgO merupakan contoh bahan keramik sederhana dengan perbandingan 1 : 1 antara atom logam dan bukan logam. Banyak digunakan sebagai bahan tahan api, karena tahan terhadap suhu yang sangat tinggi (1500°C- 2500°C) tanpa penguraian atau pencairan. Apabila senyawa Mg berdiri sendiri, maka senyawa Mg (logam) dengan senyawa MgO (keramik) jika ditinjau dari titik leburnya, maka senyawa MgO memiliki titik lebur yang jauh lebih tinggi daripada logam Mg. Hal ini membuktikan salah satu kelebihan keramik dibandingkan dengan logam adalah ketahanannya pada temperature yang tinggi.

Kebanyakan fasa keramik mempunyai struktur kristalin. Struktur pada keramik tidak hanya memiliki elektron bebas, hal tersebut berlainan dengan logam . Elektron-elektron pada keramik dibagi dengan atom-atom yang berdekatan dalam ikatan kovalen. Elektron tersebut berpindah dari atom satu ke atom yang lainnya membentuk ikatan ion sehingga atom terionisir dan bermuatan. Ikatan ionik menyebabkan bahan keramik mempunyai stabilitas yang relatif tinggi. Sebagai kelompok bahan, keramik mempunyai titik cair yang tinggi, dibandingkan dengan logam dan bahan organik. Biasanya lebih keras dan tahan terhadap perubahan kimia. Keramik padat biasanya merupakan isolator sebagaimana pula halnya dengan bahan organik.

Tidak banyak elektron bebas pada keramik, hal tersebut menyebabkan kebanyakan keramik tembus cahaya ( bila tipis) dan penghantar panas yang buruk. Perbedaan lain yang terjadi antara keramik dan logam, dimana keramik mempunyai titik cair yang lebih tinggi dan tahan terhadap perubahan-perubahan kimia di bandingkan dengan logam.

Karakteristik kristalin terdapat pada kebanyakan bahan keramik. Mika misalnya mempunyai bidang lekah sehingga memudahkan pembelahan. Deformasi plastik, serupa dengan slip pada logam dialami oleh beberapa kristal yang sederhana seperti MgO. Untuk kristal dapat terbentuk selama pertumbuhan dan sebagai contoh dapat diambil bentuk kubik dari garam dapur biasa. Dalam asbes kristal mempunyai kecendrungan kearah linear; dalam mika dan lempung, kristal-kristal membentuk lembaran dua dimensi.bahan keramik yang lebih kuat dan stabil biasanya memiliki struktur jaringan tiga dimensi dengan ikatan yang sama kuatnya dalam ketiga arah.

Dibandingkan dengan logam, struktur kristal bahan keramik lebih rumit. Karena itu ditambah dengan kekuatan ikatan atomnya, reaksi keramik lebih lambat. Gelas yang

didinginkan dengan laju pendinginan normal tidak mempunyai waktu untuk mengatur diri membentuk struktur kristal yang rumit, oleh karena itu pada suhu ruang gelas tetap berbentuk seperti cairan dengan pendinginan lanjut untuk waktu cukup lama.

Struktur dan sifat-sifat senyawa seperti karbida dan nitrida tahan api mirip dengan keramik dan bahan logam. Termasuk didalamnya senyawa seperti TiC, SiC, BN dan ZrN, yang mengandung elemen logam tanggung dan strukturnya terdiri dari ikatan metalik dan kovalen. Contoh lainnya adalah spinel feromagnetik ( $XFeO$ ). Karena bahan ini tidak memiliki elektron bebas, mereka bukan penghantar listrik yang baik. (Lawrence H. Van Vlack, 1992)

### 2.5.2 Perubahan Struktur Pada Perlakuan Panas

Proses laku-panas adalah kombinasi dari operasi pemanasan dan pendinginan dengan kecepatan tertentu yang dilakukan terhadap logam atau paduan dalam keadaan padat, sebagai suatu upaya untuk memperoleh sifat-sifat tertentu. Proses laku-panas pada dasarnya terdiri dari beberapa tahapan, dimulai dengan pemanasan sampai ke temperatur tertentu, lalu diikuti dengan penahanan selama beberapa saat, baru kemudian dilakukan pendinginan dengan kecepatan tertentu.

Kebanyakan produk keramik dibentuk mengikuti proses pembentukan viskos atau sinter. Proses pembentukan bahan keramik meliputi pencairan dan pembentukan viskos. Proses sinter mulai dengan partikel halus yang kemudian beraglomerasi menjadi bentuk yang dikehendaki, disusul dengan pembakaran untuk mengikat partikel. Sinter merupakan proses pengikatan secara termal sedangkan pembentukan viskos adalah pembentukan termoplastik dari produk polimer.

#### a) Pembentukan viskos

Pada saat dipanaskan, keramik yang merupakan termoplastik dapat dibentuk, sebelum pembentukan terakhir, oksida komponen harus dicairkan dengan sempurna agar terbentuk komposisi yang homogen dan gas-gas yang terbentuk atau ada dapat dihilangkan. Gelembung gas yang tertinggal dalam gas merupakan cacat. Langkah akhir dari pembentukan adalah dengan penekanan ( untuk blok kaca bangunan ) atau penarikan ke bawah ( untuk kaca mobil ), dengan peniupan untuk bola lampu, dan sebagainya

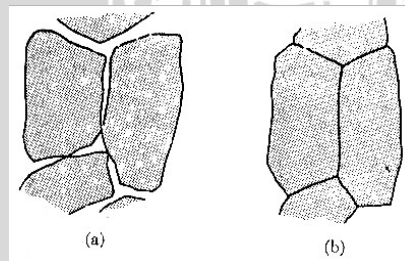
#### b) Proses Sinter

Proses sinter biasanya dilakukan untuk bahan keramik bukan kaca, terdiri atas partikel halus yang dibakar menjadi produk. Pembentukan lempung halus dilakukan

selagi masih basah karena dalam keadaan basah bersifat plastis . Setelah dikeringkan kemudian dibakar sehingga partikel lempung disinter menjadi satu membentuk ikatan yang kuat dan keras . Dapat juga bahan keramik dibentuk secara cetak slip dengan membuat suspensi atau slip yang dapat dituangkan ke dalam cetakan yang berpori untuk menguapkan air dan slip yang berdekatan dengan dinding cetakan ,setelah dikeringkan lalu dibakar . Produk keramik teknik biasanya dibentuk dengan cetak tekan , misalnya untuk pembuatan busi dengan cetak tekan yang dibentuk secara isostatik . Cara cetak tekan lebih menguntungkan karena tekanan yang tinggi dan merata akan menyebabkan bahan lebih kering , sehingga penyusutannya kecil dan mudah dikendalikan . Untuk penyinterannya diperlukan suhu yang tinggi . Bahan keramik yang terpenting adalah porselen dan steatit .

Kebanyakan bahan keramik terbuat dari partikel halus yang disinter (dibakar) menjadi produk. Suatu prosedur yang telah dikenal sejak dahulu yaitu membentuk lempung halus yang basah dan bersifat hidroplastik. Produk seperti bata dan genteng dibentuk selagi basah, dikeringkan kemudian dibakar sehingga partikel lempung disinter menjadi satu membentuk ikatan yang kuat dan keras.

Sinter memerlukan pemanasan agar partikel halus beraglomerasi menjadi bahan padat. Sinter tanpa cairan memerlukan difusi dalam bahan padat itu sendiri sehingga diperlukan suhu yang tinggi (dibawah titik cair). Prinsip- prinsip yang melandasi proses sinter dijelaskan pada Gambar 2.5.



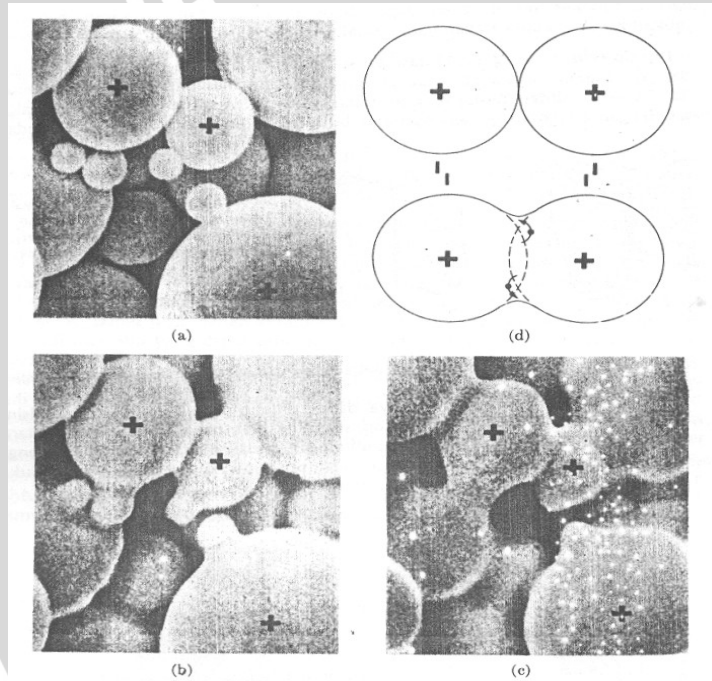
Gambar 2. 5 Sinter Padat

Keterangan gambar :

1. Sebelum sinter partikel mempunyai permukaan sendiri- sendiri
2. Setelah sinter butiran –butiran hanya mempunyai satu permukaan saja

Gaya pendorong proses sinter adalah pengurangan luas permukaan yang berarti pengurangan energi permukaan. Jadi reaksi ini lebih mudah terjadi pada suhu tinggi dimana atom- atom dapat bergerak.

Mekanisme sinter yang sebenarnya dapat dilihat pada Gambar 2.6 . Disini proses sinter diikuti dengan mikroskop scanning elektron. Titik kontak antara partikel tumbuh oleh karena difusi atom- atom. Difusi secara keseluruhan menghasilkan penyusutan yang diiringi porositas.(Lawrence H.Van Vlack, 1992)

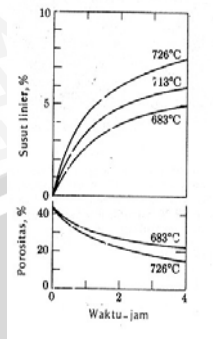


Gambar 2. 6 Sinter Serbuk Nikel

Titik singgung (a) menjadi bidang singgung (b) dan (c) sewaktu pemanasan sampai 1100°C, (d) atom- atom berdifusi dari titik singgung sehingga memperluas daerah kontak atau kekosongan berdifusi dalam arah berlawanan. Partikel serbuk saling mendekati dan luas permukaan partikel berkurang (R.M.Fulrath, Inorganic Materials research Division, Lawrence Radiation Laboratory, University of California, Berkeley).

Pada Gambar 2.6 menunjukkan kemajuan proses sinter Natrium Fluorida. Serbuk NaF

(mesk- 330) kehilangan porositas sewaktu penyusutan sinter (Allison& Murray,Acta Metallurgia).



Gambar 2. 7 Penyusutan Sinter (NaF)

#### 2.5.2.1 Proses Perpindahan Panas

Semua keramik boleh dikatakan dibuat dengan melalui pemanasan pada temperatur tinggi dan sejumlah keramik dimanfaatkan kerana sifat termalnya yang unggul, seperti sifat tahan panas, hantaran panas, ketahanan terhadap kejutan termal dan sebagainya. Perpindahan panas yang terjadi pada suatu zat disebabkan oleh adanya perbedaan suhu. Perpindahannya terjadi dari bagian suhu yang tinggi ke bagian suhu yang lebih rendah melalui penghantar zat tersebut. Zat penghantar itu dapat berupa cair, padat, gas dan udara. Secara mendasar, hal-hal yang mempengaruhi proses perpindahan panas antara lain titik cair, kapasitas kalor, pemuaian termal, hantaran termal dan tekanan kejutan termal. (Surdia Tata, 2000)

#### 2.5.2.2 Ketahanan dan Kekuatan Keramik Akibat Temperatur Tinggi

Sifat mekanik tidak hanya tergantung pada komposisi kimia suatu paduan, tetapi juga tergantung pada struktur mikronya. Suatu paduan dengan komposisi kimia yang sama dapat memiliki struktur mikro yang berbeda, dan sifat mekaniknya akan berbeda. Struktur mikro tergantung pada proses pengerjaan yang dialami, terutama proses laku-panas yang diterima selama proses pengerjaan.

Keramik biasanya material yang kuat, dan keras dan juga tahan korosi. Sifat-sifat ini bersama dengan kerapatan yang rendah dan juga titik lelehnya yang tinggi, membuat keramik merupakan material struktural yang menarik

Aplikasi struktural keramik mengalami kemajuan, selain untuk bahan bangunan bahan keramik digunakan untuk komponen mesin mobil dan struktur pesawat. Misalnya, TiC mempunyai kekerasan 4 kali kekerasan baja. Jadi, kawat baja dalam

struktur pesawat dapat diganti dengan kawat TiC yang mampu menahan beban yang sama hanya dengan diameter separuhnya dan 31 persen berat. Semen dan tanah liat adalah contoh yang lain, keduanya dapat dibentuk ketika basah namun ketika kering akan menghasilkan objek yang lebih keras dan lebih kuat. Material yang sangat kuat seperti alumina ( $Al_2O_3$ ) dan silikon karbida (SiC) digunakan sebagai abrasif untuk grinding dan polishing.

Keterbatasan utama keramik adalah kerapuhannya, yakni kecenderungan untuk patah tiba-tiba dengan deformasi plastik yang sedikit. Ini merupakan masalah khusus bila bahan ini digunakan untuk aplikasi struktural. Dalam logam, elektron-elektron yang terdelokalisasi memungkinkan atom-atomnya tanpa semua ikatan dalam strukturnya putus. Hal inilah yang memungkinkan logam terdeformasi dibawah pengaruh tekanan. Tapi dalam keramik, karena kombinasi ikatan ion dan kovalen maka partikel-partikelnya tidak mudah bergeser. Keramik akan mudah putus bila gaya yang diterapkan terlalu besar.

Faktor rapuh terjadi bila pembentukan dan propagasi keretakan yang cepat. Dalam padatan kristalin, retakan tumbuh melalui butiran (*trans granular*) dan sepanjang bidang keretakan (*cleavage*) dalam kristalnya. Permukaan tempat putus yang dihasilkan mungkin memiliki tekstur yang penuh butiran atau kasar. Material yang amorf tidak memiliki butiran dan bidang kristal yang teratur, sehingga permukaan putus kemungkinan besar halus penampakannya.

Kekuatan tekan penting untuk keramik yang digunakan untuk struktur seperti bangunan. Kekuatan tekan keramik biasanya lebih besar dari kekuatan tariknya. Untuk memperbaiki sifat ini biasanya keramik diprtekan dalam keadaan tertekan. (Surdia Tata, 2000).

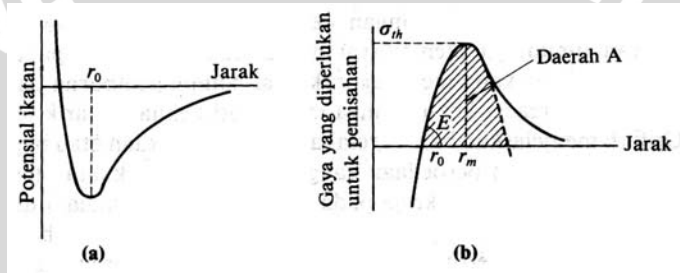
#### 2.5.2.2.1 Kekuatan dan Patahan Teoritis

Menurut Tata Surdia dan Saito (2000) dalam tingkatan atom, patahan suatu zat padat merupakan pemisahan ikatan masing-masing dari atom dan ion untuk membentuk dua permukaan baru. Kekuatan teoritis dapat diperoleh sebagai berikut. Seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.8 (b), gaya yang diperlukan untuk memperbesar jarak antar atom adalah kecil disekitar jarak keseimbangan antar atom ( $r_0$ ) dalam keadaan biasa, tetapi meningkat sangat kalau jarak diperbesar dan mencapai harga maksimum  $\sigma_{th}$  pada jarak  $r_m$ . Kalau tegangan lebih besar dari  $\sigma_{th}$ , ikatan antar atom

terputus sehingga terjadi patahan. Tegangan  $\sigma_{th}$  ini disebut kekuatan teoritis, yang dapat dihitung dengan mengasumsikan bahwa kurva yang ditunjukkan dalam Gambar 2.8 (b) merupakan kurva sinus dan energi luar yang diberikan (luas A) sama dengan jumlah energy permukaan ( $\gamma$ ) dari permukaan yang baru terbentuk pada retakan.

$$\sigma_{th} = (\gamma E / r_0)^{1/2} \tag{2.1}$$

Dari persamaan diatas, menunjukkan bahwa kekuatan teoritis meningkat kalau jarak ikatan antar atom berkurang dan kalau energy permukaan serta modulus Youngnya meningkat. Lereng pada  $\gamma_0$  dalam Gambar 2.8 (b) merupakan modulus Young yang memberikan hubungan antara tegangan dan regangan dari bahan. Tabel 2.12 menunjukkan kekuatan tarik teoritis bahan padat dihitung dengan mempergunakan persamaan (2.1).



Gambar 2.8 (a) Potensial ikatan antar atom dan (b) Gaya yang diperlukan untuk pemisahan

Sumber : Tata Surdia, Pengetahuan Bahan Teknik Cetakan 5 hal.303

Tabel 2.14 Kekuatan tarik teoritis dari bahan padat

Bahan	Arah	E ( $\times 10^{11}$ dyne/cm <sup>2</sup> )	Energi permukaan (erg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_m$ ( $\times 10^{11}$ dyne/cm <sup>2</sup> )
Perak	111	12,1	1130	2,4
Emas	111	11,0	1350	2,7
tembaga	100	6,7	1650	2,5
Tungsten	100	39,0	3000	8,6
Besi- $\alpha$	100	13,2	2000	3,0
	111	26,0	2000	4,6
Seng	0001	3,5	100	0,38
Grafit	0001	1,0	70	0,14
Silikon	111	18,8	1200	3,2
Intan	111	121	5400	20,5
				11,1*
Gelas kuarsa		7,3	560	1,60
NaCl	100	4,4	115	0,43
				0,27*
MgO	100	24,5	1200	3,7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0001	46,0	1000	4,6

\*Hasil perhitungan yang lebih teliti

Sumber : Tata Surdia, Pengetahuan Bahan Teknik Cetakan 5 hal.304



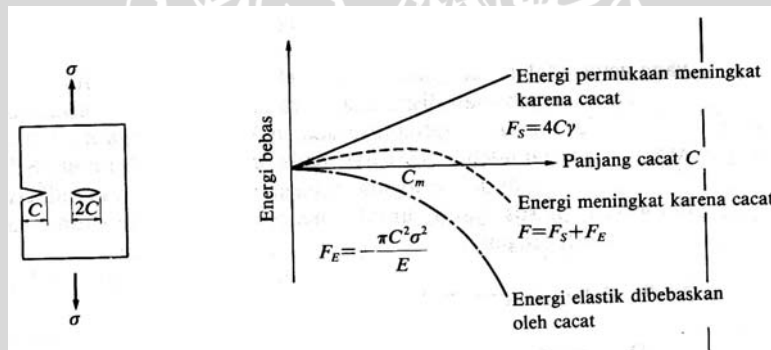
Tabel 2.14 menunjukkan kekuatan tarik yang diukur dari beberapa bahan keramik. Jelas dari perbandingan dengan Tabel 2.15, bahwa kekuatan tarik hasil pengukuran umumnya mempunyai harga lebih kecil daripada kekuatan teoritis.

Tabel 2.15 Harga pendekatan kekuatan tarik dan modulus Young dari beberapa bahan keramik pada temperatur kamar

Bahan	Kekuatan tarik (MN/m <sup>2</sup> )	Modulus Young (GN/m <sup>2</sup> )
Alumina kristal tunggal	2000	460
Alumina disinter ( $\square_p=5\%$ )	220-1070	380
Beryllia disinter ( $\square_p=5\%$ )	140-280	320
B <sub>4</sub> C dipres panas ( $\square_p=5\%$ )	1070	300
Magnena disinter ( $\square_p=5\%$ )	110	220
Spinel disinter ( $\square_p=5\%$ )	90	250
Karbida silicon ( $\square_p=5\%$ )	540	490
Gelas silica	110	75
Gelas pyrex	70	72

$\square_p$  : void

Sumber : Tata Surdia, Pengetahuan Bahan Teknik Cetakan 5 hal.304



Gambar 2.9 (a) Retakan skematik di dalam dan di permukaan dan (b) Perubahan energi bebas terhadap panjang retakan

Sumber : Tata Surdia, Pengetahuan Bahan Teknik Cetakan 5 hal.305

Retakan pada permukaan atau bagian dalam dari benda padat memberikan perbedaan yang besar antara kekuatan terukur dan kekuatan teoritis. Kalau tegangan bekerja pada bahan, bahan menjalani deformasi elastik dan daya tersimpan sebagai energi elastik. Kalau ada cacat didalam bahan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.9 (a), pertumbuhan cacat membentuk permukaan baru dan sebagian energi elastik yang tersimpan dibebaskan Gambar 2.9 (b).

Menurut Tata Surdia dan Saito (2000), apakah retakan tumbuh atau tidak, ditentukan oleh hubungan antara jumlah energi yang dibebaskan ( $F_E$ ) dan energi permukaan yang baru terbentuk ( $F_S$ ),  $F = F_E + F_S$ , dan oleh panjang retakan ( $C$ ). Pertumbuhan retakan akan terjadi pada syarat  $\partial F / \partial C \leq 0$  dan

$$\partial F / \partial C = \partial (F_E + F_S) / \partial C = (-2\pi C \sigma^2 / E) + 4\gamma \leq 0 \quad (2.2)$$

Kalau terjadi ketidaksamaan dalam persamaan (2.2) maka retakan akan timbul menuju terjadinya patah. Kalau  $C$  pada  $\partial F / \partial C = 0$  adalah  $C_m$  dan panjang retakan mula adalah  $C_0$ , maka retakan tidak tumbuh apabila  $C_0 < C_m$ , dan keadaan kritis terjadi pada  $C_0 = C_m$ .

Tegangan patah minimum ( $\sigma_f$ ) yang diperlukan, pada  $\partial F / \partial C = 0$ , didapat dari persamaan (2.2).

$$\sigma_f = (2\gamma E / \pi C)^{1/2} \quad (2.3)$$

Kalau  $r_0$  dalam persamaan (2.1) adalah  $2A$  dan  $C = 1 \mu\text{m}$ , maka  $\sigma_f / \sigma_{th}$  kira-kira  $1/100$ , jadi jelas bahwa kekuatan bahan sangat berkurang disebabkan adanya retakan. Dalam uraian diatas, tegangan diumpamakan merata disetiap bagian bahan. Tetapi sebenarnya terjadi pemusatan tegangan pada ujung retakan yang besarnya ditentukan oleh panjang retakan dan bentuk lengkungan ujung retakan. Pemusatan tegangan ini menurunkan perbandingan  $\sigma_f / \sigma_{th}$  lebih jauh lagi.

Dari alasan diatas, kekuatan patah bahan yang mempunyai retakan lebih kecil daripada kekuatan idealnya. Kalau suatu retak berada dalam bahan, tegangan dapat dinyatakan dengan mengubah persamaan (2.3) sebagai berikut :

$$\sigma = K_1 / \sqrt{\pi C} \quad (2.4)$$

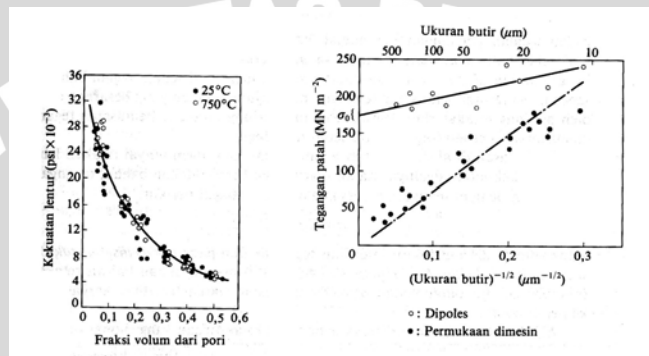
Konstanta  $K_1$  disebut faktor intensitas tegangan dan pada  $\sigma = \sigma_f$  disebut faktor intensitas tegangan kritis  $K_{1C}$ . Harha  $K_{1C} = (2\gamma E)^{1/2}$  menunjukkan bahwa retakan akan tumbuh menuju patah kalau  $\sigma(\pi C)^{1/2}$  mencapai harga tersebut, harga itu disebut keuletan patah.

$K_{1C}$  diperoleh dengan mengukur panjang retak tiruan yang dibuat dan tegangan patahnya. Biasanya harga ini berbeda dengan harga teoritis. Untuk keperluan perencanaan sangat penting mengetahui harga  $K_{1C}$  dari suatu bahan. Harga  $K_{1C}$  dari keramik yang getas adalah kecil, untuk gelas lebih kecil dari 1, untuk alumina 5 dan untuk zirkonia yang sebagian distabilkan kira-kira 7-10 yang merupakan salah satu harga terbesar dari keramik, satuannya adalah  $\text{MN}_m^{-3/2}$ . Harga  $K_{1C}$  untuk baja kira-kira  $70 \text{ MN}_m^{-3/2}$  yang jauh lebih besar dari pada keramik. Sebab dari perbedaan ini ialah bahwa didalam logam, sebagian dari energi yang diberikan dipakai untuk deformasi

plastis yaitu untuk menggerakkan atom-atom yang membebaskan pemusatan tegangan. (Sumber : Tata Surdia. Pengetahuan Bahan Teknik. 2000)

### 2.5.2.2.2 Kekuatan dan Struktur

Dari uraian diatas telah jelas mengapa kekuatan keramik sensitif terhadap struktur. Faktor utama yang mempengaruhi struktur keramik dan juga kekuatannya ialah kehalusan permukaan, volume dan bentuk dari pori, ukuran dan bentuk butir, jenis dan bentuk fasa batas butir dan cacat yang disebabkan oleh tegangan dalam seperti halnya tegangan termal.



Gambar 2.10 (a) Keoporusan dan kekuatan lentur alumina dan (b) Pengaruh ukuran butir terhadap kekuatan MgO pada 20°C.

Sumber : Tata Surdia, Pengetahuan Bahan Teknik Cetakan 5 hal.306

Gambar 2.10 (a) adalah satu contoh yang menunjukkan hubungan antara keporusan dan kekuatan bahan yang disinter. Pada umumnya kalau kekuatan pada keporusan nol adalah  $\sigma_0$ , kekuatan pada keporusan  $V_p$  dapat dinyatakan,

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-bV_p) \tag{2.5}$$

dimana  $\sigma_0$  adalah kekuatan pada keporusan nol dan  $b$  adalah konstanta. Harga  $b$  berkisar antara 3 dan 11, umumnya kira-kira 5.

Gambar 2.10 (b) menunjukkan hubungan antara diameter butir rata-rata dan kekuatan lentur. Hubungan yang paling sering digunakan antara diameter butir ( $d$ ) dan kekuatan ( $\sigma$ ) adalah

$$\sigma = \sigma_\infty + kd^{-1/2} \tag{2.6}$$

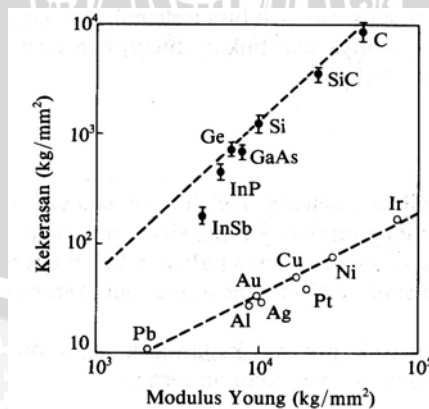
dimana  $\sigma_\infty$  dan  $k$  adalah konstanta. Gambar menunjukkan kesesuaian dengan persamaan tersebut, bahwa dengan mengecilnya ukuran butir kekuatan meningkat. Akibat ini menunjukkan bahwa kalau butir pembentuk keramik mempunyai diameter kecil, maka ukuran retakan yang terdapat didalamnya juga kecil. Kalau retak terjadi pada butir

tertentu, ia akan berhenti pada batas butir dan tegangan disebarkan melalui batas butir tersebut. Dari penjelasan tersebut maka batas butir keramik memberikan pengaruh yang serius terhadap kekuatannya. Sebagai contoh, kalau fasa yang bersifat seperti gelas terbentuk pada batas butir maka pada umumnya kekuatan keramik menurun. Retakan mudah bergerak melalui gelas dan penghambat perambatan retakan oleh batas butir tidak dapat diharapkan. (Sumber : Surdia Tata. Pengetahuan Bahan Teknik. 2000)

### 2.5.2.2.3 Kekerasan

Kekerasan yang dimiliki intan (kekerasan Mohs 10) dan korondum (kekerasan Mohr 9) adalah salah satu ciri khas bahan keramik dengan kekerasannya yang tinggi. Kekerasan adalah ukuran tahanan bahan terhadap deformasi plastis pada permukaan bahan. Beberapa cara pengukuran kekerasan telah ditetapkan dengan cara deformasi yang berbeda. Salah satu cara ialah kekerasan Mohs, sedangkan cara pengukuran kekerasan Vickers, Brinell dan Knoop dipakai dalam industri.

Penekanan pada bahan getas seperti keramik dalam banyak hal mengakibatkan retakan lokal mengikuti deformasi elastik. Sukar sekali menghubungkan secara teoritis antara kekerasan yang memiliki proses rumit tersebut dengan sifat-sifat fisiknya. Tetapi secara empiris diketahui bahwa ada hubungan antara tegangan patah dengan kekerasan Vickers ( $H$ ),  $\sigma_f = H/n$ , dimana  $n$  berkisar sekitar 3 untuk logam dan 30-50 untuk keramik. Selanjutnya seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.11 terdapat hubungan tertentu antara kekerasan dan modulus Young yang secara eksperimen diketahui dipengaruhi oleh jenis dan ikatan kristal. (Sumber : Surdia Tata. Pengetahuan Bahan Teknik. 2000)



Gambar 2.11 Hubungan antara kekerasan dan modulus Young bagi logam *fcc* dan kristal kovalen (struktur intan)

Sumber : Tata Surdia, Pengetahuan Bahan Teknik Cetakan 5 hal.307

2.5.2.2.4 Kekuatan Pada Temperatur Tinggi

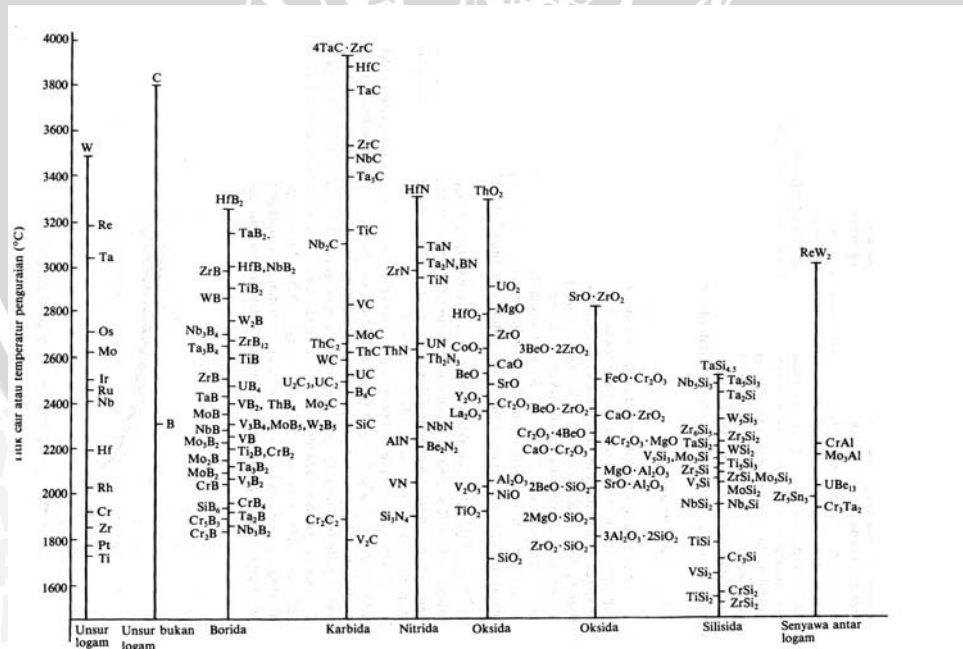
Walaupun beberapa permasalahan dalam pembuatan dan kegetasan masih belum dapat dipecahkan, keramik memiliki ketahanan termal dan kestabilan kimia dan mempunyai kemungkinan penggunaan pada temperatur tinggi sebagai bahan teknik yang baru, yang tidak dapat dilaksanakan oleh bahan logam.

2.5.2.3 Perubahan Sifat Termal Akibat Temperatur Tinggi

Pemanasan pada temperatur tinggi akan mempengaruhi sifat- sifat dasar yang meliputi titik cair, kapasitas kalor, pemuaiian termal, hantaran termal, tegangan termal dan tekanan kejut termal.

2.5.2.3.1 Titik cair

Titik cair dari kristal adalah temperatur dimana energi bebas Gibbs dari fasa padat dan fasa cair ( $G=H-TS$ ) adalah sama. Sejalan dengan itu titik cair tidak dapat ditentukan dari analisa sederhana pada fasa padat saja. Tetapi pendekatan berikut ini yang menjelaskan mengenai titikk cair secara intuisi dan mudah dimengerti mendekati kebenaran.



Gambar 2.12 Perbandingan titik cair senyawa

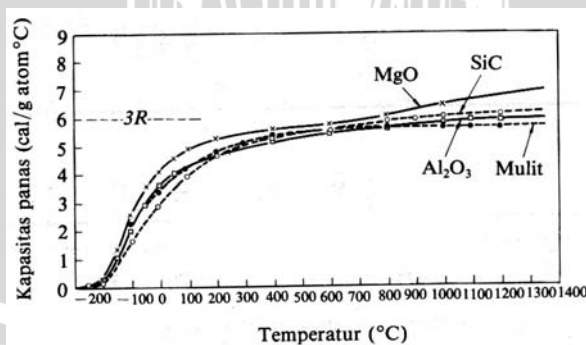
Sumber : Tata Surdia, Pengetahuan Bahan Teknik Cetakan 5 hal.309

Menurut Gambar 2.12 yang menunjukkan energi potensial antar atom, jarak antar atom pada temperatur  $0^{\circ}\text{C}$  adalah  $d_0$ . Dengan meningkatnya temperatur, amplitudo getaran termal meningkat pula dan titik pusat nyata dari getaran termal bergerak menuju  $d$  yang lebih besar, akibat kurva potensial yang asimetri. Ini berarti jika jarak antar atom bertambah, akan menyebabkan pemuaian termal. Selanjutnya, temperatur yang getaran termalnya menjadi terlalu bagi suatu atom untuk tetap tinggal dalam tempatnya dalam kristal, dinamakan titik cair. Sejalan dengan itu ada hubungan erat antara kekuatan atau daya ikat antar atom dan titik cair kristal. (Sumber : Surdia Tata. Pengetahuan Bahan Teknik.2000)

#### 2.5.2.3.2 Kapasitas panas

Energi yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur  $1^{\circ}\text{K}$  dari bahan disebut kapasitas panas. Harga tersebut pada tekanan tetap disebut kapasitas panas tekanan tetap ( $C_p$ ) dan pada kondisi volume tetap disebut kapasitas panas volum tetap ( $C_v$ ). Satuannya  $\text{kal.mol}^{-1}.\text{der}^{-1}$ . Kapasitas panas per gram ( $C_p, C_v$ ) disebut panas jenis. Biasanya  $C_p$  dapat diukur sedangkan  $C_v$  dipergunakan dalam studi teoritis. Dalam kristal ada hubungan,  $C_p - C_v = \beta^2 KVT$ , dimana  $\beta$  adalah koefisien pemuaian volum,  $K$  adalah modulus elastik volum dan  $V$  volum molar. Perbedaan panas jenis itu kecil, biasanya dapat diabaikan, tetapi pada temperatur tinggi perbedaan tersebut dapat berarti.

Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.13 untuk beberapa bahan keramik, kapasitas kristal pada  $0^{\circ}\text{K}$  adalah nol, kemudian meningkat menurut temperatur dan menjadi hampir konstan pada temperatur tinggi.



Gambar 2.13 Kapasitas panas beberapa bahan keramik pada temperatur yang berbeda

Sumber : Tata Surdia, Pengetahuan Bahan Teknik Cetakan 5 hal.310

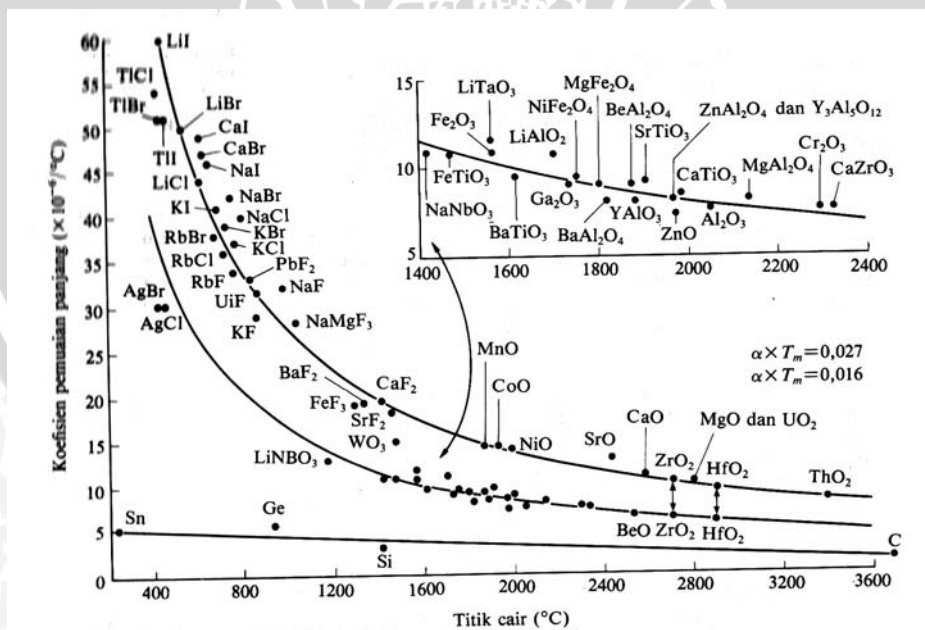
Ada dua mekanisme dari penyerapan panas oleh kristal, yang pertama adalah oleh getaran atom yang kedua oleh pergerakan elektron. Umumnya yang pertama relatif

sangat besar. Dengan mengumpamakan semua atom dalam kristal bergetar secara harmonis pada frekuensi tunggal yang sama, secara teoritis Einstein menurunkan harga  $C_v$  sama dengan nol pada temperatur nol derajat Kelvin dan mendekati harga  $3R$  ( $5,96 \text{ kal.mol}^{-1}.\text{der}^{-1}$ ) pada temperatur tinggi. Debye mengumpamakan bahwa ada distribusi tertentu pada frekuensi getaran atom dan menurunkan persamaan yang menjelaskan kapasitas panas terukur lebih baik dari rumus Einstein.

Seperti telah dikemukakan diatas, kapasitas panas pada temperatur tinggi dapat diperkirakan untuk hampir semua bahan kecuali gelas, karena atom dalam gelas tidak tersusun secara teratur seperti halnya dalam kristal. (Sumber : Surdia Tata. Pengetahuan Bahan Teknik. 2000)

### 2.5.2.3.3 Pemuaian termal

Gejala pertambahan volume bahan mengikuti peningkatan temperatur disebut pemuaian termal. Pemuaian termal disebabkan oleh bertambah besarnya jarak antar atom karena getaran termal dari atom dalam medan potensial asimetri. Pemuaian termal struktur sederhana sangat tergantung pada kekuatan ikatan antar atom, karena perubahan dalam jarak ikatan antar atom berhubungan langsung dengan pemuaian termal kisi kristal.



Gambar 2.14 Hubungan antara koefisien pemuaian panjang dengan titik cair

Sumber : Tata Surdia, Pengetahuan Bahan Teknik Cetakan 5 hal.311

Demikian juga hal itu sudah tentu berhubungan dengan sifat-sifat kristal lainnya. Gambar diatas menunjukkan suatu contoh. Hubungan itu dimana hasil kali koefisien pemuaian panjang dengan titik cair adalah tetap, dapat diterapkan untuk banyak kristal. Tapi bagi beberapa kristal yang memiliki struktur rumit seperti silikat, pemuaian termal atau penyusutan termal disebabkan oleh sudut ikatan antar atom kadang-kadang jauh lebih besar daripada yang disebabkan oleh getaran termal. Terhadap kristal semacam itu, hubungan sederhana diatas dapat dipergunakan.

Kristal yang bukan sistem kubus memiliki susunan atom berbeda menurut arah, oleh karena itu memiliki pula anisotropi dalam pemuaian termal dan juga dalam sifat lainnya. Kebanyakan keramik mempunyai isotropi dalam pemuaian termal walaupun terdiri dari kristal anisotropi, karena sifat-sifat adalah sebagai rata-rata dari keseluruhan bahan polikristal.

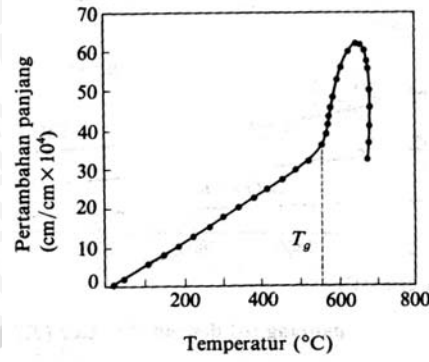
Transisi fasa kristal sering disertai oleh perubahan volum yang besar. Tabel 2.14 menunjukkan koefisien pemuaian panjang dari keramik dan Gambar 2.15 menunjukkan contoh khas dari kurva pemuaian termal dari gelas.(Sumber : Surdia Tata. Pengetahuan Bahan Teknik. 2000)

Tabel 2.16 Koefisien pemuaian termal rata-rata untuk beberapa bahan

Bahan	Koefisien pemuaian panjang, 0-1000°C (°C <sup>-1</sup> x10 <sup>6</sup> )	Bahan	Koefisien pemuaian panjang, 0-1000°C (°C <sup>-1</sup> x10 <sup>6</sup> )
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,8	ZrO <sub>2</sub> (distabilkan)	10,0
BeO	9,0	Gelas silika difusikan	0,5
MgO	13,5	Gelas silika kapur -soda	9,0
Mulit	5,3	TiC	7,4
Spinel	7,6	Porselen	6,0
ThO <sub>2</sub>	9,2	Refraktori lemping api	5,5
UO <sub>2</sub>	10,0	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,3
Zirkon	4,2	TiC Cermet TiC	9,0
SiC	4,7	B <sub>4</sub> C	4,5

Sumber : Tata Surdia, Pengetahuan Bahan Teknik Cetakan 5 hal.312





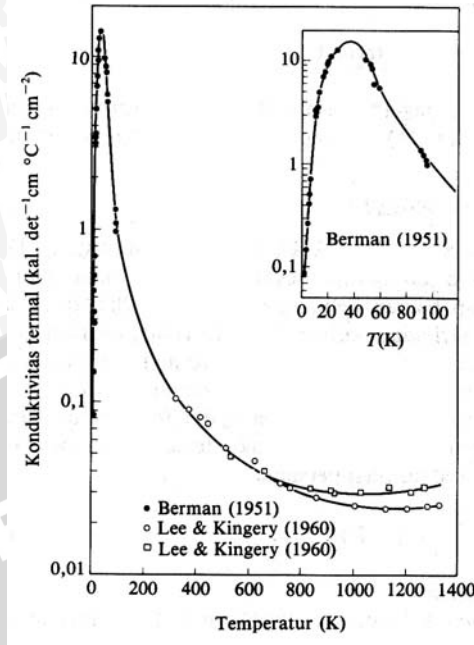
Gambar 2.15 Pemuaiian termal pada gelas

Sumber : Tata Surdia, Pengetahuan Bahan Teknik Cetakan 5 hal.312

#### 2.5.2.3.4 Konduksi termal

Panas dipindahkan dengan tiga macam mekanisme yaitu konduksi, konveksi dan radiasi. Ketiga mekanisme tersebut secara umum terlibat dalam proses perpindahan panas. Perpindahan panas dalam keramik hanya mencakup konduksi dan radiasi saja.

Dalam zat padat ada tiga pembawa energi bagi konduksi termal yaitu elektron, getaran kisi dan foton. Gelombang elastik meneruskan panas karena perbedaan dalam getaran termal dari atom pada daerah temperatur tinggi dan daerah temperatur rendah. Ini adalah konduksi termal karena vibrasi kisi. Dengan menganggap getaran elastik ini sebagai partikel yang bergerak pada kecepatan tinggi, partikel terkuantisasi dan disebut fonon. Pada temperatur tinggi perpindahan panas dengan radiasi dari gelombang elektromagnetik menjadi sangat berarti. Gelombang elektromagnetik yang dikuantumkan disebut foton. Pada umumnya hantaran termal dari logam adalah besar, karena panas dipindahkan oleh elektron yang bergerak bebas dalam kristal. Seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.16 hantaran termal alumina sangat kecil pada temperatur sangat rendah dan cenderung meningkat sangat cepat menurut temperatur, menurun kembali pada atau di atas 40°K dan meningkat lagi pada atau di atas 1000°K.



Gambar 2.16 Konduktivitas termal kristal tunggal aluminium

Sumber : Tata Surdia, Pengetahuan Bahan Teknik Cetakan 5 hal.313

Perubahan ini dapat dihubungkan dengan perubahan panas jenis dan menurunnya lintasan bebas rata-rata oleh antaraksi fonon dan fonon. Meningkatnya hantaran panas pada temperatur tinggi disebabkan oleh foton yang terutama penting bagi bahan tembus cahaya.

Tabel 2.17 Konduktivitas termal beberapa bahan keramik

Bahan	Konduktivitas termal (kal/det/cm <sup>2</sup> /°C/cm) pada	
	100°C	1000°C
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,072	0,015
BeO	0,525	0,049
MgO	0,090	0,017
MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	0,036	0,014
ThO <sub>2</sub>	0,025	0,007
Mulit	0,014	0,009
UO <sub>2</sub>	0,024	0,008
Grafit	0,43	0,15
ZrO <sub>2</sub> (distabilkan)	0,0047	0,0055
Gelas silika difusikan	0,0048	0,006
Gelas silika kapur -soda	0,004	-
TiC	0,060	0,014
Poeselen	0,004	0,0045
Refraktori lemping api	0,0027	0,0037
TiC Cermet TiC	0,08	0,02

Sumber : Tata Surdia, Pengetahuan Bahan Teknik Cetakan 5 hal.314

Tabel diatas menunjukkan konduktivitas termal dari beberapa bahan keramik. Konduktivitas termal yang tinggi ditemukan pada kristal yang terdiri dari unsur yang berat atomnya hampir sama dan mempunyai struktur kristal dengan gaya ikatan antar atom yang kuat. (Sumber : Surdia Tata. Pengetahuan Bahan Teknik. 2000)

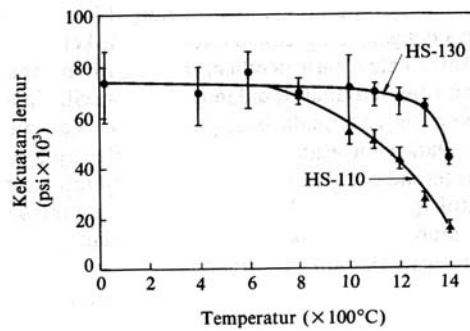
#### 2.5.2.3.5 Tegangan termal dan tekanan kejut termal

Pada umumnya tegangan termal timbul kalau setiap bagian benda padat ditahan dan tidak dapat bergerak bebas. Sebagai tambahan terhadap perubahan temperatur, tegangan termal dipengaruhi oleh laju perubahan temperatur, oleh hantaran termal dari benda padat dan oleh bentuknya. Kalau tegangan termal melampaui kekuatan patah dari bahan maka akan terjadi retakan yang menyebabkan patah. pada umumnya kekuatan tekan keramik adalah tinggi sedangkan kekuatan tariknya rendah. Karena itu keramik mudah pecah selama pendinginan, karena tegangan tarik terjadi pada permukaan. bahan yang mengandung pori memiliki tahanan kejut termal lebih tinggi daripada bahan yang pejal, karena tegangan direlaksasikan oleh pori. (Sumber : Surdia Tata. Pengetahuan Bahan Teknik. 2000)

#### 2.5.2.4 Kerusakan Pada Keramik Akibat Temperatur Tinggi

Salah satu sifat khas dari keramik adalah kestabilan kimia. Tetapi slag dan gelas berfusi pada temperatur tinggi merusak beberapa jenis keramik. Kalau fasa yang bersifat seperti gelas terbentuk pada batas butir maka pada umumnya kekuatan keramik menurun. Peningkatan volume menyebabkan butir mengembang, meletus dan retak. Retakan mudah bergerak melalui gelas dan penghambat perambatan retakan oleh batas butir tidak dapat diharapkan. Selain penurunan yang cepat dari kekuatan, deformasi plastis (*creep*) sering juga ditemukan dalam bahan keramik pada temperatur melebihi 1000°C.

Gejala deformasi plastis yang meningkat menurut waktu pada tegangan tetap pada temperatur tinggi, disebut melar (*creep*). Melar adalah suatu gejala yang rumit yang melibatkan pergeseran pada batas butir, dislokasi dalam kristal, difusi dari pori dan lainnya.



Gambar 2.17 Kurva kekuatan ( $\sigma_f$ )- temperatur (T) bagi  $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-MgO}$  yang dipadatkan dan disinter ( $1\text{psi}=0,07\text{kg/cm}^2$ ).

Sumber : Tata Surdia, Pengetahuan Bahan Teknik Cetakan 5 hal.308

Gambar 2.17 menunjukkan kekuatan pada temperatur tinggi dari spesimen  $\text{Si}_3\text{N}_4$  yang dipres panas, yang sekarang menarik perhatian khusus sebagai bahan tahan temperatur tinggi. Dalam HS-130, MgO ditambahkan sebagai bahan pensinter untuk dapat disinter. HS-110 adalah spesimen yang mempunyai komposisi sama seperti diatas, tetapi mengandung CaO sebagai ketakmurnian pada  $\text{MgO}$ . Dari gambar jelas terlihat bahwa kekuatan temperatur tinggi ditentukan oleh fasa terlemah dan yang paling mungkin berdeformasi diantara fasa lainnya dan bukan ditentukan oleh fasa utama yang merupakan bagian terbesar dari bahan.(Sumber : Surdia Tata. Pengetahuan Bahan Teknik. 2000)

## 2.6 Hipotesis Penelitian

Hipotesis dari penelitian ini adalah :

1. Perubahan suhu yang tinggi berpengaruh terhadap struktur mikro genteng keramik
2. Penambahan lumpur Lapindo berpengaruh terhadap struktur dan sifat genteng keramik
3. Penambahan lumpur Lapindo pada campuran genteng keramik akan mempengaruhi kenampakan pori genteng menjadi lebih baik.