

# PENGARUH PENGGUNAAN LUMPUR LAPINDO TERHADAP STRUKTUR MIKRO GENTENG KERAMIK

Disusun Oleh :  
Aswin Dwi Prastiwi  
NIM. 0110610019-61

Dosen Pembimbing :  
Ir. Edhi Wahyuni S.,MT dan Retno Anggraini, ST,MT.

## Abstrak

Genteng keramik adalah bahan konstruksi yang sering digunakan untuk penutup atap bangunan sipil, karena mempunyai kemampuan yang baik yaitu keras, kuat dan stabil pada temperatur tinggi.

Bencana lumpur Lapindo Sidoarjo yang menghasilkan berjuta juta m<sup>3</sup> lumpur memerlukan suatu usaha pemanfaatan luapan lumpur yang tidak hanya melalui pembuangan- pembuangan saja. Usaha pemanfaatan luapan lumpur Lapindo yang cocok adalah untuk pembuatan material bahan bangunan khususnya bahan bangunan jenis keramik. Hal ini didasarkan pada hasil penelitian kandungan lumpur Lapindo banyak mengandung silika dan alumina yang merupakan unsur sementasi antara butiran tanah. Salah satu bahan bangunan jenis keramik yang berpotensi untuk dibuat dari bahan campuran lumpur Lapindo adalah genteng keramik.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan lumpur Lapindo terhadap struktur mikro genteng keramik. Genteng keramik yang akan diuji adalah genteng keramik yang memiliki komposisi campuran antara lumpur Lapindo dan tanah liat asli. Sedangkan genteng keramik normal atau tanah liat asli digunakan sebagai pembanding untuk struktur mikro yang akan dihasilkan. Komposisi campuran lumpur Lapindo yang diuji terdiri dari 5 komposisi penambahan lumpur dalam prosentase berat. Komposisi campuran lumpur Lapindo adalah 50%, 55%, 60%, 65% dan 70%.

Walaupun penambahan lumpur Lapindo mempengaruhi struktur mikro genteng menjadi lebih baik, tetapi tingkat kesuksesan produk masih rendah dan perlu penelitian lebih lanjut untuk mengatasinya.

Kata kunci : genteng keramik, lumpur Lapindo, struktur mikro

## PENDAHULUAN

Secara umum, bahan baik itu untuk bangunan, mesin, peralatan atau produk menurut Surdia dan Saito (2000) mempunyai karakteristik berupa sifat fisik, sifat mekanik, sifat termal, sifat magnet dan sifat kimia. Prinsip utamanya ialah bahwa setiap sifat bahan berkaitan dengan struktur intern bahan itu sendiri. Struktur intern bahan mencakup atom- atom dan susunannya didalam suatu kristal, molekul atau struktur mikro. Dengan sendirinya sifat- sifat bahan sangat menentukan proses pembentukannya atau sebaliknya bahwa proses pembentukan

merubah sifat bahan. Sifat bahan selalu berubah bila terjadi perubahan struktur dalam bahan selama proses pembentukan. Struktur dalam bahan berubah bila terjadi deformasi, oleh karena itu terjadilah perubahan sifat- sifat.

Proses termal juga berpengaruh atas struktur dalam bahan. Proses termal ini meliputi proses pelunakan (anneal), pencelupan pada suhu tinggi (quench), pembakaran dan sejumlah perlakuan panas lainnya. Proses termal yang terjadi pada bahan akan berpengaruh pada struktur mikronya, selanjutnya akan mengakibatkan perubahan sifat- sifat bahan. Apabila

temperatur berubah, akan terjadi pergerakan molekul sehingga merubah kumpulan molekul atau merubah strukturnya. Karena panas yang meningkat, oksigen dan air menjadikan reaksi kimia pada molekul-molekul sehingga terjadilah oksidasi, hidrolisis dan lain- lain. Keadaan ini akan menyebabkan perubahan sifat mekanis, sifat fisik dan sifat lainnya.

Perkembangan dibidang konstruksi mengakibatkan semakin meningkatkan kebutuhan akan bahan konstruksi yang semakin baik. Genteng adalah salah satu bahan konstruksi yang populer sebagai penutup atap konstruksi bangunan. Pada umumnya genteng keramik memiliki sifat-sifat yang baik yaitu keras, kuat dan stabil pada temperatur tinggi. Tetapi bahan keramik bersifat getas dan mudah patah. Umumnya bahan baku genteng keramik adalah tanah liat. Adanya banjir lumpur panas dilokasi pengeboran PT. Lapindo Brantas di Porong Sidoarjo yang menghasilkan volume lumpur yang sangat besar mendorong adanya pemanfaatan lumpur Porong Sidoarjo sebagai bahan bangunan. Salah satu alternatif pemanfaatan lumpur Lapindo adalah digunakan sebagai bahan genteng keramik.

Hasil penelitian di laboratorium kimia menunjukkan bahwa kandungan mineral lumpur Lapindo sebagian besar adalah mineral silika, sehingga sangat mendukung untuk digunakan sebagai bahan pembuatan genteng keramik. Hasil penelitian pendahuluan tentang kekuatan genteng keramik lumpur Lapindo (Edhi Wahjuni S., Agus Dwiyanto, 2007) menunjukkan bahwa pada prosentase campuran lumpur Lapindo tertentu akan menghasilkan genteng keramik dengan kekuatan yang cukup baik.

Dari uraian di atas, maka diperlukan penelitian-penelitian lanjutan untuk mengetahui pengaruh penggunaan lumpur Lapindo sebagai campuran bahan pembuatan genteng keramik terhadap kualitas genteng keramik yang dihasilkan. Dengan penelitian tersebut akan diketahui apakah genteng yang

dihasilkan mempunyai bentuk struktur mikro yang lebih baik dari genteng normal.

## TINJAUAN PUSTAKA

### 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).

#### 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.

#### 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*.

#### 3. Tanah liat (*loam*)

Adalah pasir dan sliab yang mengandung tanah pekat (*clay*) yang susunannya berbeda-beda menurut sumber penemuan.

### Lumpur Lapindo

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 Kandungan Tanah Lumpur Lapindo

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

Sumber : Totok Nurwarsito

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.

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 kg/cm<sup>2</sup> pada komposisi penambahan 30% lebih besar 41,49% dari kuat tekan normal. Selain dari hasil kuat tekan, penelitian ini juga menunjukkan bahwa penambahan lumpur Lapindo dapat memperkecil nilai prosentase absorpsi (Achief Sunardi, 2007).

Berdasarkan pengujian toksikologis di 3 laboratorium terakreditasi (Sucofindo,

Corelab dan Bogorlab) diperoleh kesimpulan ternyata lumpur Lapindo tidak termasuk limbah B3 sehingga pemanfaatan lumpur Lapindo sebagai bahan bangunan, aman bagi kesehatan (Mukono, 2006).

Tabel Hasil analisa lumpur Lapindo Di lokasi Siring dan Renokenongo

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

Sumber : Depudi Bidang TPSA-BPPT

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 yang menghasilkan sifat – sifat plastis pada tanah. Sifat plastis dan mudah dicetak ini sangat memudahkan dalam proses pembuatan genteng keramik.

Tabel 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         | 0.43        | 1.8924         |
| Mg K        | 1.253        | 1.75         | 1.00        | 4.84         | MgO                                | 2.90         | 0.60        | 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>4.12</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>7.65</b> | <b>44.6292</b> |
| Cl K        | 2.621        | 0.91         | 0.65        | 1.72         | Cl                                 | 0.91         | 0.00        | 1.9770         |
| K K         | 3.312        | 1.93         | 0.98        | 1.66         | K <sub>2</sub> O                   | 2.32         | 0.41        | 4.6320         |
| Ca K        | 3.690        | 1.54         | 1.31        | 2.58         | CaO                                | 2.16         | 0.32        | 3.9388         |
| Fe K        | 6.398        | 7.89         | 2.54        | 9.50         | FeO                                | 10.15        | 1.18        | 17.8180        |
| Total       |              | 100.00       |             | 100.00       |                                    | 100.00       | 14.71       |                |

Sumber: Depudi Bidang TPSA-BPPT

Tabel 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 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: Depudi Bidang TPSA-BPPT

## **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.

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.

Bahan – bahan pembuat genteng keramik, yaitu :

### **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).

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.

### **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):

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

### **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

### **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.

## **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).

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 mengala 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. mi penurunan.

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

## **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.

### **Fasa Keramik**

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.

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.

### **Perubahan Struktur Akibat 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.

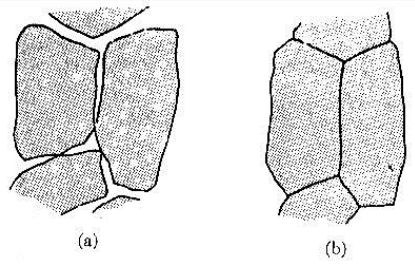
### **Pembentukan Viskos**

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.

### **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.

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).



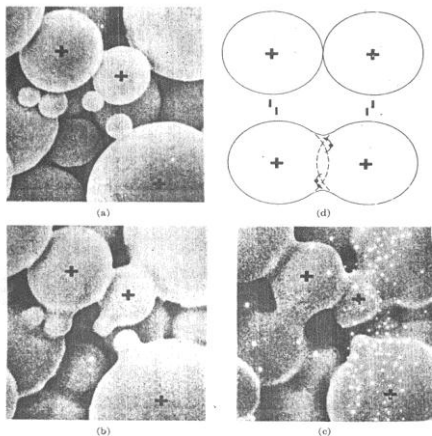
Gambar Sinter Padat

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 dibawah ini. 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.



Gambar 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).

### 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)

### 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.

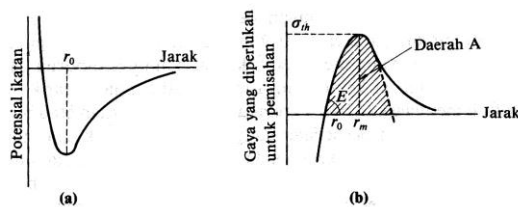
### Kekuatan dan Patahan Teoritis

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 dibawah (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 (b) merupakan kurva sinus dan energy luar yang diberikan (luas A) sama dengan jumlah energy permukaan ( $\gamma$ ) dari permukaan yang baru terbentuk pada retakan.

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

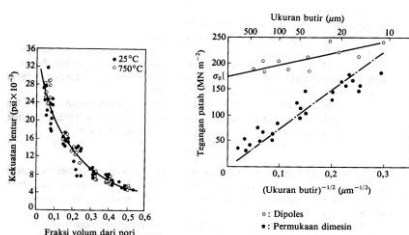
Persamaan ini disebut persamaan Orowan, menunjukkan bahwa kekuatan teoritis meningkat kalau jarak ikatan antar atom berkurang dan kalau energy permukaan serta modulus Youngnya meningkat.



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

### Kekuatan dan 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 (a) Keporusan dan kekuatan lentur alumina dan (b) Pengaruh ukuran butir terhadap kekuatan MgO pada 20°C

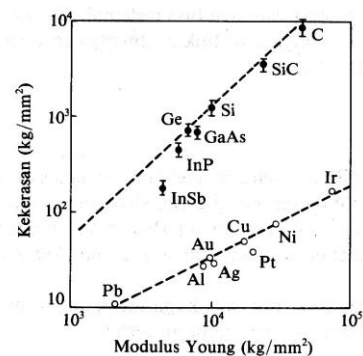
Batas butir keramik memberikan pengaruh yang serius terhadap kekuatannya. Sebagai contoh, kalau fasa yang bersifat seperti gelas terbentuk pada batas butir maka pada

umumnya kekuatan keramik menurun. Retakan mudah bergerak melalui gelas dan penghambat perambatan retakan oleh batas butir tidak dapat diharapkan. (Surdia Tata, 2000)

### Kekerasan

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. (Surdia Tata, 2000)



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

### 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. (Surdia Tata, 2000)

### **Perubahan Sifat Termal Akibat Temperatur Tinggi**

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

#### **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 titik cair secara intuisi dan mudah dimengerti mendekati kebenaran.

#### **Kapasitas Panas**

Energi yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur 1°K dari bahan disebut kapasitas panas. 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. (Surdia Tata, 2000)

#### **Pemuaian Termal**

Gejala penambahan 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.

#### **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.

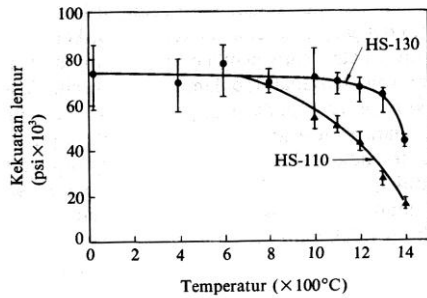
### **Tegangan Termal dan Tegangan Termal Kejut**

Pada umumnya tegangan termal timbul kalau setiap bagian benda padat ditahan dan tidak dapat bergerak bebas. Sebagai tambahan terhadap tambahan 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 kekuatannya tarik 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. (Surdia Tata, 2000)

### **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.



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

## METODOLOGI PENELITIAN

### Tempat Pembuatan Benda Uji dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi dan Struktur Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang, industri genteng yang ditinjau, yaitu industri genteng keramik Mat Sa'i Dusun Talang Suko Turen Malang dan UPT. Mikroskop Elektron UNAIR Surabaya.

### Peralatan dan Bahan Penelitian

Peralatan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat alat *Foto Scanning Electron* dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah genteng keramik dari pabrik genteng keramik yang di tinjau. Agar pengamat dapat mengamati preparat dengan baik, diperlukan persiapan yaitu pembelahan (sectioning), sejumlah 6 buah benda uji berupa genteng normal dan genteng dengan campuran lumpur Lapindo 50%, 55%, 60%, 65% dan 70% yang telah disesuaikan ukurannya dengan alat yang dipakai, yang bertujuan untuk mendapatkan potongan tipis dari spesimen sehingga menjadikannya semi transparan terhadap elektron.

### Proses Penelitian

#### 1. Uji Pendahuluan Bahan

Pengujian pendahuluan dilakukan pada tanah liat asli dan lumpur Lapindo. Uji pendahuluan dilakukan untuk mengetahui

berat isi, kadar air, batas atterberg dan komposisi butiran.

#### 2. Proses Pembuatan Genteng

##### a. Penyediaan bahan

Tanah liat yang digunakan adalah tanah liat berasal dari Mendalan Pakisaji Malang, Jawa Timur. Sedangkan lumpur yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari Desa Siring, Sidoarjo. Kondisi lumpur Lapindo pada saat akan diambil dalam kondisi basah (jenuh air). Dalam penelitian terdahulu lumpur Lapindo terlebih dahulu dikeringkan di bawah sinar matahari sebelum digunakan dalam campuran. Tetapi, dalam penelitian ini lumpur Lapindo dibiarkan pada kondisi aslinya. Karena jika dikeringkan akan memakan waktu yang sangat lama dan membutuhkan biaya. Sehingga untuk penelitian ini kondisi tanah liat asli harus disamakan dengan kondisi lumpur Lapindo.

##### b. Penakaran dan pencampuran bahan

Setelah kondisi tanah liat asli disamakan dengan kondisi lumpur Lapindo baru dilakukan penakaran dan pencampuran bahan dengan proses penggilingan. Kedua bahan yang telah dicampur akan digunakan untuk pembuatan benda uji genteng keramik.

##### c. Pencetakan, pengeringan dan pembakaran genteng

Proses pencetakan genteng dilakukan apabila tanah dan lumpur sudah tercampur secara merata. Genteng dicetak diruang terbuka untuk mendapatkan pengeringan sinar matahari secara langsung. Selanjutnya setelah genteng kering kemudian dilakukan proses pembakaran. Pembakaran menggunakan sekam padi dan kayu sebagai bahan bakar selama 24 jam dengan tujuan membuat genteng menjadi tahan air dan cuaca. Proses selanjutnya adalah pendinginan selama 48 – 72 jam. Proses pendinginan dilakukan didapur pembakaran sampai dengan saat pengiriman ke laboratorium untuk pengujian selanjutnya.

Komposisi penambahan lumpur Lapindo dalam penelitian ini memiliki

nilai yang berbeda-beda pada tiap perlakuan. Komposisi utama yang dipakai adalah komposisi optimum dari hasil penelitian sebelumnya. Perbandingan komposisi antara kedua bahan tersebut dilakukan berdasarkan perbandingan berat.

Berikut persentase penambahan lumpur, jumlah benda uji tiap perlakuan, dan tabel variasi komposisi tanah liat dengan lumpur Lapindo:

1. Prosentase penambahan lumpur Lapindo pada campuran genteng keramik adalah 0%, 50%, 55%, 60%, 65%, dan 70%.
2. Jumlah benda uji untuk struktur mikro genteng keramik setiap perlakuan sebanyak 1 buah benda uji sehingga jumlah keseluruhan benda uji adalah 6.

Tabel Rancangan penelitian pengujian genteng keramik

| Sampel         | I   | II  | III | IV  | V   | Asli |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Lumpur Lapindo | 50% | 55% | 60% | 65% | 70% | 0%   |
| Tanah Liat     | 50% | 45% | 40% | 35% | 30% | 100% |
| Jumlah sampel  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1    |
| Total          | 6   |     |     |     |     |      |

### Pengujian Struktur Mikro Genteng Keramik

Penelitian struktur mikro genteng keramik dilakukan dengan foto scanning elektron, yang dilakukan di laboratorium SEM Unair dengan alat foto scanning tipe JEOL-JS-100-JAPAN.



Gambar Alat Foto Scanning Elektron Tipe JEOL-JS-100-JAPAN

Untuk pengujian struktur mikro digunakan 1 buah benda uji untuk genteng normal tanpa campuran lumpur Lapindo dan genteng dengan campuran lumpur Lapindo 50%, 55%, 60%, 65% dan 70%. Foto-foto dibuat dengan preparat yang ukurannya telah disesuaikan dengan alat yang dipakai. Sampel

benda uji dipecah untuk mendapatkan potongan tipis dari spesimen, sehingga menjadikannya semi transparan terhadap electron yang berukuran kurang lebih 10 mmx 10mmx 2mm. Kemudian dilakukan pengamplasan agar permukaan benda uji lebih rata dan halus

Analisis struktur mikro dilakukan dengan pengamatan struktur pori, perubahan struktur pori dan interpretasi terhadap agregat genteng keramik setelah proses pembakaran.

### ANALISIS HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### Proses Pembuatan Genteng

Proses awal pembuatan genteng keramik dari bahan tanah liat asli dan lumpur Lapindo adalah menentukan komposisi campuran. Komposisi campuran untuk genteng dari tanah liat asli dan lumpur Lapindo dinyatakan dengan prosentase berat. Proses pembuatan genteng dilakukan di industri genteng Mat Sa'i, Talang Suko, Turen. Langkah-langkah perencanaan dan pelaksanaan pembuatan genteng uji adalah :

Tabel Komposisi Genteng

| Komposisi | Normal (0) | I  | II | III | IV | V  |
|-----------|------------|----|----|-----|----|----|
| Lapindo   | 0          | 50 | 55 | 60  | 65 | 70 |

Keterangan :

Normal : 100% tanah liat asli

I : 50% lumpur Lapindo + 50% Tanah Liat Asli

II : 55% Lumpur Lapindo + 45% Tanah Liat Asli

III : 60% Lumpur Lapindo + 40% Tanah Liat Asli

IV : 65% Lumpur Lapindo + 35% Tanah Liat Asli

V : 70% Lumpur Lapindo + 30% Tanah Liat Asli

#### Menentukan Berat Genteng

Berat genteng ditentukan dengan pengambilan 2 buah genteng tanah liat asli yang kemudian ditimbang dan diperoleh berat rata-rata 2 kg. Untuk perencanaan berat tersebut dinaikkan menjadi 2,5 kg agar nantinya benda uji yang dibuat tidak mengalami kekurangan.

Menentukan Berat Komposisi

Untuk contoh direncanakan membuat benda uji genteng sebanyak 120 buah untuk tiap komposisi. Maka untuk tiap komposisi dibutuhkan tanah (tanah liat asli + lumpur Lapindo) sebanyak  $120 \times 3 \text{ kg} = 360 \text{ kg}$ .

Contoh perhitungan:

Komposisi Genteng II menggunakan 55% lumpur Lapindo dan 45% tanah liat asli, maka:

Berat lumpur Lapindo yang dibutuhkan =  $\frac{55}{100} \times 360 \text{ kg} = 180 \text{ kg}$

Berat tanah liat asli yang dibutuhkan =  $\frac{45}{100} \times 360 \text{ kg} = 162 \text{ kg}$

Total kebutuhan lumpur Lapindo dan tanah liat asli dapat dilihat pada tabel:

Tabel Kebutuhan Bahan genteng

| Campuran        | I         | II        | III       | IV        | V         |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Lumpur Lapindo  | 180<br>kg | 198<br>kg | 216<br>kg | 234<br>kg | 252<br>kg |
| Tanah Liat Asli | 180<br>kg | 162<br>kg | 144<br>kg | 126<br>kg | 108<br>kg |

### Pencampuran Bahan

Setelah diketahui kebutuhan lumpur Lapindo dan tanah liat yang akan digunakan serta telah dilakukan penimbangan, maka dilakukan pencampuran antara lumpur Lapindo dan tanah liat asli. Proses pencampuran ini dilakukan secara manual (dengan menggunakan cangkul) dikarenakan tidak ada molen atau mesin sejenis pada industri genteng Mat Sa'i, Talang Suko, Turen.

### Pembuatan Genteng

Setelah dicampur, bahan genteng tersebut diberi air secukupnya sesuai dengan takaran dari pembuat genteng dan kemudian digiling dengan menggunakan mesin. Hasil dari penggilingan ini yang akan dicetak menjadi genteng mentah. Genteng yang selesai dicetak dikeringkan dalam ruangan yang teduh (tidak terkena matahari secara langsung) selama beberapa hari. Kemudian baru dikeringkan dengan dijemur di bawah

sinar matahari secara langsung. Proses akhir dari pembuatan genteng adalah pembakaran, genteng yang sudah kering dimasukkan dalam dapur pembakaran yang akan dibakar hingga matang. Untuk industri genteng MS ini digunakan bahan bakar kayu dan proses pembakaran genteng berlangsung selama 7-10 jam.

### Hasil Genteng

Dari hasil pembuatan benda uji genteng diperoleh hasil yang bervariasi terutama dalam hal kondisi benda uji yang ada. Variasi hasil ini terlihat dari kondisi fisik terutama warna meskipun pada komposisi yang sama. Banyak sekali perbedaan warna pada komposisi yang sama. Dari hal ini sudah kelihatan bahwa genteng uji yang dihasilkan berbeda-beda pada komposisi yang sama. Hasil awal genteng ini bisa mempengaruhi hasil pengujian yang akan dilakukan. Maka sebelum proses pengujian dilakukan pemilihan benda uji genteng yang akan dipergunakan untuk pengujian. Dipilih benda uji yang lebih baik dari keseluruhan benda uji yang ada untuk dipakai dalam pengujian.

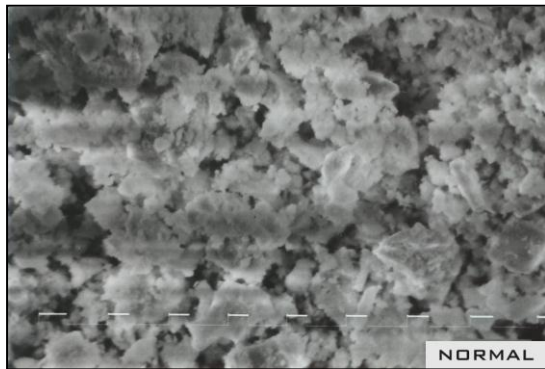
### Pengujian Struktur Mikro Genteng

Pengujian struktur mikro meliputi pengamatan dengan pembuatan foto-foto scanning elektron terhadap genteng keramik normal dan genteng keramik dengan prosentase campuran lumpur lapindo 50%, 55%, 60%, 65% dan 70%.

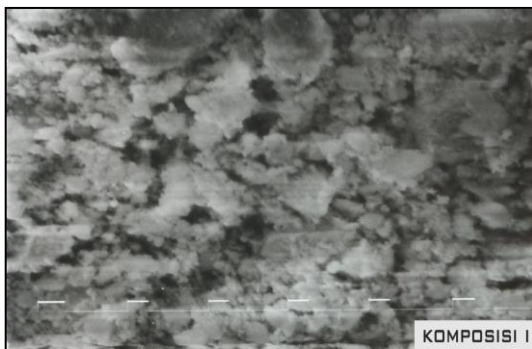
Pembuatan foto scanning elektron dilakukan di laboratorium SEM dengan alat foto scanning type JEOL-JS-100-JAPAN. Foto-foto dibuat untuk genteng normal tanpa campuran lumpur lapindo dan genteng dengan campuran lumpur lapindo 50%, 55%, 60%, 65% dan 70% dengan preparat yang ukurannya telah disesuaikan dengan alat yang dipakai, yang bertujuan untuk mendapatkan potongan tipis dari spesimen sehingga menjadikannya semi transparan terhadap elektron.

Untuk pengujian struktur mikro digunakan 1 benda uji untuk setiap komposisi dan genteng normal. Hasil data struktur mikro adalah foto-foto *scanning electron* kenampakan genteng dengan pembesaran

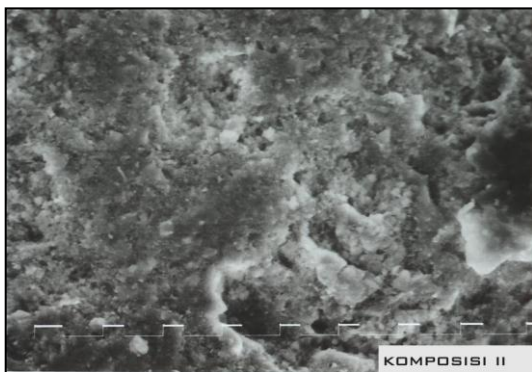
1500x. Jadi jumlah foto *scanning electron* adalah 6 buah. Dari foto-foto tersebut terlihat struktur mikro genteng yang nantinya akan dianalisa.



Gambar Foto Scanning Elektron Genteng Normal



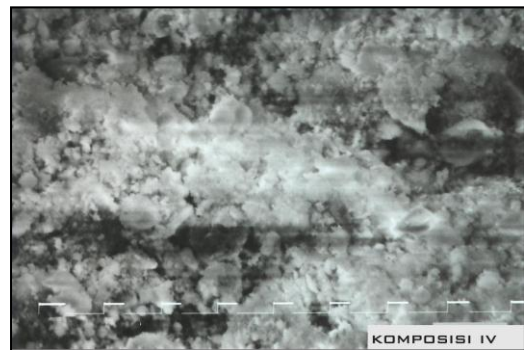
Gambar Foto Scanning Elektron Genteng Komposisi I



Gambar Foto Scanning Elektron Genteng Komposisi II



Gambar Foto Scanning Elektron Genteng Komposisi III



Gambar Foto Scanning Elektron Genteng Komposisi IV



Gambar Foto Scanning Elektron Genteng Komposisi V

### Analisis Struktur Mikro

Untuk mengetahui gambaran perbedaan struktur mikro genteng dilakukan pengujian foto *scanning electron* genteng uji setiap komposisi dan genteng normal. Proses pengambilan foto *scanning electron* dilakukan di UPT Mikroskopi Elektron Universitas Airlangga, Surabaya dengan alat foto *scanning type* JEOL-JS-100-JAPAN. Genteng uji yang akan difoto dengan *scanning electron* terlebih dahulu dibentuk sesuai dengan ukuran yang disyaratkan oleh UPT Mikroskopi Elektron UNAIR. Foto *scanning electron* untuk genteng ini dilakukan dengan pembesaran 1500x. Foto-foto *scanning electron* dibuat untuk genteng normal tanpa campuran lumpur Lapindo dan genteng dengan campuran lumpur Lapindo dengan prosentase penambahan 50%, 55%, 60%, 65% dan 70%.

Dari hasil pengamatan dan analisis foto-foto *scanning electron* bisa diketahui perbedaan struktur mikro antara genteng normal dan genteng dengan campuran lumpur Lapindo. Dari hasil foto *scanning electron* tersebut memperlihatkan struktur pori dari

permukaan pecahan genteng keramik dengan magnifikasi yang besar. Partikel individu dari genteng keramik yang sudah dibakar diubah bentuknya kedalam aneka bentuk keramik matrik yang memperlihatkan jaringan pori yang kontinyu.

1. Pengamatan Hasil Foto Scanning Elektron Genteng Normal

Komposisi campuran pada genteng normal adalah 100% tanah liat asli. Kondisi foto general view pada genteng normal terlihat lebih banyak lubang – lubang pori, butir pembentuk keramik mempunyai diameter yang besar. Dan kondisi foto bagian pori menunjukkan kenampakan pada pori terkesan bahwa permukaan bertekstur tajam.

2. Pengamatan Hasil Foto Scanning Elektron Genteng Komposisi I

Komposisi campuran pada genteng komposisi I adalah 50% lumpur Lapindo + 50% tanah liat asli . Kondisi foto general view pada genteng komposisi I terlihat mempunyai banyak lubang pori, dengan diameter yang lebih kecil. Butir pembentuk keramik mempunyai diameter yang lebih kecil. Dan kondisi foto bagian pori menunjukkan kenampakan pada pori terkesan mempunyai tekstur tidak tajam.

3. Pengamatan Hasil Foto Scanning Elektron Genteng Komposisi II

Komposisi campuran pada genteng komposisi II adalah 55% lumpur Lapindo + 45% tanah liat asli. Ditampilkan dengan perbesaran yang sama x1500, kondisi foto general view pada genteng komposisi II terlihat pori lebih kecil dan lebih sedikit dengan kesan kenampakan lebih kompak, diameter ukuran butir lebih kecil. Dan kondisi foto bagian pori menunjukkan kenampakan pada pori terkesan mempunyai tekstur tidak tajam.

4. Pengamatan Hasil Foto Scanning Elektron Genteng Komposisi III

Komposisi campuran pada genteng komposisi III adalah 60% lumpur Lapindo + 40% tanah liat asli. Pada kondisi foto

general view terlihat pori lebih kecil, diameter ukuran butir lebih kecil sehingga kesan kenampakan lebih kompak. Dan kondisi foto bagian pori menunjukkan kenampakan pada pori terkesan mempunyai tekstur tidak tajam.

5. Pengamatan Hasil Foto Scanning Elektron Genteng Komposisi IV

Komposisi campuran pada genteng komposisi IV adalah 65% lumpur Lapindo + 35% tanah liat asli. Pada kondisi foto general view terlihat diameter pori lebih kecil sehingga kesan kenampakan kompak. Dan kondisi foto bagian pori menunjukkan kenampakan pada pori terkesan mempunyai tekstur tidak tajam.

6. Pengamatan Hasil Foto Scanning Elektron Genteng Komposisi V

Komposisi campuran pada genteng komposisi V adalah 70% lumpur Lapindo + 30% tanah liat asli. Pada kondisi foto general view terlihat diameter pori lebih kecil, ukuran butir lebih kecil, kesan kenampakan kompak. Dan kondisi foto bagian pori menunjukkan kenampakan pada pori terkesan mempunyai tekstur tidak tajam.

### **Pembahasan Terhadap Struktur Mikro**

Timbulnya void- void seperti yang terlihat pada hasil foto scanning elektron sangatlah tidak diinginkan, karena void- void tersebut dapat menjadi sumber kegagalan genteng keramik. Mekanisme terbentuknya void merupakan suatu proses yang kompleks dan hal ini harus dicegah sedini mungkin guna menghindari kerusakan.

Sehubungan dengan hasil foto scanning elektron yang tidak sesuai dengan yang diharapkan sebelumnya, maka untuk menguatkan hipotesis dilakukan perbandingan dengan hasil penelitian sebelumnya tentang pengujian kuat lentur, penyerapan dan rembesan air genteng keramik dengan sampel yang sama.

Dari penelitian terdahulu (Agus Dwiyanto, 2007) dapat ditarik kesimpulan bahwa penambahan lumpur Lapindo secara nyata dapat mempengaruhi kuat lentur

genteng keramik. 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. Hal ini dapat terjadi karena lumpur yang ditambahkan pada benda uji memiliki kandungan utama silika dan alumina. Kesimpulan ini sesuai dengan teori bahwa genteng yang baik kandungannya terdiri atas silika dan alumina yang dicampur dengan perbandingan tertentu (Kardiyono T, 1995).

Dari hasil foto scanning elektron, pada komposisi yang sama yaitu komposisi III (60% lumpur Lapindo + 40% tanah liat asli) terlihat ukuran pori lebih kecil, diameter ukuran butir lebih kecil sehingga kesan kenampakan lebih kompak. Dan kondisi foto bagian pori menunjukkan kenampakan pada pori terkesan mempunyai tekstur tidak tajam.

Secara keseluruhan dari hasil foto scanning elektron menunjukkan kesan kenampakan yang identik dengan grafik regresi kuat lentur. Semakin besar komposisi prosentasi penambahan lumpur Lapindo semakin menunjukkan kesan kenampakan pori yang lebih kecil, diameter butir yang lebih kecil sehingga kesan kenampakan terlihat lebih kompak. Semakin kecil ukuran butir dalam mikrostruktur, maka kekuatan dan kekerasan akan semakin tinggi. Hal ini sesuai dengan persamaan Hall-Petch.

Dari peneliatian terdalulu (Adi Wahyu Widodo, 2008) dapat ditarik kesimpulan bahwa penambahan lumpur Lapindo juga mempengaruhi penyerapan air dan rembesan genteng keramik. Dapat dilihat secara keseluruhan bahwa penambahan lumpur Lapindo dapat menurunkan adsorpsi genteng jika dibandingkan dengan adsorpsi genteng tanpa penambahan lumpur Lapindo. Nilai penyerapan air turun secara linier mengikuti prosentase penambahan lumpur Lapindo. Dari grafik juga tampak nilai penyerapan air komposisi III dan V yang tidak mengikuti kecenderungan komposisi yang lain.

Meskipun demikian nilai penyerapan air komposisi III dan V masih berada di bawah penyerapan air komposisi normal.

Hal ini disebabkan karena penambahan lumpur Lapindo pada komposisi III dan IV tidak cukup menutupi pori-pori genteng yang pada mulanya terisi oleh air, dimana air ini menguap pada proses pengeringan dan pembakaran genteng keramik. Berdasarkan teori pada umumnya adsorpsi pada genteng dapat dikatakan baik jika nilai persentasenya kurang dari 20% (Kardiyono T, 1995).

Secara keseluruhan dari hasil foto scanning elektron menunjukkan kesan kenampakan pori yang identik dengan grafik penyerapan air yang nilai penyerapan airnya turun secara linier mengikuti prosentase penambahan lumpur Lapindo. Semakin besar komposisi prosentasi penambahan lumpur Lapindo semakin menunjukkan kesan kenampakan pori yang lebih kecil, diameter butir yang lebih kecil sehingga penyerapan air akan semakin kecil. Semakin kecil ukuran butir dalam mikrostruktur, maka penyerapan air akan semakin kecil.

Pengujian rembesan air genteng (Adi Wahyu Widodo, 2008) diperoleh 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 (50% lumpur Lapindo + 50% tanah liat asli). Dari grafik hasil penelitian, nilai rembesan air turun secara linier mengikuti prosentase penambahan lumpur Lapindo. Secara keseluruhan dari hasil foto scanning elektron menunjukkan kesan kenampakan pori yang identik dengan grafik rembesan air yang nilai rembesan

airnya turun secara linier mengikuti prosentase penambahan lumpur Lapindo. Semakin besar komposisi prosentasi penambahan lumpur Lapindo semakin menunjukkan kesan kenampakan pori yang lebih kecil, diameter butir yang lebih kecil sehingga rembesan air akan semakin kecil. Semakin kecil ukuran butir dalam mikrostruktur, maka akan semakin memperlama waktu perembesan air.

Dari hasil pengamatan secara keseluruhan terhadap uji kuat tekan lentur, penyerapan air, rembesan dan struktur mikro dengan pengambilan foto – foto scanning elektron dapat dinyatakan bahwa volume pori dari pecahan genteng keramik bervariasi, kenampakan pori tergantung pada komposisi bahan dan temperatur pembakaran.

Pada genteng normal terlihat lebih banyak lubang pori, sedangkan pada genteng dengan campuran lumpur Lapindo terlihat pori lebih kecil sehingga memperlihatkan kesan kenampakan yang lebih kompak. Hal ini disebabkan diameter butiran dari lumpur Lapindo lebih kecil dibandingkan diameter butiran tanah pada genteng normal.

Faktor utama yang mempengaruhi struktur mikro dan kekuatan genteng keramik adalah kehalusan permukaan, volume dan bentuk dari pori, ukuran dan bentuk butir, jenis dan bentuk fasa batas butir dan cacat yang disebabkan oleh tegangan dalam misalnya tegangan termal.

## PENUTUP

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, analisis data, dan pembahasan mengenai pengaruh penggunaan lumpur Lapindo terhadap struktur mikro genteng keramik, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh penambahan lumpur Lapindo pada bentuk struktur mikro genteng keramik adalah memperbaiki pori-pori dan membuat struktur genteng menjadi lebih masif. Karena ukuran butir lumpur Lapindo lebih kecil dari ukuran butir tanah asli.

2. Penambahan lumpur Lapindo pada campuran genteng keramik akan mempengaruhi struktur mikro genteng menjadi lebih baik, sehingga kuat lentur akan meningkat, penyerapan air dan rembesan akan semakin kecil.
3. Semakin kecil ukuran butir maka kekuatan akan meningkat, semakin kecil diameter butir pembentuk genteng keramik maka ukuran retakan yang terdapat di dalamnya juga kecil.

### Saran

Penelitian ini sangat dipengaruhi oleh proses-proses pembuatan benda uji genteng keramik. Saran-saran dari proses dan hasil penelitian adalah:

1. Proses pencampuran bahan (lumpur Lapindo dengan tanah liat asli) disarankan menggunakan mesin berkapasitas besar.
2. Dalam pembuatan benda uji sangat memerlukan ketelitian dalam proses pengerjaannya agar benda uji yang dihasilkan memiliki keterandalan yang baik.
3. Proses pencampuran bahan tanah liat asli dan lumpur Lapindo disarankan dalam kondisi mendekati kondisi cair. Hal ini untuk mengatasi perbedaan kondisi lumpur Lapindo di laboratorium dan di lapangan.
4. Dalam proses pengeringan udara untuk genteng mentah campuran lumpur lapindo disarankan lebih lama. Hal ini perlu untuk menghindari pelengkungan genteng akibat sinar matahari.
5. Hal yang paling mempengaruhi hasil benda uji adalah proses pembakaran. Disarankan pembakaran dengan menggunakan dapur oven yang bisa diketahui suhu pembakaran dan pembakaran bisa merata.
6. Untuk penelitian dan penerapan selanjutnya perlu dilakukan uji kekentalan/ plastisitas terhadap campuran lumpur Lapindo agar diperoleh kondisi kadar air yang pas.
7. Dikarenakan tingkat kesuksesan pembuatan genteng campuran lumpur Lapindo lebih rendah dari genteng normal, maka diperlukan penelitian

- lanjutan untuk meningkatkan kesuksesan pembuatan genteng campuran lumpur Lapindo terutama pada aspek pandangan luar yang masih dibawah genteng normal.
8. Untuk meningkatkan kesuksesan pembuatan genteng campuran lumpur Lapindo adalah dengan menambahkan pasir dalam komposisinya. Hal ini dikarenakan kandungan lempung dalam campuran yang terlalu banyak menyebabkan terjadinya pelengkungan dan susut yang besar pada saat pembakaran sehingga menyebabkan retak-retak.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Adi Wahyu Widodo.2008 .”Pengaruh Penggunaan Lumpur Lapindo Terhadap Kualitas (Pandangan Luar, Ketetapan Ukuran, Ketetapan Bentuk, Berat, Ketahanan Terhadap Perembesan Air dan Penetrasi Air”. Skripsi. Tidak Diterbitkan. Malang. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Agus Dwiyanto. 2007. “Pengaruh Penggunaan Lumpur Lapindo Terhadap Kuat Lentur Genteng Keramik”. Skripsi. Tidak Diterbitkan. Malang. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Frick, Heinz / Ch. Koesmartadi. 1999. Ilmu Bahan Bangunan, Seri Konstruksi Arsitektur 9. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.
- [Http://id.wikipedia.org/wiki/Mikroskop elektron](http://id.wikipedia.org/wiki/Mikroskop_elektron)
- Ismoyo DH, 1984. Bahan Bangunan Teknik. Surakarta. Universitas Sebelas Maret.
- Lationo, Budi. 2006. Pemanfaatan deposit Lumpur Sidoarjo. Bandung. ITB
- Lawrence H. Van Vlack / Sriati Djaprie.1992. Ilmu dan Teknologi Bahan Ilmu Logam dan Bukan Logam, Edisi ke 5. Erlangga. Jakarta.
- Mukono dan Triwulan. 2006. Salah Jurusan Membawa Berkah. Surabaya. ITS. <http://www.its.ac.id/semuaberita.php>
- Peraturan Genteng Keramik Indonesia NI-19 Cetakan ke 3 Tahun 1978
- Prof.Dr. Michel Barsoum. 1997. Fundamentals of Ceramics. Mc Grow Hill Co. Inc. Singapore.
- Sinugroho, G Hartono, J.M.V. 1979. Teknologi Bahan Bangunan Bata dan Genteng. Balai Penelitian keramik. Bandung
- Suliyono Rudiarmanto. 2006. Pengaruh Suhu Tinggi Terhadap Struktur Mikro dan Kekuatan Beton. Tesis. Tidak diterbitkan. Malang. Program Pascasarjana Universitas Brawijaya.
- Surdia Tata,dkk. 2000. Pengetahuan Bahan teknik. Cetakan Kelima. PT. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Tjokrodinuljo, Kardiyono. 1995. Bahan bangunan. Yogyakarta. Penerbit Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM.