

**KAJIAN TERHADAP LUMPUR BEKAS PEMBORAN (LIMBAH B3)
UNTUK BAHAN PENGISI PEMBUATAN KERAMIK**

TESIS



Oleh :

**SUPARNO
NIM. : L4K001114**

MAGISTER ILMU LINGKUNGAN

**PROGRAM PASCA SARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
JULI 2003**

TESIS

**KAJIAN TERHADAP LUMPUR BEKAS PEMBORAN (LIMBAH B3)
UNTUK BAHAN PENGISI PEMBUATAN KERAMIK**

disusun oleh

SUPARNO
NIM. : L4K001114

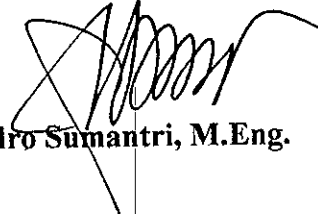
Telah disetujui oleh :

Pembimbing I



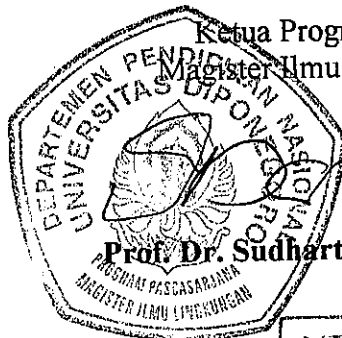
Dr. Ir. Setia Budi Sasongko, DEA

Pembimbing II



Ir. Indro Sumantri, M.Eng.

Ketua Program Studi
Magister Ilmu Lingkungan



Prof. Dr. Sudharto P. Hadi, MES.

UPT-PUSTAK-UNDIP	
No. Daft:	2228/1/MIU/14
Tgl.	15 Des 10 3

Judul Tesis : Kajian Terhadap Lumpur Bekas Pemboran (Limbah B3)
Untuk Bahan Pengisi Pembuatan Keramik

Nama Mahasiswa : Suparno

Nomor Mahasiswa : L4K001114


Program Studi : Magister Ilmu Lingkungan

Konsentrasi : Rekayasa Lingkungan

telah dipertahankan di depan Tim Penguji
pada tanggal 1 Juli 2003
dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

Menyetujui,

Pembimbing I


Dr. Ir. Setia Budi Sasongko, DEA

Pembimbing II


Ir. Indro Sumantri, M.Eng.

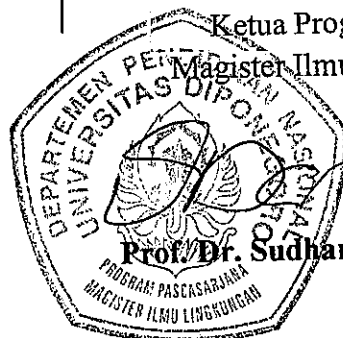
Penguji


Ir. Agus Hadiyanto, MT

Penguji


Ir. Nasrullah, MT

Ketua Program Studi
Magister Ilmu Lingkungan




Prof. Dr. Sudharto P. Hadi, MES

PERNYATAAN

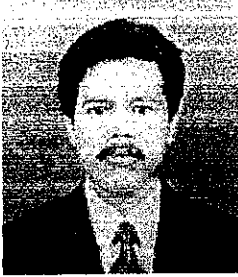
Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan di dalamnya tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan lembaga pendidikan lainnya. Pengetahuan yang diperoleh dari hasil penerbitan maupun yang belum/tidak diterbitkan, sumbernya dijelaskan di dalam tulisan dan daftar pustaka.

Semarang, Juli 2003



Suparno

RIWAYAT HIDUP



S U P A R N O, lahir tanggal 16 Maret 1961 di Kampung Ledok Tukangan, Kecamatan Danurejan, Kotamadia Jogjakarta, Propinsi Daerah Istimewa Jogjakarta, putera pertama dari Sukimin Hadi Sudarmo dengan Suparni. Menamatkan sekolah SD Kotabaru I Jogjakarta tahun 1973, SMP Negeri 1 Jogjakarta tahun 1976, SMA Negeri 3

Jogjakarta tahun 1980.

Melanjutkan pendidikan tinggi pada Fakultas Tambang Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jogjakarta, lulus tahun 1990. Tahun 1992 mulai bekerja sebagai Kepala Seksi Pengamanan Teknis dan Keselamatan Kerja di Kantor Wilayah Departemen Pertambangan dan Energi Propinsi Maluku di Ambon. Tahun 2000 mutasi ke Kantor Wilayah Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral Propinsi Sulawesi Tengah di Palu sebagai Staf Bidang Geologi dan Pertambangan Umum dan kemudian tahun 2001 mutasi ke Pusat Pendidikan dan Pelatihan Minyak dan Gas Bumi Cepu Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral sebagai Staf Bidang Pelatihan dan Sertifikasi, hingga sekarang.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadlirat Allah SWT bahwa atas Rahmad-Nya, penulis dapat menyusun Tesis untuk memenuhi salah satu syarat mencapai derajat Sarjana S2 Magister Ilmu Lingkungan Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro Semarang dengan judul **Kajian Terhadap Lumpur Bekas Pemboran (Limbah B3) Untuk Bahan Pengisi Pembuatan Keramik.**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral beserta staf,
2. Kepala Pusat Pendidikan dan Pelatihan Minyak dan Gas Bumi Cepu beserta staf,
3. Rektor Universitas Diponegoro beserta staf,
4. Ketua Program Studi Magister Ilmu Lingkungan beserta staf,
5. Bapak Dr. Ir. Setia Budi Sasongko, DEA selaku pembimbing penelitian dan tesis,
6. Bapak Ir. Indro Sumantri M.Eng selaku pembimbing penelitian dan tesis,
7. Direktur PT Kimia Farma beserta staf,
8. Segenap staf dan pegawai Laboratorium Sarana Diklat Migas Cepu,
9. Semua pihak yang telah membantu hingga selesainya penelitian dan tesis ini.

Semoga penulisan Tesis ini bermanfaat.

Semarang, Juli 2003

Penyusun,

Suparno

DAFTAR ISI

	Halaman
Kata Pengantar	vi
Daftar Gambar	ix
Daftar Grafik	x
Daftar Tabel	xi
Bab I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Manfaat Penelitian	2
1.3. Perumusan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	2
1.5. Batasan Masalah	2
Bab II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Teori Dasar Keramik	4
2.2. Kegiatan Pemboran	5
2.3. Pengelolaan Lumpur Bekas Pemboran Di Lapangan	6
2.4. Pengelolaan Lumpur Bor Berdasarkan Peraturan Perundangan	7
Bab III METODA PENELITIAN	11
3.1. Jenis Penelitian	11
3.2. Peralatan Yang di Gunakan	11
3.3. Bahan Penelitian	12
3.4. Pengaruh Variabel Penelitian	12
3.5. Pengaruh Waktu Pembakaran	12
3.6. Pengaruh Temperatur Pembakaran	12
3.7. Pengaruh Komposisi Bahan	12
3.8. Hipotesis	13
3.9. Pelaksanaan Penelitian	14
3.10. Persiapan Penelitian	14
3.11. Penelitian Pendahuluan	15
3.12. Penelitian	16
3.13. Alur Pikir	17
Bab IV HASIL DAN PEMBAHASAN	20
4.1. Hasil Penelitian	20
4.2. Pembahasan	20
Bab V KESIMPULAN DAN SARAN	33
5.1. Kesimpulan	33
5.2. Saran	34

DAFTAR PUSTAKA	35
LAMPIRAN	43

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1	Alur Pikir Permasalahan 19
2	Diagram Alir Penelitian 43
3	Mesin Penggerus “Abrassives Mill” 49
4	Alat Cetak Bahan 49
5	Menimbang Bahan 50
6	Komposisi Bahan 50
7	Mengangin-anginkan 51
8	Oven Pengereng 51
9	Furnace Pembakar 52
10	Menetapkan Ukuran Untuk Pengujian 53
11	Menguji Hasil 53

DAFTAR GRAFIK

	Halaman
Grafik 1 Pengaruh Temperatur dan Waktu Pembakaran terhadap Kuat Lentur	25
2 Pengaruh Temperatur dan Waktu Pembakaran terhadap Penyerapan Air	28

DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 1	Hasil Analisa Lumpur Bekas Pemboran	7
2	Pembakaran Benda Uji	13
3	Komposisi Bahan	16
4	Uji TCLP Lumpur	20
5	Hasil Uji	23
6	Kenampakan Fisik Benda Uji	44
7	Uji Penyerapan Air	45
8	Uji Kuat Lentur	46
9	Yield Uji	47
10	Nilai Penyerapan Air	48
11	Nilai Kuat Lentur	48

KAJIAN TERHADAP LUMPUR BEKAS PEMBORAN (LIMBAH B3) UNTUK BAHAN PENGISI PEMBUATAN KERAMIK

INTISARI

Kegiatan Industri Minyak dan Gas (Migas) dan Pertambangan, yang salah satu tahapannya adalah kegiatan pemboran, memberikan limbah berupa lumpur yang menyebabkan pencemaran lingkungan di wilayah dimana kegiatan tersebut dilakukan. Guna mengatasi hal tersebut, perlu dilakukan upaya penanganan untuk meminimalkan dampak terhadap lingkungan. Sebagai salah satu upaya adalah memanfaatkan material sebagai bahan produk. Upaya ini adalah memanfaatkan lumpur bekas pemboran yang tadinya sebagai limbah, menjadi barang produk yang berguna, yaitu untuk bahan pengisi pembuatan keramik.

Bahan baku utama yang digunakan adalah lempung yang diambil dari daerah Kasongan Bantul Jogjakarta, feldspar dari desa Clering Kecamatan Keling Kabupaten Jepara Jawa Tengah, Kaolin dari desa Kalidadap Kecamatan Wadaslintang Kabupaten Wonosobo Jawa Tengah. Sedangkan lumpur bekas pemboran yang akan dikaji berasal dari Watudakon, pada kegiatan pemboran tambang yodium PT. Kimia Farma, Mojokerta Jawa Timur.

Komposisi bahan berupa prosentasi lumpur bor terhadap bahan standar yang divariasi yakni 0 %, 10%, 20%, 30%, dan 40 % dibakar pada tungku (furnace) listrik dengan temperatur 800°C, 900°C dan 1000°C yang masing-masing dilakukan dalam waktu 2 jam, 3 jam dan 4 jam. Dengan waktu pembakaran tersebut akan mempengaruhi kualitas produk pada kuat lentur dan penyerapan air.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No.18 Tahun 1999 tentang Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, lumpur bekas pemboran dikategorikan sebagai limbah B3 sehingga dalam pengelolaannya harus dilakukan pembuktian apakah limbah tersebut mengandung B3 atau tidak. Penanganannya dengan uji toksisitas atau TCLP. Sebelum dilakukan penelitian, lumpur bor tersebut diuji TCLP di Laboratorium Pusdiklat Migas Cepu. Adapun hasil uji tersebut seperti pada Tabel menunjukkan bahwa lumpur bor tersebut masih relatif jauh di bawah NAB sehingga layak aman untuk digunakan sesuai peruntukan.

Dalam kajian terhadap lumpur bekas pemboran untuk bahan pembuatan keramik, dinyatakan bahwa *Lumpur Bekas Pemboran dapat sebagai bahan baku tambahan pembuatan Keramik*. Adapun hasil kajian sebagai berikut :

- Dengan kandungan lumpur yang efektif maksimal 30%, maka produk keramik dapat mengurangi tingkat pencemaran limbah B3 dimana sebanyak 30% bahan diperoleh dari lumpur bekas pemboran.
- Pengaruh Komposisi Bahan, Temperatur dan Waktu Pembakaran terhadap kuat lentur dan penyerapan air, bahwa ketiga waktu pembakaran (2, 3 dan 4 jam) dengan temperatur pembakaran (800°, 900° dan 1000°C) tidak menunjukkan nilai dengan pola tertentu.
- Kuat lentur dan penyerapan air sangat dipengaruhi oleh homogenitas, dimana homogenitas tergantung dari proses pencampuran, lama pencampuran dan sebagainya dimana perlakuan tersebut tidak terukur.
- Produk hasil pembakaran dengan penyerapan air 14 % (> 10) dan Kuat lentur 150 kg/cm^2 ($120 < X < 180$) maka hasil uji masuk kategori *Keramik Earthenware (Gerabah Keras)* berdasarkan SNI 03-4062-1996.

STUDY ON USE OF DRILLING MUD WASTE AS FILLER IN CERAMICS MANUFACTURING

Abstract

Drilling, as a stage in oil, gas, and mining operation, produces a large amount of waste in the form of drilling mud which causes environment pollution. Therefore, mud waste should be handled properly to minimize its impact on environment. Among the efforts to utilize the mud waste is using it as filler in ceramics manufacturing.

The main materials used in the experiments were clay from Kasongan village Jogjakarta, feldspar from Clering village Jepara, and Kaolin from Kalidadap village Wonosobo. While drilling waste from iodine water drilling in Watudakon village Mojokerto, was used as filling material.

The portions of mud waste in the mix were 0%, 10%, 20%, 30%, and 40%. The mix was then heated in an electric furnace at temperature of 800°C, 900°C, and 1000°C, at durations of 2 hours, 3 hours, and 4 hours. The variables, i.e. the composition, the temperature, and heating duration would effect the product quality.

Government Regulation No.18/1999 on Hazardous and Toxic Waste (B3 waste) categorized drilling mud waste as B3 waste, therefore before utilizing mud waste, it was tested using Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP). The test result indicated that drilling mud waste was below the contamination limit value.

The study showed that drilling mud waste could be used as filling material in ceramics manufacturing, the result was as follows :

- The ceramics product could reduced B3 waste, i.e. by utilizing mud waste in ceramics manufacturing where the mud waste portion in the mix was at a maximum of 30%.
- The effects of composition, temperature and heating duration to bending strength and water absorption had no pattern.
- The bending strength and water absorption were influenced by the homogeneity of the mix, while the homogeneity depended on the mixing process, duration of mixing, etc.
- The product had a water absorption of 14% ($> 10\%$) and bending strength of 150 kg/cm² ($120 < x < 180$), which was categorized as Earthenware Ceramics according to SNI 03-4062-1996.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Minyak dan gas bumi masih merupakan komoditas yang penting bagi Indonesia, di mana diperkirakan saat ini menghasilkan minyak mentah 1,3 barrel per-hari sebagai penyumbang strategis devisa negara. Guna meningkatkan produksi ini maka terus melakukan eksplorasi dan eksploitasi sumber-sumber minyak. (Rizal, A., 2001)

Industri minyak dan gas bumi secara umum meliputi kegiatan hulu (eksplorasi dan produksi), kegiatan hilir (pemurnian/pengolahan, petrokimia dan penyediaan kebutuhan BBM) dan kegiatan transportasi minyak. Kegiatan operasi minyak dan gas bumi berdampak penting terhadap lingkungan, baik positif maupun negatif. Dampak positif yang timbul dari kegiatan migas adalah berkembangnya perekonomian setempat, pembangunan wilayah setempat, transfer teknologi, budaya setempat dan sebagainya. Sedangkan dampak negatif yang timbul, dari sekian dampak mulai hulu dan hilir, diantaranya adalah dampak yang ditimbulkan pada kegiatan pemboran baik eksplorasi maupun produksi yaitu adanya limbah berupa lumpur bekas pemboran. (Singgih H., 2001)

UU No. 8 Tahun 1971 menyatakan bahwa kegiatan industri minyak dan gas bumi bertujuan untuk membangun dan melaksanakan perusahaan minyak dan gas bumi dalam arti seluas-luasnya untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat dan negara serta menciptakan ketahanan nasional. Disebutkan pula, bahwa dalam melaksanakan perusahaan minyak dan gas bumi dengan memperoleh hasil yang sebesar-besarnya bagi kemakmuran rakyat dan negara, menyediakan dan melayani kebutuhan bahan bakar minyak dan gas bumi yang pelaksanaannya diatur dengan Peraturan Pemerintah. Keterangan ini memiliki makna bahwa disamping tugas ekonomi, tersirat didalamnya tugas dan kewajiban untuk melakukan *perlindungan lingkungan* yang sama-sama merupakan upaya membangun bangsa dan negara baik berjangka pendek maupun jangka panjang.

UPT-PUSTAK-UNDIP

1.2. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian adalah untuk memperoleh kemungkinan penggunaan lumpur bor bekas kegiatan pemboran yang dianggap sebagai material limbah dan berpotensi mencemari lingkungan menjadi material produk yang berguna.

1.3. Perumusan Masalah

1. Adanya limbah B3 dari lumpur bekas pemboran dapat mencemari air tanah.
2. Lumpur bekas pemboran belum dimanfaatkan secara optimal menjadi produk

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian adalah :

1. Mengurangi tingkat pencemaran air tanah akibat B3
2. Mengkaji apakah lumpur bekas pemboran dapat digunakan sebagai bahan baku keramik.

1.5. Batasan Masalah

Karena luasnya permasalahan dalam penelitian ini, agar menjadi lebih fokus maka lingkup penelitian ini dibatasi pada :

1. Lumpur bor yang dikaji diambil dari lokasi kegiatan pemboran tambang yodium di Mojokerto (PT. Kimia Farma). Bahan baku lainnya sebagai media yaitu lempung (clay) diambil dari Kasongan Yogyakarta, Kaolin dari lokasi tambang di Wonosobo dan Feldspar dari lokasi tambang di Jepara (sumber data lokasi : Dinas Pertambangan Proponsi Jawa Tengah). Pemilihan lokasi pengambilan bahan selain yang paling dekat, juga sebagai upaya pemberdayaan potensi daerah hasil tambang.
2. Komposisi bahan ditetapkan 40% kandungan lumpur terhadap bahan lain (sebut: standard), karena prosentase tersebut masih memberikan hasil pembakaran yang layak. Sedangkan bahan standardnya dengan perbandingan lempung : kaolin : feldspar masing-masing 65 % : 20 % : 15 %. Pembakaran dilakukan pada temperatur 800°, 900° dan 1000°C selama 2, 3 dan 4 jam.
3. Hasil pembakaran diuji secara fisis dengan dua parameter yaitu kuat lentur dan penyerapan air. Adapun alasan dipilihnya kuat lentur karena bentuk benda uji adalah lempengan sehingga lebih sesuai dengan parameter tersebut, sedangkan

dipilihnya penyerapan air karena kandungan lumpur bor adalah bentonit yang memiliki sifat mudah mengembang bila bersentuhan air dan berasumsi bahwa air yang terjebak dalam benda uji tidak ada.

4. Penelitian ini bersifat eksplorasi, lebih mendekati pada mengkaji dapat dan tidaknya lumpur bor untuk dijadikan bahan tambahan pembuatan keramik. Sehingga kajian ini belum menentukan optimasi maupun benefit dan cost.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Teori Dasar Keramik

“Ceramics as the art and science of making and using solid articles which have as their essential component, and are composed in large part of, inorganic nonmetallic materials” (W.D. Kingery, 1975)

Keramik sebagai karya seni dan ilmu pengetahuan, yang terbuat dan menggunakan material padat dengan keutamaannya dan dikomposisikan dalam bagian besar material non metal anorganik.

Definisi ini meliputi tidak hanya material seperti tembikar atau pecah belah, porselin, refractory, gelas, tetapi juga material magnetic non metal, ferroelektrik, gelas-keramik dan produk sejenis lainnya.

Dalam industri, bahan bentonite yang memiliki komposisi mineral utama *montmorilonit* ($Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot x H_2O$) dapat digunakan untuk pembuatan keramik (*Laviosa*).

Pasir Galunggung salah satu bahan yang dimuntahkan dari hasil letusan gunung api di daerah Tasikmalaya hingga sekarang pasir ini digunakan untuk pembuatan paving block, genteng beton dan sebagai pasir adukan. Dalam data analisa kimia ternyata pasir Galunggung mengandung komponen SiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 cukup tinggi yang dapat dimanfaatkan untuk pembuatan barang keramik halus. Dengan melihat kadar oksida besi (Fe_2O_3) yang terdapat di dalam pasir Galunggung cukup tinggi, menurut Norton (1961) bahwa komposisi badan keramik yang diteliti termasuk badan *basalt stoneware* yang artinya badan keramik berwarna gelap, yang mengandung komposisi feldspar plagioklas dan mineral ferromagnesia serta mengandung mineral aksesoris magnetite, apatite, kuarsa dan olivine. Bahan baku utama adalah pasir galunggung dari Tasikmalaya, sedangkan sebagai bahan baku tambahan adalah Felsfar Lodoyo, kaolin Belitung dan Clay Sukabumi. (*Subari, M. Sagala dan Edwin F, 1997*)

2.1.1 Proses Pembentukan Keramik

Ada dua proses dasar yang dikembangkan untuk pembentukan keramik. Pertama, menggunakan partikel halus yang dicampur dengan cairan atau pengikat, yang

kemudian diproses dengan pembakaran. Dalam hal ini langkah utama adalah penyiapan bahan, pembentukan dan pembakaran. Kedua, melelehkan material menjadi cairan dan kemudian membentuknya selama pendinginan dan pengerasan. Ini banyak diterapkan dalam pembentukan gelas. (*W.D. Kingery, 1975*)

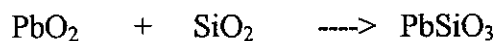
Tahapan proses terbentuknya keramik adalah sebagai berikut :

1) Dissosiasi

Yaitu proses peruraian bahan menjadi penyusun-penyusunnya karena perlakuan panas. Peristiwa ini misalnya : dehidrasi lempung, peruraian karbonat, sulfat, nitrat, oksida-oksida.

2) Reaksi Kombinasi

Senyawa-senyawa yang terjadi dari dissosiasi berkaitan menjadi senyawa kompleks. Contoh :



3) Sintering

Proses perlakuan panas yang mengubah massa serbuk menjadi massa yang kohesif tanpa terjadi pengembangan massa.

2.2. Kegiatan Pemboran

Pemboran adalah salah satu rangkaian kegiatan dalam kegiatan eksplorasi baik untuk industri migas maupun pertambangan. Untuk memperoleh minyak dan gas atau contoh bahan tambang, perlu adanya sumuran atau lubang yang dibuat dengan cara membor.

Pada saat ujung alat bor menembus batuan formasi, timbul serpihan (cutting). Serpihan ini diangkat dari dalam bumi ke permukaan. Lumpur pemboran disirkulasikan dari permukaan ke dalam "drilling string" ke dalam lubang bor, dan diwaktu lumpur kembali ke permukaan melalui annulus drilling string dan lubang, lumpur membawa serpihan-serpihan material (*Kaswir B, 1997*).

Adapun lumpur pemboran berfungsi untuk :

- mengangkat serpihan material ke permukaan,
- melumasi dan mendinginkan bit dan drill string,
- mengimbangi tekanan formasi, mengurangi sebagian berat drill string dan casing,

- menahan cutting dan material pemberat disaat sirkulasi dihentikan.

Sedangkan secara prinsip bahwa lumpur bor berfungsi memperoleh kontinuitas mengangkat serpihan batuan dari bawah tanah ke permukaan (*Sereda, 1977*).

Lumpur bor terdiri dari empat komponen utama yaitu cairan, reaktif solid, inert solid dan zat kimia. Komponen cairan dibuat dengan tujuan untuk membuat fluida yang mudah dipompakan. Cairan yang digunakan adalah air atau minyak. Reaktif solid merupakan komponen lumpur berupa padatan yang bereaksi dengan cairan. Adanya reaktif solid dalam lumpur pemboran untuk memberikan kekentalan (viskositas). Reaktif solid yang dicampurkan dengan air adalah bentonit. Makin banyak reaktif solid yang diberikan akan semakin kental. Sedangkan inert solid dicampur dalam larutan ini dimaksudkan untuk tidak terjadinya reaksi dengan material lain, akan tetapi untuk memberikan atau menaikkan berat jenis larutan. Contoh inert solid adalah barit. Bahan kimia dicampurkan dalam larutan bertujuan untuk mengatur sifat-sifat lumpur yang diinginkan.

2.3. Pengelolaan Lumpur Bekas Pemboran di Lapangan

Penggunaan lumpur bor dalam kegiatan pemboran, tidak dilakukan sekali pakai atau sekali alir namun melalui sirkulasi berulang kali mulai masuk lubang bor hingga keluar bersama cutting. Dalam proses sirkulasi dilakukan penanganan antara lain mempertahankan atau mengatur viskositas, berat jenis dan sebagainya sesuai yang diinginkan pada kondisi lapangan.

Lumpur bor yang keluar dari annulus bersama-sama dengan serpihan material (cutting) ternyata membawa ikutan material yang mengganggu operasi pemboran, di mana hal ini terlihat ketika masuk dalam bak kontrol, maka lumpur tersebut dialirkan ke dalam bak penampungan dan kemudian dikeluarkan lewat discharge ke tailing pond I. Dari tailing pond I, limbah lumpur mengalami pengendapan yang belum sempurna dan melalui saluran limpasan masuk ke tailing pond II. Limbah dalam tailing pond II dipompakan ke tanki pengangkut untuk dibawa ke IPAL. (*PT. Kimia Farma Mojokerto*)

Lumpur bor bekas di PT Kimia Farma Mojokerto telah dilakukan analisa berkaitan kandungan B3 adalah sebagai berikut (analisa lengkap terlampir) :

TABEL 1
HASIL ANALISA AIR YANG KELUAR DARI TAILING POND
LUMPUR BEKAS PEMBORAN

Parameter	Baku Mutu Limbah Cair Berdasarkan SK. Gub.No.136/1994	Sebelum dikelola
	Gol. II	
Kadmium (Cd)	0,05 mg/l	Nihil
Timbal (Pb)	0,5 mg/l	Nihil
Tembaga (Cu)	2 mg/l	0,04 mg/l
Seng (Zn)	10 mg/l	0,06 mg/l
Krom (Cr ⁶⁺)	0,1 mg/l	0,02 mg/l

Sumber : PT. Kimia Farma-Mojokerto

2.4. Pengelolaan Lumpur Bor berdasarkan Peraturan Perundangan

Pengelolaan lumpur bekas pemboran berdasarkan Peraturan Pemerintah No.18 Tahun 1999 tentang Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3). Adapun pengelolaan yang dilakukan adalah pengujian toksisitas.

Dalam pengolahan lumpur bekas dan serbuk bor, tidak terlepas dari awal pemilihan bahan dasar material dan sistem lumpur pemboran sebelum operasi pemboran dilakukan. Pemilihan bahan dan kriteria lumpur telah diuraikan pada bab sebelumnya, akan tetapi tetap perlu dilakukan pengujian toksitasi lumpur kandungan logam berat (Cd,Pb,Hg,Cu,Zn,Ba) termasuk senyawa yang mengandung Cr⁶⁺, pada saat lumpur siap dipakai (lumpur segar) atau akan dibuang.

Lumpur segar (fresh mud)

Untuk setiap sumur eksplorasi harus dilakukan pengambilan contoh lumpur untuk dilakukan pengujian kadar logam berat dan toksisitasnya. Apabila sistem lumpur yang sama digunakan untuk pemboran sumur eksplorasi lainnya, pengambilan contoh lumpur yang kedua ini tidak diperlukan apabila hasil pengujian yang pertama menunjukkan lumpur memenuhi standar dan tidak mengandung bahan beracun.

Untuk sumur-sumur pengembangan, tidak perlu dilaksanakan pengujian toksisitas dan logam berat selama sistem lumpur dan aditif yang dipakai adalah sama dengan sistem lumpur pada saat pemboran eksplorasi. Apabila sistem lumpur yang digunakan

berbeda, maka pengambilan contoh lumpur untuk dilakukan pengujian toksisitas dan kandungan logam beratnya perlu dilakukan.

Lumpur bekas dan serbuk bor.

Untuk sumur eksplorasi, perlu dilakukan pengambilan contoh lumpur pada saat mencapai kedalaman akhir ataupun pada saat pergantian sistem lumpur (apabila menggunakan dua sistem lumpur yang berbeda). Pada contoh ini kemudian dilakukan pengujian kandungan logam berat dan toksisitasnya. Apabila lumpur bekas ini akan dibuang harus dilaksanakan sesuai dengan prosedur yang akan diuraikan selanjutnya.

Untuk sumur-sumur pengembangan tidak perlu dilakukan pengambilan contoh lumpur bekas apabila sistem lumpur yang dipakai sama dengan lumpur pada saat eksplorasi yang sudah dilakukan uji toksisitas dan kandungan logam beratnya. Apabila sistem lumpur dan aditif yang digunakan berbeda maka uji ulang perlu dilakukan. Pembuangan lumpur bekas sumur-sumur pengembangan juga akan diuraikan lebih lanjut.

Pengambilan contoh serbuk bor dari shale shaker pada sumur eksplorasi harus dilakukan, terutama pada saat mencapai kedalaman akhir yang seterusnya dilakukan uji toksisitas dan kandungan logam beratnya. Apabila memungkinkan, diambil serpih dari setiap lapisan yang potensial.

Untuk sumur-sumur pengembangan tidak perlu dilakukan pengambilan contoh serbuk bor, kecuali jika hasil uji toksisitas dan logam berat pada saat eksplorasi menunjukkan serpih bor tersebut beracun.

Pengujian Lumpur Bekas dan Serbuk Bor di Darat.

Untuk mengetahui kadar kandungan logam berat dan zat organik dari lumpur bekas dan serbuk bor maka harus dilakukan pengukuran TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) dan Standard Louisiana B-29.

Apabila hasil pengukuran menunjukkan kadar toksisitas dan logam berat dari lumpur dan serbuk bor masih dibawah ambang batas yang ditentukan maka lumpur dan serbuk bor ini dapat dibuang langsung.

Pembuangan Limbah Pemboran di darat

Lumpur bekas dan serbuk bor yang akan dibuang harus terlebih dahulu diuji nilai toksisitasnya dan kadar logam beratnya. Bila hasil pengujian melampaui baku mutu, maka lumpur bekas dan serbuk bor harus diolah sampai memenuhi syarat-syarat pembuangan yang ditetapkan. Alternatif berikut ini dapat dipergunakan sebagai pedoman dasar pelaksanaan pengolahan dan pembuangan lumpur bekas dan serbuk bor.

Limbah Lumpur Air (WBM)

Menyiapkan dan merancang tempat penampungan limbah sesuai dengan jenis limbah yang diproses dan kondisi lokasi pemboran. Untuk lokasi dengan penyerapan air tanah yang tinggi, rawa, hutan lindung, kawasan suaka margasatwa dan lokasi-lokasi sensitif lainnya, perlu dibuat tangki penampungan khusus atau dengan melapisi pit penampung dengan bahan kedap air dengan jarak aman.

Melakukan pengolahan di penampungan limbah, yang antara lain meliputi :

a. Pemisahan limbah padat dan cair.

Pemisahan dilaksanakan didalam kolam penampungan dimana serbuk bersama lumpur bor yang terbuang dan ikutan lain ditampung untuk pertama kali. Limbah padat akan mengendap dan limbah cair dialirkan ke kolam penampungan berikutnya. Limbah padat yang mengendap secara berkala selanjutnya diangkat dan dibuang ketempat yang telah ditentukan (landfill) setelah memenuhi syarat pengujian toksisitas dan logam berat. Bila hasil pengujian masih diatas ambang batas yang ditentukan, maka dibutuhkan proses pengolahan lebih lanjut (antara lain solidifikasi).

b. Pemisahan minyak dari limbah cair :

Secara grafitasi lapisan minyak akan dipisahkan dari limbah cair lainnya. Minyaknya kemudian secara berkala diambil / diisap dengan skimmer untuk selanjutnya dibakar di tempat yang telah disediakan.

c. Pemisahan Benda Padat yang Terlarut :

Limbah cair yang telah dipisahkan dari minyak selanjutnya dialirkan ke kolam berikutnya untuk dilaksanakan pengendapan dan flokulasi dengan penginjeksian bahan kimia tertentu. Selanjutnya apabila bahan limbah cair

tersebut telah bersih dan memenuhi persyaratan standard air limbah dapat dibuang ke badan air.

Untuk limbah padat yang mengandung logam berat diatas ambang batas standard hasil pengujian toksisitasnya sebelumnya, maka limbah padat tersebut harus terlebih dahulu dicampurkan dengan semen atau resin (solidifikasi) sebelum dibuang ketempat tertentu (land fill).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian dilakukan bersifat eksplorasi secara eksperimental berskala laboratorium, yaitu mengkaji memanfaatkan material padatan lumpur bor limbah pemboran sebagai bahan baku tambahan membuat keramik.

3.2 Peralatan yang digunakan untuk penelitian

Peralatan yang digunakan untuk penelitian terdiri dari berbagai alat pendukung yaitu :

- Abrasive Mill, merk "Los Angeles Abrasion Machine" dengan 500 rpm untuk menggerus bahan,
- Ayakan standar ASTM ukuran 100 mesh, untuk mengayak bahan sesuai dengan ukuran yang ditetapkan, yakni ukuran butir yang lolos ayak # 100 mesh (*Industri Keramik Bethel Doea Malang*),
- Cetak benda uji, dirancang sendiri dengan memesan pembuatannya di tukang las. Adapun cetakan berbetuk persegi panjang dengan dimensi panjang 10 cm, lebar 4,5 cm dan tebal 1,5 cm. Sedangkan cetakan untuk pra penelitian dengan berbentuk tablet berdiameter 6,5 cm dengan tebal 1,5 cm.
- Timbangan duduk kecil, untuk menimbang bahan pada saat menetapkan komposisi bahan,
- Oven, untuk mengeringkan benda uji sebelum dilakukan pembakaran,
- Tungku (furnace), untuk membakar bahan dengan kemampuan bakar hingga 1100°C,
- dan lain-lain

Sedangkan untuk menguji hasil pembakaran yaitu :

- Alat pengukur kuat lentur
- Timbangan untuk mengukur berat basah dan berat kering saat menghitung penyerapan air.

3.3 Bahan Penelitian

Bahan baku utama yang digunakan adalah lempung yang diambil dari daerah Kasongan Bantul Jogjakarta, feldspar dari desa Clering Kecamatan Keling Kabupaten Jepara Jawa Tengah, Kaolin dari desa Kalidadap Kecamatan Wadaslintang Kabupaten Wonosobo Jawa Tengah. Sedangkan lumpur bekas pemboran yang akan dikaji berasal dari Watudakon, pada kegiatan pemboran tambang yodium PT. Kimia Farma, Mojokerta Jawa Timur.

3.4 Pengaruh Variabel Penelitian

Sebagai batasan masalah bahwa variabel yang ditetapkan dalam penelitian adalah komposisi bahan yakni prosen lumpur bor terhadap bahan standar, temperatur pembakaran dan lama waktu pembakaran. Parameter uji kualitas yang ditetapkan adalah kuat lentur dan penyerapan air.

3.5 Pengaruh Waktu Pembakaran

Komposisi bahan berupa prosentasi lumpur bor terhadap bahan standar yang divariasikan yakni 0 %, 10%, 20%, 30%, dan 40 % dibakar pada tungku (furnace) listrik dengan temperatur 800°C, 900°C dan 1000°C yang masing-masing dilakukan dalam waktu 2 jam, 3 jam dan 4 jam. Dengan waktu pembakaran tersebut akan mempengaruhi kualitas produk pada kuat lentur dan penyerapan air.

3.6 Pengaruh Temperatur Pembakaran

Sama halnya pada item 3.5 bahwa dengan lama waktu pembakaran yang sama dan temperatur pembakaran yang berbeda akan mempengaruhi kualitas produk pada kuat lentur dan penyerapan air.

3.7 Pengaruh Komposisi Bahan

Sama hal pada item 3.5 dan 3.6 maka masing-masing komposisi bahan dengan temperatur pembakaran dan lama waktu pembakaran akan mempengaruhi kualitas produk pada kuat lentur dan penyerapan air.

TABEL 2
PEMBAKARAN BENDA UJI

Komposisi Lumpur Bor thd Bahan Standard (Clay, Kaolin dan Felspar) (%)	Temperatur Pembakaran (°C)	Waktu Pembakaran (jam)
0 10 20 30 40	800	2
		3
		4
	900	2
		3
		4
	1000	2
		3
		4

3.8 Hipotesis

Dalam penelitian ini ingin memperoleh kebenaran bahwa lumpur bekas pemboran dapat untuk bahan tambahan pembuatan keramik, dengan menetapkan komposisi yaitu kandungan lumpur bor terhadap bahan standardnya lempung, kaolin dan felspar, temperatur pembakaran dan waktu pembakaran tertentu. Dari hasil pembakaran dilakukan uji kualitas yaitu kuat lentur dan penyerapan air. Dengan memvariasikan komposisi bahan, temperatur dan waktu pembakaran akan diperoleh nilai kualitas hasil pembakaran yang berbeda-beda pula. Dari uraian yang telah dikemukakan, maka penelitian ini dapat ditarik suatu hipotesa bahwa :

1. Komposisi bahan, temperatur pembakaran dan lama waktu bakar akan mempengaruhi terhadap kuat lentur dan penyerapan air.
2. Pada saat membakar, terjadi proses pemanasan yang akan menentukan kondisi hasil. Proses pemanasan yang cepat akan memberikan kecenderungan kondisi benda uji mengalami retak atau crack pecah karena pembentukan ikatan unsurnya tidak sempurna.

3.9 Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian mulai Maret hingga Mei 2003 dilakukan pada siang hari jam kerja 07.00 – 14.00 di Laboratorium Pudiklat Migas Cepu dan malam hari di rumah. Adapun tahapan pelaksanaan penelitian adalah : Tahap Persiapan, Tahap Penelitian Pendahuluan dan Tahap Penelitian.

3.10 Persiapan Penelitian

Bahan yang dipersiapkan untuk pembuatan keramik adalah :

- Lumpur Bor
- Lempung
- Kaolin
- Felspar

Bahan atau material yang digunakan untuk pembuatan keramik ini dilakukan analisa komposisi mineralnya serta untuk lumpur bor dilakukan uji kandungan toksisitasnya. Pada uji kandungan toksisitas tersebut, lumpur bor mengandung toksisitas di bawah Nilai Ambang Batas, sehingga produk yang diperoleh tidak perlu diuji kandungan toksisitasnya (hasil analisa terlampir).

Peralatan yang dipersiapkan adalah peralatan pendukung yang dimiliki oleh Laboratorium Pusdiklat Migas yaitu :

- Abrasive Mill untuk penggerus
- Alat Pengayak # 100 mesh
- Timbangan bahan
- Oven, alat pengering bahan sebelum dibakar
- Tungku (furnace) listrik
- Timbangan uji penyerapan air dengan ketelitian 0,01 gram
- Pengukur Kuat Lentur

Sedangkan peralatan yang lain adalah alat cetak dengan memesan pembuatannya di bengkel las, ember sebagai tempat menampung material, karpet plastik untuk alas mencampur serta peralatan lainnya.

Begitu pula persiapan metode uji yang diperlukan, penulis menghubungi Balai Keramik Bandung maupun Badan Standarisasi Nasional (BSN) Jakarta.

Metode Uji yang diperlukan :

- Kuat Lentur : SNI 15-0256-1989 Cara Penentuan Kuat Lentur Dalam Keadaan Kering dan Sesudah Pembakaran Bahan Mentah Keramik
- Penyerapan Air : SNI 03-4062-1996 Ubin lantai keramik berglasir
SNI 03-2095-1998 Genteng Keramik

3.11 Penelitian Pendahuluan

Dalam penelitian pendahuluan yang dilakukan adalah mencoba berulang-ulang guna menetapkan komposisi, temperatur dan lama waktu pembakaran serta prosedur pembuatannya. Penetapan variabel ini dilakukan baik mencoba sendiri, literatur maupun konsultasi dari berbagai sumber diantaranya pengrajin keramik Kasongan Bantul Jogjakarta maupun Dinoyo Malang Jawa Timur. Komposisi, temperatur dan waktu pembakaran yang ditetapkan adalah satu diantara sekian variasi, dimana untuk mengetahui atau memperoleh sampai sejauh mana lumpur bor tersebut dapat digunakan untuk bahan pengisi pembuatan keramik. Sedangkan uji produknya mengacu pada SNI.

Pada penelitian pendahuluan ini dicoba mengkomposisikan hingga 80 % lumpur bor terhadap bahan standar (65 % Lempung, 20 % Kaolin dan 15 % Felspar), (*Keramik Bethék Dóea, Dinoyo-Malang*). Namun hasil yang diperoleh, komposisi maksimum yang masih layak adalah maksimum 40 % lumpur bor, dengan temperatur 900°C dan lama waktu pembakaran 3 jam. Kenampakan fisik hasil pembakaran seperti pada bab Pembahasan

Sebagai langkah tahap penelitian ditetapkan variabel :

- Komposisi Lumpur Bor terhadap bahan standar : 0 %, 10 %, 20 %, 30 %, 40%
- Temperatur pembakaran : 800°C, 900°C dan 1000°C.
- Lama waktu pembakaran : 2 jam, 3 jam dan 4 jam.

TABEL 3
KOMPOSISI BAHAN

No.	Komposisi Bahan		Keterangan
	Lumpur bekas pemboran (%)	Material lain (Feldspar, Kaolin, Clay) (%)	
1	0	100	Komposisi Feldspar, Kaolin dan Clay ditetapkan 15% : 20% : 65%
2	10	90	
3	20	80	
4	30	70	
5	40	60	

3.12 Penelitian

Setelah tahap persiapan dan pendahuluan dilakukan, selanjutnya masuk ke tahap penelitian.

Langkah-langkah yang dilakukan :

- 1) Memperkecil ukuran material, dengan cara menggerus material. Alat yang digunakan Abrassives Mill.
- 2) Material diayak dengan ayakan listrik, dengan ukuran saringan # 100 mesh. Adapun material yang digerus dan diayak hanya Felspar. Sedangkan Lempung, Kaolin dan Lumpur Bor tidak digerus karena sesuai sifatnya bahwa jika bercampur dengan air menjadi lembek dan sangat halus dengan ukuran butir sekitar # 325 mesh.
- 3) Menetapkan komposisi bahan dengan menimbang bahan. Adapun langkah menghitung komposisi bahan adalah sebagai berikut :
Setiap benda uji dibuat 5 buah, dan setiap cetakan dapat dibagi menjadi 3 benda uji sesuai dimensi yang ada pada SNI Standar Uji Kuat Lentur dan Penyerapan Air sehingga masing-masing komposisi (0%, 10%, 20%, 30%, 40%) dengan variabel temperatur pembakaran 800°C, 900°C dan 1000°C dan waktu pembakaran 2 jam, 3 jam dan 4 jam, maka jumlah cetakan yang dibuat $3 \times 3 \times 3 = 27$ buah. Komposisi bahan yang ditetapkan adalah 65% Clay , 20% Kaolin dan 15% Feldspar. Ketiga bahan ini sebagai bahan standar (tanpa campuran lumpur bor) (*Industri Keramik Betek Doea, Malang*). Sedangkan Komposisi Bahan dalam penelitian ini adalah perbandingan antara Lumpur Bor dengan Bahan Standar

(Sesuai dalam data penelitian). Contoh perhitungan komposisi bahan pada lampiran.

- 4) Membuat Bodi Keramik, dengan cara mencampurkan air pada campuran material tersebut. Jumlah air yang dicampurkan diatur sedemikian rupa sehingga bodi keramik tersebut mudah dibentuk atau dicetak. Adapun pencampurannya dilumatkan dengan cara menginjak-injak, diremas-remas dan dibanting-banting seperti halnya pembuatan keramik/gerabah pada umumnya. Dalam penelitian ini diasumsikan bahwa homogenitas sama, yaitu setelah lebih kurang 20 menit dilumatkan sudah terasa pulen jika diremas-remas tangan.
- 5) Mencetak bahan, dengan alat cetak pres tangan (seperti pada gambar). Bentuk cetakan panjang 10 cm, lebar 4,5 cm dan tebal 1,5 cm. Setelah dipres, ukuran cetakan bahan uji sekitar : panjang 10 cm, lebar 4,5 cm dan tebal 1,3 cm.
- 6) Mengeringkan bahan tercetak, dengan cara mengangin-anginkan selama 48 jam.
- 7) Mengeringkan bahan tercetak selama 4 jam dalam oven listrik pada temperatur 110 °C.
- 8) Membakar bahan tercetak dalam furnace, dengan variasi komposisi, temperatur dan lama waktu pembakaran yang telah ditetapkan. Dalam membakar bahan, dilakukan pengaturan temperatur agar tidak terjadi kenaikan panas yang mendadak yaitu diatur secara bertahap. Pertama distel 200°C kemudian 400°C dan akhirnya pada temperatur yang ditetapkan. Setelah mencapai temperatur yang ditetapkan, pemanasan dilakukan kurang lebih 15 menit.
- 9) Uji hasil, dengan parameter Kuat Lentur dan Penyerapan Air .
 - Kuat Lentur diukur dengan alat Unconfined, di Laboratorium Teknik Sipil Pusdiklat Migas Cepu.
 - Penyerapan Air dihitung dengan prosentasi kandungan air yang terserap.

Adapun diagram alir seperti dalam lampiran.

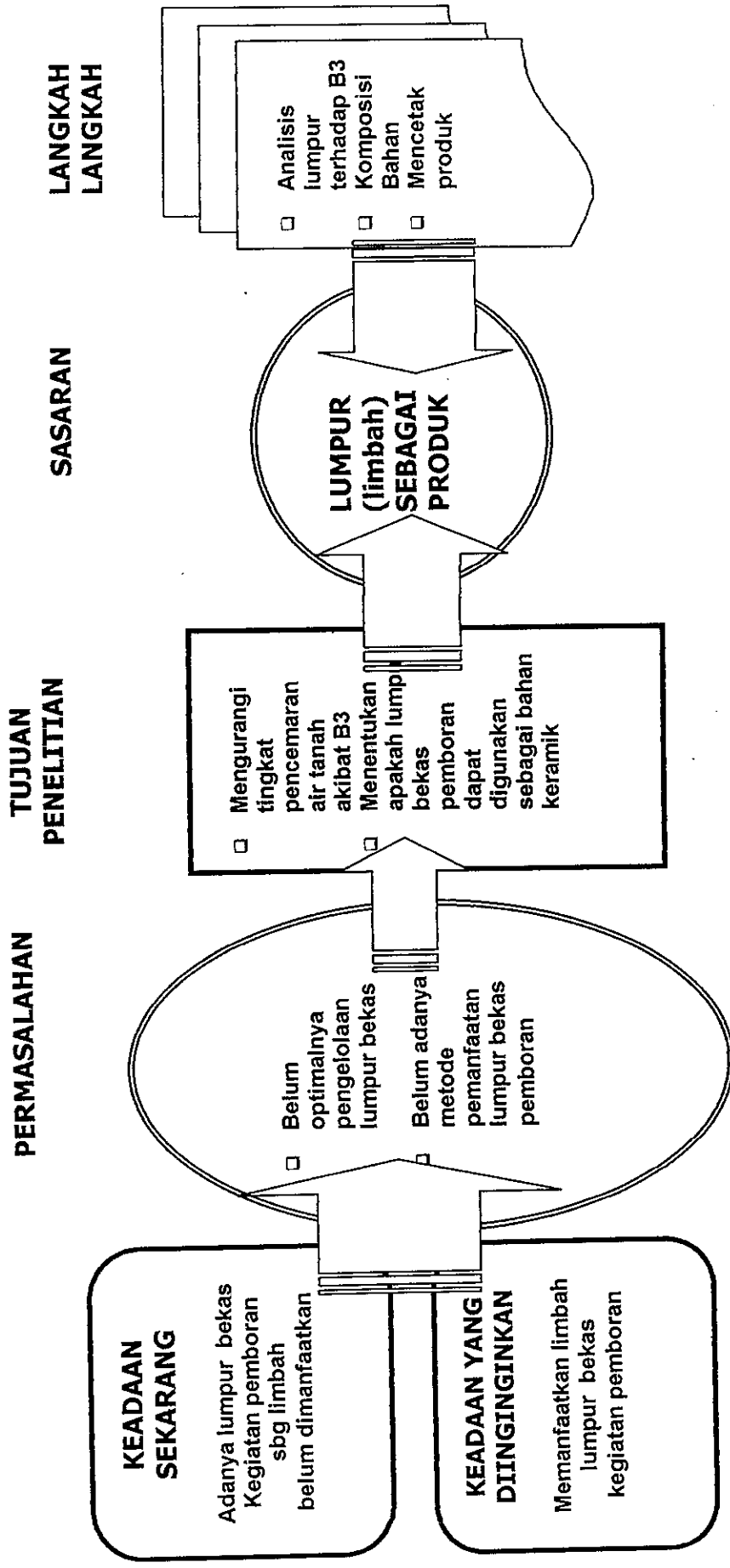
Hasil uji disajikan pada tabel 5. Sedangkan hasil secara keseluruhan disajikan pada Lampiran tabel 7 dan 8.

3.13 Alur Pikir

Alur pikir dalam kajian ini adalah upaya memperoleh nilai kemanfaatan apakah bisa bahwa lumpur bor bekas kegiatan pemboran baik pada industri migas maupun pertambangan, digunakan sebagai bahan baku industri keramik.

Adapun kondisi saat ini bahwa lumpur bor bekas kegiatan pemboran sebagai material limbah (waste material) pengelolaannya masih terbatas hanya ditampung dalam kolam pengendap (tailing pond I). Setelah mengalami pengendapan, maka air dan lumpur terpisah. Air melimpas melalui saluran limpasan (discharge) dan dialirkan ke tailing pond II. Dari tailing pond II material lumpur dipompakan ke tanki pengangkut untuk dibawa ke IPAL guna diolah lebih lanjut.

Dalam kajian ini masih terbatas pada mengkaji apakah lumpur bor bekas tersebut sebagai limbah dapat dijadikan bahan baku pembuatan keramik. Oleh karena itu, dalam kajian ini tidak memasukkan unsur nilai ekonomis atau tidak mempertimbangkan sinkronnya nilai *benefit* dan *costs*.



GAMBAR 1
ALUR PIKIR PERMASALAHAN

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 HASIL PENELITIAN

4.1.1 Uji Hasil

Uji hasil untuk kegiatan penelitian ini dilakukan uji TCLP dan dua parameter yaitu : Kuat Lentur (Standar Uji SNI-15-0256-1989) dan Penyerapan Air (Standar Uji SNI 02-4062-1996).

4.1.2 Uji TCLP

Untuk memperoleh kepastian tentang kandungan toksisitas terhadap lumpur (sebagai source), dilakukan uji TCLP di Laboratorium Pusdiklat Migas Cepu dan telah dinyatakan kandungan toksisitasnya di bawah Nilai Ambang Batas sehingga pada benda produknya tidak perlu lagi uji TCLP.

**TABEL 4
UJI TCLP LUMPUR**

No.	Parameter	Hasil Pengujian	
		Tanpa TCLP (mg/kg)	Proses TCLP (mg/l)
1.	Fe (Besi)	22.409,38	-
2.	Cu (Tembaga)	33,98	<LD
3.	Zn (Zink)	113,52	0,148
4.	Cr (Chromium)	118,2	<LD
5.	Cd (Cadmium)	<LD	<LD
6.	Pb (Timbal)	98,26	<LD
7.	Ba (Barium)	6666,17	<LD
8.	Al (Aluminium)	17.385,74	-
9.	Ca (Kalsium)	8.077,23	-
10.	Mg (Magnesium)	4841,41	-
11.	Na (Natrium)	12.105,99	-
12.	K (Kalium)	2.817,67	-
13.	SiO ₂ (Silikat)	419.621,70	-

Keterangan :

- = Tidak dianalisis

TCLP = Toxicity Characteristic Leaching Procedure

LD = Limit Deteksi

Cu = 0,003

Zn = 0,008

Cr = 0,006

Cd = 0,002

Pb = 0,010

Ba = 0,020

4.1.3 Kuat Lentur

Kuat lentur adalah hasil bagi dari momen lentur yang terbesar dengan momen perlawanan yang terjadi pada gaya lentur maksimum (gaya pada patahnya benda percobaan). Banyaknya benda uji paling sedikit 5 buah. Alat-alat yang digunakan adalah mesin pemotong keramik, vernier callipers serta lata penentuan gaya lentur.

Adapun cara mengujinya yaitu benda uji yang telah tercetak dan dibakar dipotong-potong dengan mesin pemotong keramik untuk memperoleh dimensi ukuran 10 cm x 1 cm x 1 cm. Pematahan dilakukan dengan mesin hidraulis, sehingga jarak antara kedua titik tumpu = 10 cm dan gaya lentur bekerja di tengah-tengah. Setelah benda uji patah, tebal (t) dan lebarnya (l) ditentukan dengan vernier callipers.

Kuat lentur tiap benda percobaan dihitung dengan rumus :

$$\frac{3xGxP}{2xlt^2} \text{ kg / cm}^2$$

dimana :

G = tekanan yang mematahkan benda uji (kg)

P = jarak tumpuan (cm)

l = lebar benda uji (cm)

t = tebal benda uji (cm)

4.1.4 Penyerapan Air

Penyerapan air adalah banyaknya air yang meresap dalam benda uji pada keadaan kering dan dinyatakan dalam % dari berat air terhadap berat benda uji. Alat-alat yang digunakan adalah neraca sampai ketepatan 0,01 gram dan alat pengering ($\pm 105^0\text{C}$).

Benda uji paling sedikit 5 buah.

Adapun cara mengujinya yaitu benda uji dibuat ukuran 4 cm x 4 cm x 1 cm. Benda uji dibersihkan dulu dari dengan penyikatan. Benda uji dikeringkan dalam oven pada temperatur 105⁰C sampai berat tetap. Berat dalam keadaan kering (a gram). Benda uji tersebut dimasukkan dalam tempat air dan dididihkan selama 2 jam. Setelah 2 jam mendidih, benda-benda uji dibiarkan menjadi dingin sampai suhu kamar dan masih tetap berada dibawah permukaan air. Kemudian tiap benda dilap dengan lap basah untuk menghilangkan air yang berlebihan dan ditimbang (b gram). Penyerapan air benda uji ditetapkan dengan rumus :

$$\frac{b-a}{a} \times 100\%$$

Hasil uji bahan seperti pada Tabel 5

4.1.4 Analisa Data

Data yang diperoleh dari pengujian benda produk dilakukan analisa secara deskriptif dengan melihat melalui grafik mengenai hubungan komposisi bahan (% lumpur terhadap bahan standar) dengan yield yaitu kuat lentur (kg/cm²) dan penyerapan air (%). Dalam grafik ditunjukkan 2 (dua) aspek yaitu :

- Pengaruh temperatur pembakaran (800°, 900° dan 1000° C) pada waktu pembakaran (2, 3 dan 4 jam) terhadap kuat lentur
- Pengaruh temperatur pembakaran (800°, 900° dan 1000° C) pada waktu pembakaran (2, 3 dan 4 jam) terhadap penyerapan air

Grafik dari masing-masing analisa ditunjukkan pada grafik 1 dan 2.

Sedangkan Hasil Kenampakan Fisik disajikan pada Lampiran.

TABEL 5
HASIL UJI

Komposisi Bahan (%)	Temperatur Pembakaran (°C)	Waktu Pembakaran (jam)	Kuat Lentur (kg/cm ²)	Penyerapan Air (%)
0	800	2	57	17,31
		3	63	17,92
		4	70	18,86
	900	2	76	18,15
		3	63	18,90
		4	61	18,01
	1000	2	137	17,27
		3	96	15,21
		4	107	15,83
10	800	2	47	15,64
		3	70	19,08
		4	81	19,09
	900	2	79	18,24
		3	95	18,06
		4	75	17,22
	1000	2	86	16,44
		3	105	17,09
		4	136	16,93
20	800	2	51	16,69
		3	77	18,27
		4	78	18,11
	900	2	115	17,20
		3	137	17,34
		4	78	17,02
	1000	2	134	15,84
		3	143	15,11
		4	150	16,99
30	800	2	58	17,76
		3	96	14,92
		4	112	13,23
	900	2	46	16,94
		3	86	17,53
		4	68	16,98
	1000	2	73	14,23
		3	86	15,29
		4	112	15,37
40	800	2	46	15,56
		3	125	16,29
		4	105	13,30
	900	2	92	16,79
		3	136	18,41
		4	70	17,98
	1000	2	71	15,55
		3	89	15,72
		4	40	15,01

Keterangan : Perolehan data uji seperti terlihat pada Lampiran .

5.2 PEMBAHASAN

5.2.1 Uji TCLP

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No.18 Tahun 1999 tentang Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, lumpur bekas pemboran dikategorikan sebagai limbah B3. Adapun lumpur bekas pemboran masuk kategori limbah B3 karena dalam lumpur bor terdapat unsur Ba (Barium) sehingga dalam pengelolaannya harus dilakukan pembuktian apakah limbah tersebut mengandung B3 atau tidak. Penanganannya dengan uji toksisitas atau TCLP.

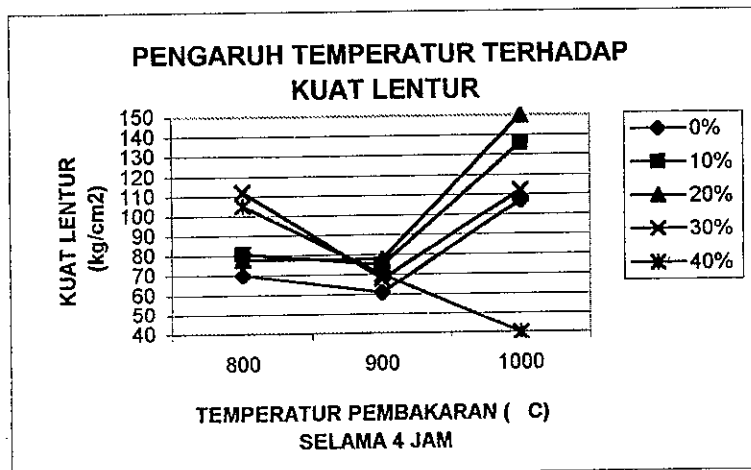
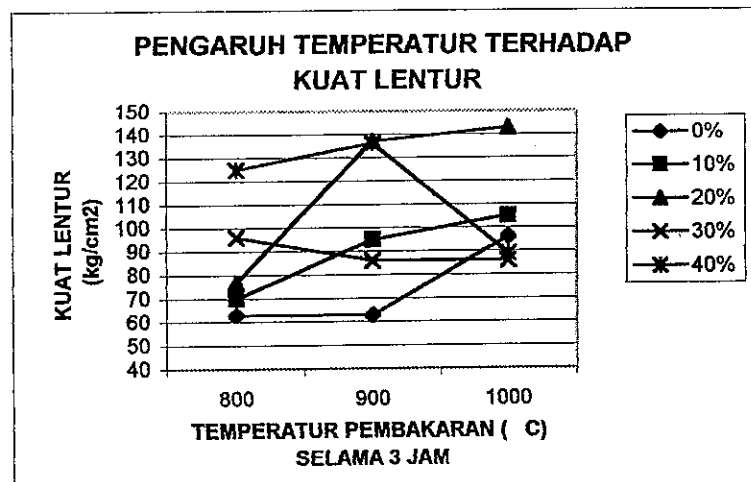
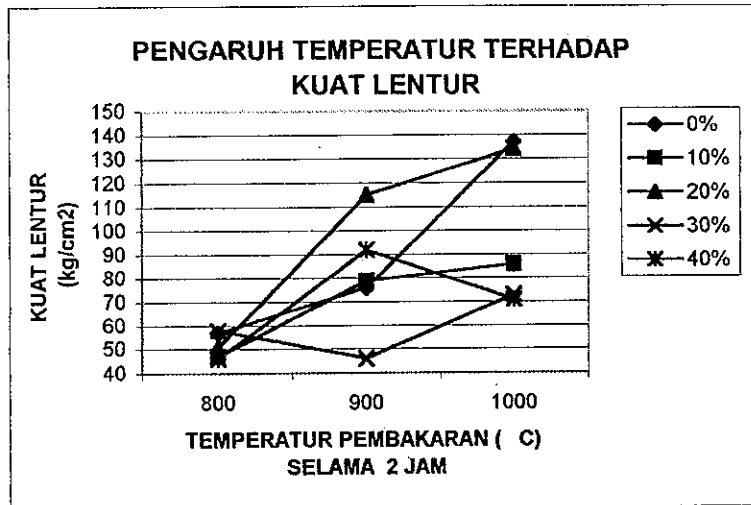
Sebelum dilakukan penelitian, lumpur bor tersebut telah diuji TCLP di Laboratorium Pusdiklat Migas Cepu. Adapun hasil uji tersebut seperti pada Tabel menunjukkan bahwa lumpur bor tersebut masih relatif jauh di bawah NAB, yakni bahwa unsur Zn (Zink) masuk kategori dibawah limit deteksi (<LD), Cr (Chromium) 0,148 mg/l dimana baku mutunya 50 mg/l, Cd (Cadmium) berkategori (<LD), Pb (Timbal) berkategori (<LD), dan Ba (Barium) berkategori (<LD) sehingga layak aman untuk digunakan sesuai peruntukan.(Lembar Hasil Uji terlampir).

Untuk produk penelitian, benda uji tidak perlu lagi dilakukan uji TCLP.

5.2.2 Analisis Data Hasil Penelitian

5.2.2.1 Pengaruh Komposisi Bahan, Temperatur dan Waktu Pembakaran terhadap Kuat Lentur

Dengan komposisi lumpur bor terhadap bahan standar, temperatur pembakaran dan waktu bakar seperti pada tabel 5 dapat digambarkan grafik pengaruh temperatur dan waktu pembakaran terhadap kuat lentur, seperti terlihat pada Grafik 1 .



Gr. 1. Pengaruh Temperatur Terhadap Kuat Lentur



Data hasil uji yang tercantum pada lampiran bahwa :

Y = kuat lentur, kg/cm^2

X_1 = komposisi lumpur, %

X_2 = temperatur bakar, $^{\circ}\text{C}$

X_3 = waktu bakar, jam

Dari perhitungan regresi didapatkan rumus secara umum sebagai berikut :

$$Y = 0,0567X_1 + 0,143X_2 + 5,833X_3 - 58,933 \dots\dots\dots(5.1)$$

Dari rumus tersebut dapat diberikan penjelasan sebagai berikut :

- Nilai koefisien antar variabel X_1 , X_2 dan X_3 nampak bahwa X_1 relatif kecil sehingga pengaruhnya sangat kecil terhadap nilai kuat lentur (Y). Sedangkan nilai koefisien X_2 dan X_3 cukup berpengaruh terhadap nilai kuat lentur. Sehingga dalam persamaan ini temperatur bakar (X_2) dan waktu bakar (X_3) yang paling berpengaruh terhadap nilai kuat lentur.
- Nilai R square adalah 0,188. Hal ini berarti bahwa 18,8 % hasil pembakaran dalam hal ini kuat lentur dipengaruhi oleh temperatur bakar dan waktu bakar. Sedangkan 81,2 % disebabkan oleh masalah lain.
- Dari uji ANOVA atau F test didapat F mempunyai tingkat signifikansi 0,034. Oleh karena 0,034 lebih kecil dari 0,05 maka persamaan yang diperoleh dapat digunakan untuk memprediksi hasil pembakaran bahan keramik tersebut.

5.2.2.2 Faktor Prosedur Perlakuan

Dari Grafik 1 secara umum dapat dilihat bahwa nilai kuat lentur yang diperoleh menunjukkan gambaran yang tak berpola. Hal ini dapat dinyatakan bahwa benda uji hasil pembakaran tidak homogen atau heterogen. Adapun heterogennya benda uji antara lain karena :

- campuran yang diperoleh memang tidak memiliki sifat kristalin atau amorf tidak bertekstur,
 - perlakuan pencampuran yang tidak sama karena dilakukan secara manual.
- Perlakuan atau prosedur pembuatan tidak sama terjadi pada :
- proses pencampuran (kondisi kering) kurang homogen,
 - penuangan air yang tidak merata
 - pelumatan yang kurang sempurna saat menginjak-injak adonan atau
 - lama waktu menginjak-injak tidak sama.

5.2.2.3 Faktor Proses Pemanasan/Pembakaran

Kondisi heterogen juga dapat timbul saat proses pembakaran, yakni letak benda uji terhadap sentuhan panas oleh dinding tungku pembakaran (furnace). Yang langsung kena panas oleh dinding furnace (flame stone) akan berbeda kondisinya dibanding yang bagian bawah karena terhalang oleh alas pemanasan (pan) yang terbuat dari baja.

Namun ada fenomena yang dapat dicatat bahwa dengan peningkatan temperatur pembakaran dan waktu bakar menunjukkan nilai kuat lentur yang semakin besar. Hal ini diawali pada temperatur 800°C dengan waktu bakar 2 jam merupakan kondisi proses pembakaran yang belum optimal, dimana ditunjukkan pada nilai kuat lentur yang paling rendah. Setelah ditingkatkan waktu bakar serta temperaturnya, menunjukkan nilai kuat lenturnya naik. Namun hal ini tidak dialami pada komposisi 40% lumpur, bahwa pada temperatur 1000°C mengalami penurunan nilai kuat lentur baik pada waktu bakar 2 jam, 3 jam maupun 4 jam. Hal ini terjadi karena untuk mencapai temperatur 1000°C selama 2 jam, 3 jam dan 4 jam termasuk proses yang cepat, sehingga tidak terjadi proses ikatan unsur secara sempurna dengan tingginya kandungan lumpur bor.

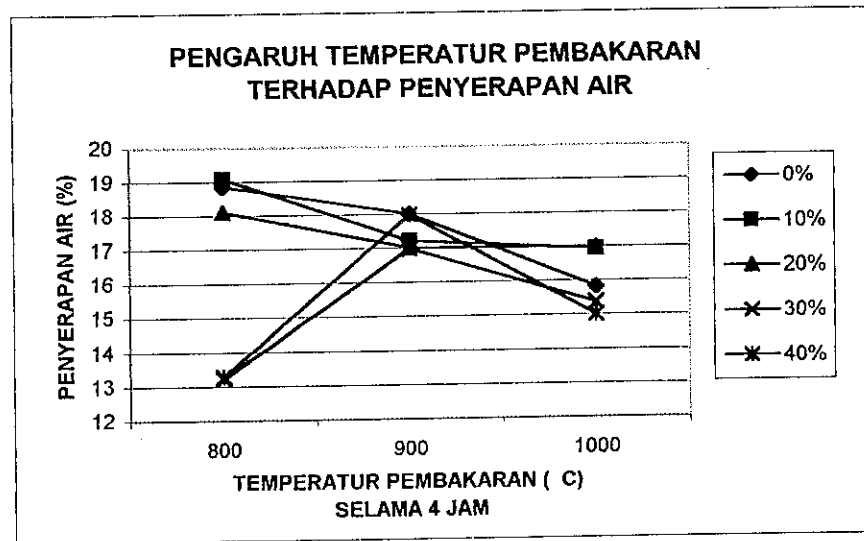
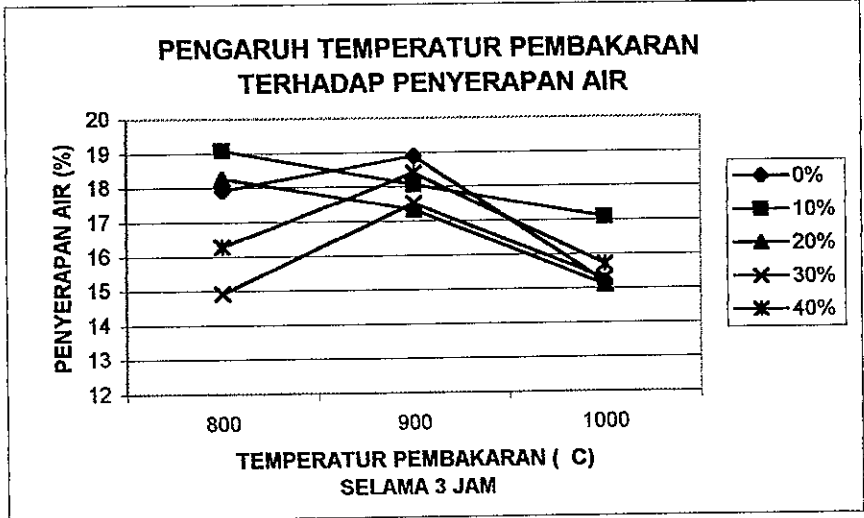
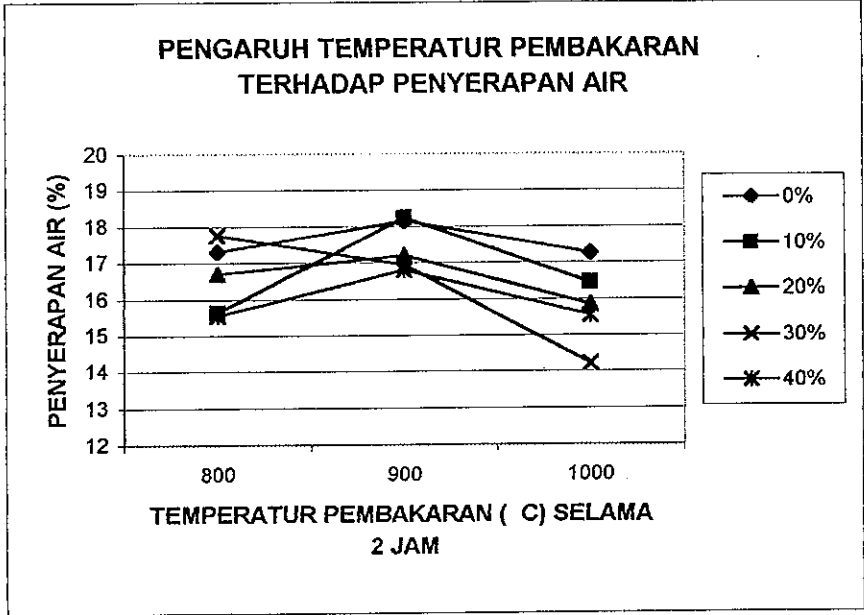
Pada proses pembakaran terjadi dalam tahapan :

- penguapan air dari benda uji
- reaksi

Disini dipengaruhi oleh kecepatan pemanasan. Dalam arti bahwa $\frac{dT}{dt}$ -- kecepatan pemanasan berbeda mempengaruhi kinetika dan koefisien muai.

5.2.2.4 Pengaruh Komposisi Bahan, Temperatur dan Waktu Pembakaran terhadap Penyerapan Air

Dengan komposisi lumpur bor terhadap bahan standar, temperatur pembakaran dan waktu bakar seperti pada tabel 5 dapat digambarkan grafik pengaruh temperatur dan waktu pembakaran terhadap penyerapan air, seperti terlihat pada Grafik 2 .



Data hasil uji yang tercantum pada lampiran bahwa :

Y = penyerapan air, %

X₁ = komposisi lumpur, %

X₂ = temperatur bakar, °C

X₃ = waktu bakar, jam

Dari perhitungan regresi didapatkan rumus secara umum sebagai berikut :

$$Y = -0,458X_1 - 0,000472X_2 + 0,017X_3 + 21,90 \dots\dots\dots(5.2)$$

Dari rumus tersebut dapat diberikan penjelasan sebagai berikut :

- Nilai koefisien antar variabel X₁, X₂ dan X₃ nampak bahwa X₂ dan X₃ relatif kecil sehingga pengaruhnya sangat kecil terhadap nilai penyerapan air (Y). Sedangkan nilai koefisien X₁ cukup berpengaruh terhadap nilai kuat lentur. Sehingga dalam persamaan ini komposisi lumpur (X₁) yang paling berpengaruh terhadap nilai penyerapan air.
- Nilai R square adalah 0,273. Hal ini berarti bahwa 27,3 % hasil pembakaran dalam hal ini penyerapan air dipengaruhi oleh komposisi lumpur. Sedangkan 72,7 % disebabkan oleh masalah lain.
- Dari uji ANOVA atau F test didapat F mempunyai tingkat signifikansi 0,004. Oleh karena 0,004 lebih kecil dari 0,05 maka persamaan yang diperoleh dapat digunakan untuk memprediksi hasil pembakaran bahan keramik tersebut

5.2.2.5 Faktor Prosedur Perlakuan

Seperti halnya pada Grafik 1, bahwa pada Grafik 2 untuk nilai penyerapan air juga menunjukkan tidak membentuk suatu pola atau trend tertentu di masing-masing kurva. Hal ini menyatakan kalau benda uji hasil pembakaran berkondisi tidak homogen. Homogenitas dipengaruhi oleh faktor perlakuan ketika membuat benda uji mulai dari pencampuran hingga pencetakan.

Tidak homogenya benda uji berakibat antara lain :

- adanya air yang terjebak
- kondisi porous yang tidak sama
- pencampuran tidak sempurna

Sehingga penyerapan terhadap air oleh benda uji dengan variabel yang sama memberikan nilai penyerapan yang tidak sama atau tidak dapat diketahui trendnya.

5.2.2.6 Faktor Proses Pemanasan/Pembakaran

Proses pemanasan dan pembakaran juga ikut mempengaruhi tingkat homogenitas benda uji hasil pembakaran. Diantaranya adalah letak atau posisi benda uji ketika dibakar. Artinya bahwa yang langsung kena panas oleh bara dinding furnace berbeda dengan yang tidak langsung kena panas, misalnya yang tersekat oleh alas (pan) baja sebagai wadahnya. Atau, posisi benda uji apakah berada di pinggir atau di tengah. Ada fenomena kurva yang dapat dicatat bahwa pada setiap kenaikan komposisi lumpur dalam temperatur dan waktu bakar tertentu mengalami peningkatan mutu penyerapan air dalam hal ini semakin rendah nilainya. Hal ini dapat terjadi karena semakin tinggi kandungan lumpurnya akan terjadi ikatan unsur yang baik sehingga memperkecil porositas hasil pembakaran dan akhirnya memperkecil nilai penyerapan air.

5.2.2.7 Hubungan Kuat Lentur dengan Penyerapan Air

Dari data hasil penelitian yang kemudian dituangkan dalam grafik, dari kurva yang mencolok ada kecenderungan bahwa pada kuat lentur yang tinggi maka penyerapan airnya rendah. Sebaliknya, kuat lentur yang rendah maka penyerapannya tinggi. Secara fisik dapat diterima, karena penyerapan air tinggi berarti lebih porous sehingga kekuatannya lebih kecil dibandingkan dengan yang tidak porous.

5.2.3 Kenampakan Fisik

Dari hasil penelitian bahwa benda uji dapat didiskripsi mengenai kenampakan fisik setelah dilakukan pembakaran. Adapun data kenampakan fisik benda seperti dalam Tabel pada lampiran.

Sebagai bahan standard dalam hal ini komposisi bahan tanpa kandungan lumpur bor menunjukkan bahwa secara umum berwarna coklat gelap dan tidak menunjukkan adanya retak atau crack. Hal ini menjadi titik awal menilai kualitas benda uji tersebut.

Begitu pula pada kandungan lumpur bor sebesar 10% dari bahan standard tadi, hasilnya masih menunjukkan relatif tidak jauh berbeda dengan kenampakan pada bahan standar. Disini belum menunjukkan adanya retak atau crack.

Sedangkan pada kandungan lumpur 20 % sudah mulai mengalami perubahan kenampakan, yakni dari coklat gelap ke cerah. Temperatur pembakara 800°C masih

utuh tanpa retak. Untuk Temperatur 900°C benda tersebut jika diketuk-ketuk bersuara lebih nyaring dari pada campuran sebelumnya. Kenyaringan suara ini masih ada pada pembakaran 1000°C.

Pada kandungan lumpur 30 %, warna sudah beralih lagi coklat kusam namun tetap tanpa retak. Hal ini pada kondisi yang sama hingga temperatur pembakaran 900°C pada waktu bakar 3 jam. Temperatur 900°C dan waktu bakar 4 jam sudah mulai muncul sedikit retak dan warnanya coklat. Kondisi ini tetap hingga pembakaran 1000°C.

Sedangkan pada kandungan 40 % lumpur, kondisi utuh nampak pada pembakaran 800°C. Setelah naik 900°C, muncul retak dengan warna coklat lebih pucat. Untuk pembakaran 1000°C, waktu bakar 2 jam masih sedikit retak, dan waktu bakar 3 dan 4 jam benda sudah menunjukkan kearah rapuh.

5.2.3.1 Hubungan Warna dengan Komposisi

Pada kenampakan fisik ditengarai bahwa warna benda produk mengalami perubahan dari coklat gelap hingga warna coklat pucat sebanding dengan komposisi kandungan lumpur bor terhadap bahan standard. Hal ini dikarenakan bahwa lumpur bor yang terdiri dari material Bentonit yang memiliki komposisi mineral utama Montmorilonite dengan rumus kimia ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) bila diamati memiliki ciri-ciri : kilap lilin, plastis, berwarna pucat dengan kenampakan putih, hijau muda, kelabu. Sehingga, semakin tinggi komposisi lumpur bor terhadap bahan standard akan berpengaruh terhadap warna benda produk, yaitu warnanya semakin kearah warna terang.

5.2.3.2 Hubungan Warna dengan Temperatur

Secara fisik bahwa warna dapat dipengaruhi pula oleh temperatur namun tidak berhubungan langsung. Diketahui bahwa lumpur bor memiliki unsur dominan yakni Al (aluminium), Fe (Besi), dan SiO_2 (Silikat). Setelah bercampur Lempung, Feldspar dan Kaolin semakin dominan Silikatnya. Sedangkan terkena temperatur tinggi, silikat paling bertahan dan warnanya menunjukkan kearah yang cerah. Dari kenampakan fisik benda uji menunjukkan bahwa semakin tinggi komposisi yang diberikan dan temperatur bakar yang dilakukan, warna benda menuju coklat cerah.

5.2.3.3 Hubungan Komposisi dan Kondisi Fisik

Begitu pula dengan munculnya crack atau retakan pada benda produk, juga dipengaruhi dengan jumlah kandungan lumpur bor tersebut. Sebagai sifat dari lempung montmorilonit bahwa bila bercampur dengan air akan menghisap air dan mengalami pengembangan sebesar delapan kali (*Asril Riyanto, 1994*). Dari sifat tersebut berpengaruh pada kondisi campuran benda produk. Pada komposisi tertentu akan melewati kekompakan antara campuran lumpur bor dengan bahan standar. Begitu melewati jumlah campuran pada kondisi kompak, sifat montmorilonit mulai menunjukkan bahwa setelah kering menimbulkan rekahan dan mempengaruhi kondisi campuran bahan tersebut. Dalam hal ini, crack atau rekahan muncul pada komposisi lumpur 30% terhadap bahan standar setelah dibakar pada temperatur 900°C dengan waktu bakar mulai 3 jam. Atau, pada komposisi tersebut menunjukkan bahwa saat pembentuk benda uji, sifat swelling yang cukup significant dari bentonit muncul, sehingga mulai saat pembentukannya sudah memiliki kondisi leman. Akhirnya setelah dibakar menjadi porous dan penyerapan airnya kearah yang lebih tinggi.

Retakan atau crack muncul karena melemahnya ikatan fisik yang diakibatkan oleh suhu tinggi dimana maupun proses pemanasan tinggi yang terlalu singkat. Selain crack, juga terjadinya molekul yang menyusut. Hal ini dapat dikatakan bahwa dengan temperatur tinggi, molekul menyusut dan porous meningkat sehingga penyerapan air juga meningkat.

5.2.3.4 Hubungan Kenyaringan dan Porous

Adapun suara nyaring pada benda produk dimiliki pada komposisi 20% lumpur bor dengan temperatur bakar 900°C dan 1000°C pada waktu bakar 3 dan 4 jam, hal ini dikarenakan kondisi kompak campuran lumpur dan bahan standar. Pada grafik ditunjukkan bahwa meskipun kompak atau tidak porous, angka penyerapan air antara 15-18%. Hal ini dimungkinkan ada kandungan lumpur (bentonit) yang tidak merata.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dengan mempelajari pada uraian-uraian sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa :

- 1) Setelah melakukan analisa unsur dan uji Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP), maka lumpur bekas pemboran relatif kecil potensi pencemaran terhadap lingkungan (Hasil analisa dan uji TCLP terlampir).
- 2) Dalam kajian terhadap lumpur bekas pemboran, dinyatakan bahwa *Lumpur Bekas Pemboran dapat sebagai bahan baku tambahan atau pengisi pembuatan Keramik*. Adapun hasil kajian sebagai berikut :
 - Dengan kandungan lumpur yang efektif maksimal 30%, maka produk keramik dapat mengurangi tingkat pencemaran limbah B3 dimana sebanyak 30% bahan diperoleh dari lumpur bekas pemboran.
 - Pengaruh Komposisi Bahan, Temperatur dan Waktu Pembakaran terhadap Kuat Lentur dan Penyerapan Air , bahwa ketiga waktu pembakaran (2, 3 dan 4 jam) dengan temperatur pembakaran (800°, 900° dan 1000°C) tidak menunjukkan nilai pada pola tertentu. Hal ini dipengaruhi oleh homogenitas benda uji, dimana homogenitas diakibatkan oleh faktor perlakuan (treatment) yang tidak diukur.
 - Ada kecenderungan bahwa proses pemanasan yang cepat menyebabkan munculnya retak/crack. Sedangkan pemanasan yang lambat benda uji berkondisi utuh.
 - Pada kuat lentur yang tinggi, penyerapan air rendah dan kuat lentur rendah, penyerapan air tinggi.
 - Produk hasil pembakaran dengan Penyerapan Air 14 % (> 10) dan Kuat Lentur 150 kg/cm² (120 < X < 180) maka hasil uji masuk kategori *Keramik Earthenware (Gerabah Keras) berdasarkan SNI 03-4062-1996*.

6.2 Saran

Dengan dapat digunakannya lumpur bekas pemboran untuk bahan tambahan pembuatan keramik, maka disarankan :

- 1) Karena tingkat homogenitas sangat berpengaruh terhadap kualitas, setiap perlakuan (prosedur) harus terukur ketika membuat benda uji .
- 2) Perlu kajian lebih lanjut terhadap lumpur bekas pemboran pada berbagai lokasi kegiatan pemboran di Indonesia.
- 3) Perlu adanya penelitian lebih lanjut dengan mempertimbangkan benefit dan cost.

DAFTAR PUSTAKA

1. Asril Riyanto, 1994, Bahan Galian Industri – “Bentonite”, Dirjen Pertambangan Umum – Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral, Bandung.
2. Badu, K., 2001, Lumpur bor, Bahan Kuliah, Pusdiklat Migas, Cepu.
3. Badu, K., 1987, Pengantar Ilmu Migas – Bor, Dep. Pertambangan dan Energi, Pusdiklat Migas, Cepu.
4. Frida A., Retno P., 2002, Pemanfaatan Cangkang Bekicot Sebagai Bahan Baku Glasir, Laporan Penelitian, Yogyakarta.
5. Ginting, P., 1992, Mencegah dan mengendalikan pencemaran industri, Pusaka Sinar Harapan, Jakarta.
6. Kingery, W.D., 1975, Introduction to Ceramics, A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, New York.
7. Sereda N.G., Solovgov E.M., 1977, Drilling of Oil and Gas Well, MIR Publisher, Moscow.
8. Subari, M. Sagala, F. Edwin., 1997, Pembuatan Keramik Basalt Stoneware dari Bahan Baku Utama Pasir Galunggung, Bahan Galian Industri, Vol.1.
9. Standar Nasional Indonesia, SNI 15-0256-1989 Cara Penentuan Kuat Lentur Dalam Keadaan Kering dan Sesudah Pembakaran Bahan Mentah Keramik.
10. Standar Nasional Indonesia, SNI 03-4062-1996 Ubin Lantai Keramik Berglasir.
11. Singgih, H., 2001, Pengelolaan lingkungan di sektor industri Migas, Makalah, K3LL-Direktorat Pengembangan Pertamina.

KAJIAN TERHADAP LUMPUR BEKAS PEMBORAN (LIMBAH B3) UNTUK BAHAN PENGISI PEMBUATAN KERAMIK

RINGKASAN

1. Pendahuluan

Industri minyak dan gas bumi secara umum meliputi kegiatan hulu (eksplorasi dan produksi), kegiatan hilir (pemurnian/pengolahan, petrokimia dan penyediaan kebutuhan BBM) dan kegiatan transportasi minyak. Kegiatan operasi minyak dan gas bumi berdampak penting terhadap lingkungan, baik positif maupun negatif. Dampak positif yang timbul dari kegiatan migas adalah berkembangnya perekonomian setempat, pembangunan wilayah setempat, transfer teknologi, budaya setempat dan sebagainya. Sedangkan dampak negatif yang timbul, dari sekian dampak mulai hulu dan hilir, diantaranya adalah dampak yang ditimbulkan pada kegiatan pemboran baik eksplorasi maupun produksi yaitu adanya limbah berupa lumpur bekas pemboran.

Adapun manfaat penelitian adalah untuk memperoleh kemungkinan penggunaan lumpur bor bekas kegiatan pemboran yang dianggap sebagai material limbah dan berpotensi mencemari lingkungan menjadi material produk yang berguna.

Adapun tujuan penelitian adalah :

- mengurangi tingkat pencemaran air tanah akibat B3
- menentukan apakah lumpur bekas pemboran dapat digunakan sebagai bahan baku keramik.

2. Tinjauan Pustaka

"Ceramics as the art and science of making and using solid articles wich have as their essential component, and are composed in large part of, inorganic nonmetallic materials" (W.D. Kingery, 1975)

Keramik sebagai karya seni dan ilmu pengetahuan, yang terbuat dan menggunakan material padat dengan keutamaan komponennya dan dikomposisikan dalam bagian besar material non metal anorganik.

Definisi ini meliputi tidak hanya material seperti tembikar atau pecah belah, porselin, refractory, gelas, tetapi juga material magnetic non metal, ferroelektrik, gelas-keramik dan produk sejenis lainnya.

Dalam industri, bahan bentonite yang memiliki komposisi mineral utama *montmorilonit* ($Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot x H_2O$) dapat sebagai bahan untuk pembuatan

keramik (*Laviosa*).

Pasir Galunggung salah satu bahan yang dimuntahkan dari hasil letusan gunung api di daerah Tasikmalaya hingga sekarang pasir ini digunakan untuk pembuatan paving block, genteng beton dan sebagai pasir adukan. Dalam data analisa kimia ternyata pasir Galunggung mengandung komponen SiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 cukup tinggi yang dapat dimanfaatkan untuk pembuatan barang keramik halus. Bahan baku utama adalah pasir galunggung dari Tasikmalaya, sedangkan sebagai bahan baku tambahan adalah Felsfar Lodoyo, kaolin Belitung dan Clay Sukabumi. (*Subari, M. Sagala dan Edwin F, 1997*)

3. Metoda Penelitian

Penelitian dilakukan secara eksperimental berskala laboratorium, yaitu mengkaji memanfaatkan material padatan lumpur bor limbah pemboran sebagai bahan baku tambahan membuat keramik.

Sebagai batasan masalah bahwa variabel yang ditetapkan dalam penelitian adalah komposisi bahan yakni prosen lumpur bor terhadap bahan standar, temperatur pembakaran dan lama waktu pembakaran. Parameter uji kualitas yang ditetapkan adalah kuat lentur dan peresapan air (porositas).

Komposisi bahan berupa prosentasi lumpur bor terhadap bahan standar yang divariasikan yakni 0 %, 10%, 20%, 30%, dan 40 % dibakar pada tungku (furnace) listrik dengan temperatur 800°C, 900°C dan 1000°C yang masing-masing dilakukan dalam waktu 2 jam, 3 jam dan 4 jam. Dengan waktu pembakaran tersebut akan mempengaruhi kualitas produk pada kuat lentur dan penyerapan air.

4. Hasil Penelitian

Uji hasil untuk kegiatan penelitian ini dilakukan uji TCLP dan dua parameter yaitu : Kuat Lentur (Standar Uji SNI-15-0256-1989) dan Penyerapan Air (Standar Uji SNI 02-4062-1996).

Untuk memperoleh kepastian tentang kandungan toksisitas terhadap lumpur (sebagai source), dilakukan uji TCLP di Laboratorium Pusdiklat Migas Cepu dan dinyatakan kandungan toksisitasnya di bawah Nilai Ambang Batas sehingga pada benda produknya tidak perlu lagi uji TCLP.

Kuat lentur adalah hasil bagi dari momen lentur yang terbesar dengan momen perlawanan yang terjadi pada gaya lentur maksimum (gaya pada patahnya benda

percobaan). Banyaknya benda uji paling sedikit 5 buah. Alat-alat yang digunakan adalah mesin pemotong keramik, vernier callipers serta lata penentuan gaya lentur.

Adapun cara mengujinya yaitu benda uji yang telah tercetak dan dibakar dipotong-potong dengan mesin pemotong keramik untuk memperoleh dimensi ukuran 10 cm x 1 cm x 1 cm. Pematahan dilakukan dengan mesin hidraulis, sehingga jarak antara kedua titik tumpu = 10 cm dan gaya lentur bekerja di tengah-tengah. Setelah benda uji patah, tebal (t) dan lebarnya (l) ditentukan dengan vernier callipers.

Kuat lentur tiap benda percobaan dihitung dengan rumus :

$$\frac{3xGxP}{2xlt^2} \text{ kg/cm}^2$$

dimana :

G = tekanan yang mematahkan benda uji (kg)

P = jarak tumpuan (cm)

l = lebar benda uji (cm)

t = tebal benda uji (cm)

Penyerapan air adalah banyaknya air yang meresap dalam benda uji pada keadaan kering dan dinyatakan dalam % dari berat air terhadap berat benda uji. Alat-alat yang digunakan adalah neraca sampai ketepatan 0,1 gram dan alat pengering ($\pm 105^{\circ}\text{C}$). Benda uji paling sedikit 5 buah.

Adapun cara mengujinya yaitu benda uji dibuat ukuran 4 cm x 4 cm x 1 cm. Benda uji dibersihkan dulu dari dengan penyikatan. Benda uji dikeringkan dalam oven pada temperatur 105°C sampai berat tetap. Berat dalam keadaan kering (a gram). Benda uji tersebut dimasukkan dalam tempat air dan dididihkan selama 2 jam. Setelah 2 jam mendidih, benda-benda uji dibiarkan menjadi dingin sampai suhu kamar dan masih tetap berada dibawah permukaan air. Kemudian tiap benda dilap dengan lap basah untuk menghilangkan air yang berlebihan dan ditimbang (b gram).

Penyerapan air benda uji ditetapkan dengan rumus :

$$\frac{b-a}{a} \times 100\%$$

Data yang diperoleh dari pengujian benda produk dilakukan analisa secara deskriptif dengan melihat melalui grafik mengenai hubungan komposisi bahan (% lumpur terhadap bahan standar) dengan yield yaitu penyerapan air (%) dan kuat lentur (kg/cm^2). Dalam grafik ditunjukkan 2 (dua) aspek yaitu :

- Pengaruh temperatur pembakaran (800° , 900° dan 1000° C pada 2, 3 dan 4 jam) terhadap kuat lentur dan penyerapan air

5. Pembahasan Masalah

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No.18 Tahun 1999 tentang Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, lumpur bekas pemboran dikategorikan sebagai limbah B3 sehingga dalam pengelolaannya harus dilakukan pembuktian apakah limbah tersebut mengandung B3 atau tidak. Penanganannya dengan uji toksisitas atau TCLP.

Sebelum dilakukan penelitian, lumpur bor tersebut diuji TCLP di Laboratorium Pusdiklat Migas Cepu. Adapun hasil uji tersebut seperti pada Tabel menunjukkan bahwa lumpur bor tersebut masih relatif jauh di bawah NAB sehingga layak aman untuk digunakan sesuai peruntukan

Dari Grafik 1 secara umum dapat dilihat bahwa nilai kuat lentur yang diperoleh menunjukkan gambaran yang tak berpola. Hal ini dapat dinyatakan bahwa benda uji hasil pembakaran tidak homogen atau heterogen. Adapun heterogennya benda uji antara lain karena :

- campuran yang diperoleh memang tidak memiliki sifat kristalin atau amorf tidak bertekstur,
- perlakuan pencampuran yang tidak sama karena dilakukan secara manual.

Perlakuan atau prosedur pembuatan tidak sama terjadi pada :

- proses pencampuran (kondisi kering) kurang homogen,
- penuangan air yang tidak merata
- pelumatan yang kurang sempurna saat menginjak-injak adonan atau
- lama waktu menginjak-injak tidak sama.

Kondisi heterogen juga dapat timbul saat proses pembakaran, yakni letak benda uji terhadap sentuhan panas oleh dinding tungku pembakaran (furnace). Yang langsung kena panas oleh dinding furnace (flame stone) akan berbeda kondisinya dibanding yang bagian bawah karena terhalang oleh alas pemanasan (pan) yang terbuat dari baja.

Ada fenomena yang dapat dicatat bahwa dengan peningkatan temperatur pembakaran dan waktu bakar menunjukkan nilai kuat lentur yang semakin besar. Hal ini diawali pada temperatur 800°C dengan waktu bakar 2 jam merupakan kondisi proses pembakaran yang belum optimal, dimana ditunjukkan pada nilai kuat lentur yang paling rendah. Setelah ditingkatkan waktu bakar serta temperaturnya, menunjukkan nilai kuat lenturnya naik. Namun hal ini tidak dialami pada komposisi 40% lumpur, bahwa pada temperatur 1000°C mengalami penurunan nilai kuat lentur baik pada waktu bakar 2 jam, 3 jam maupun 4 jam. Hal ini terjadi karena untuk mencapai temperatur 1000°C selama 2 jam, 3 jam dan 4 jam termasuk proses yang cepat, sehingga tidak terjadi proses ikatan unsur secara sempurna dengan tingginya kandungan lumpur bor.

Seperti halnya pada Grafik 1, bahwa pada Grafik 2 untuk nilai penyerapan air juga menunjukkan tidak membentuk suatu pola atau trend tertentu di masing-masing kurva. Hal ini menyatakan kalau benda uji hasil pembakaran berkondisi tidak homogen. Homogenitas dipengaruhi oleh faktor perlakuan ketika membuat benda uji mulai dari pencampuran hingga pencetakan.

Tidak homogenya benda uji berakibat antara lain :

- adanya air yang terjebak
- kondisi porous yang tidak sama
- pencampuran tidak sempurna

Sehingga penyerapan terhadap air oleh benda uji dengan variabel yang sama memberikan nilai penyerapan yang tidak sama atau tidak dapat diketahui trendnya.

Proses pemanasan dan pembakaran juga ikut mempengaruhi tingkat homogenitas benda uji hasil pembakaran. Diantaranya adalah letak atau posisi benda uji ketika dibakar. Artinya bahwa yang langsung kena panas oleh bara dinding furnace berbeda dengan yang tidak langsung kena panas, misalnya yang tersekat oleh alas (pan) baja sebagai wadahnya. Atau, posisi benda uji apakah berada di pinggir atau di tengah.

Ada fenomena kurva yang dapat dicatat bahwa pada setiap kenaikan komposisi lumpur dalam temperatur dan waktu bakar tertentu mengalami peningkatan mutu penyerapan air dalam hal ini semakin rendah nilainya. Hal ini dapat terjadi karena semakin tinggi kandungan lumpurnya akan terjadi ikatan unsur yang baik sehingga

memperkecil porositas hasil pembakaran dan akhirnya memperkecil nilai penyerapan air.

Dari data hasil penelitian yang kemudian dituangkan dalam grafik, dari kurva yang mencolok ada kecenderungan bahwa pada kuat lentur yang tinggi maka penyerapan airnya rendah. Sebaliknya, kuat lentur yang rendah maka penyerapannya tinggi. Secara fisik dapat diterima, karena penyerapan air tinggi berarti lebih porous sehingga kekuatannya lebih kecil dibandingkan dengan yang tidak porous.

Pada kenampakan fisik ditengarai bahwa warna benda produk mengalami perubahan dari coklat gelap hingga warna coklat pucat sebanding dengan komposisi kandungan lumpur bor terhadap bahan standard. Hal ini dikarenakan bahwa lumpur bor yang terdiri dari material Bentonit yang memiliki komposisi mineral utama Montmorilonite dengan rumus kimia ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) bila diamati memiliki ciri-ciri : kilap lilin, plastis, berwarna pucat dengan kenampakan putih, hijau muda, kelabu. Sehingga, semakin tinggi komposisi lumpur bor terhadap bahan standard akan berpengaruh terhadap warna benda produk.

6. Kesimpulan

Dengan mempelajari pada uraian-uraian sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa :

- 1) Setelah melakukan analisa unsur dan uji Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP), maka lumpur bekas pemboran relatif kecil potensi pencemaran terhadap lingkungan (Hasil analisa dan uji TCLP terlampir).
- 2) Dalam kajian terhadap lumpur bekas pemboran, dinyatakan bahwa *Lumpur Bekas Pemboran dapat sebagai bahan baku tambahan atau pengisi pembuatan Keramik*. Adapun hasil kajian sebagai berikut :
 - Dengan kandungan lumpur yang efektif maksimal 30%, maka produk keramik dapat mengurangi tingkat pencemaran limbah B3 dimana sebanyak 30% bahan diperoleh dari lumpur bekas pemboran.
 - Pengaruh Komposisi Bahan, Temperatur dan Waktu Pembakaran terhadap Kuat Lentur dan Penyerapan Air , bahwa ketiga waktu pembakaran (2, 3 dan 4 jam) dengan temperatur pembakaran (800° , 900° dan 1000°C) tidak menunjukkan nilai pada pola tertentu. Hal ini dipengaruhi oleh homogenitas

benda uji, dimana homogenitas diakibatkan oleh faktor perlakuan (treatment) yang tidak diukur.

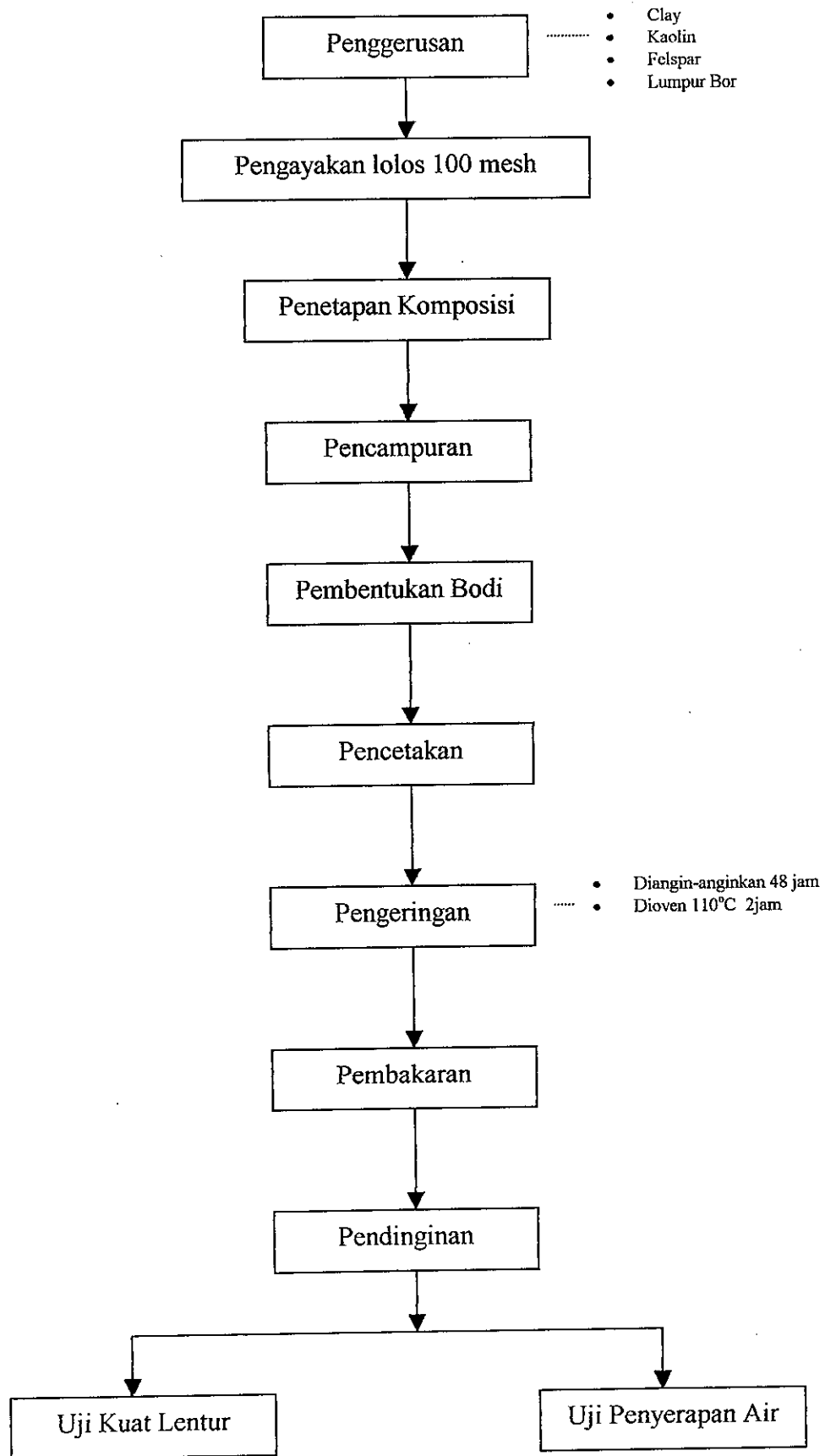
- Ada kecenderungan bahwa proses pemanasan yang cepat menyebabkan munculnya retak/crack. Sedangkan pemanasan yang lambat benda uji berkondisi utuh.
- Pada kuat lentur yang tinggi, penyerapan air rendah dan kuat lentur rendah, penyerapan air tinggi.

6.2 Saran

Dengan dapat digunakannya lumpur bekas pemboran untuk bahan tambahan pembuatan keramik, maka disarankan :

- 1) Karena tingkat homogenitas sangat berpengaruh terhadap kualitas, setiap perlakuan (prosedur) harus terukur ketika membuat benda uji .
- 2) Perlu kajian lebih lanjut terhadap lumpur bekas pemboran pada berbagai lokasi kegiatan pemboran di Indonesia.
- 3) Perlu adanya penelitian lebih lanjut dengan mempertimbangkan benefit dan cost.

Diagram Alir Penelitian



TABEL 0
KENAMPAKAN FISIK BENDA UJI

Komposisi Bahan (%)	Temperatur Pembakaran (°C)	Waktu Pembakaran (jam)	Kenampakan Fisik
0	800	2	Coklat tua, tanpa retak
		3	Coklat tua, tanpa retak
		4	Coklat tua, tanpa retak
		2	Coklat tua, tanpa retak
	900	3	Coklat tua, tanpa retak
		4	Coklat tua, tanpa retak
		2	Coklat tua, tanpa retak
		3	Coklat tua, tanpa retak
	1000	2	Coklat tua, tanpa retak
		3	Coklat tua, tanpa retak
		4	Coklat tua, tanpa retak
		2	Coklat tua, tanpa retak
10	800	3	Coklat tua, tanpa retak
		4	Coklat tua, tanpa retak
		2	Coklat tua, tanpa retak
		3	Coklat tua, tanpa retak
	900	2	Coklat tua, tanpa retak
		3	Coklat tua, tanpa retak
		4	Coklat tua, tanpa retak
		2	Coklat tua, tanpa retak
	1000	2	Coklat tua, tanpa retak
		3	Coklat tua, tanpa retak
		4	Coklat tua, tanpa retak
		2	Coklat tua, tanpa retak
20	800	2	Coklat tua; tanpa retak
		3	Coklat tua-cerah; tanpa retak
		4	Coklat tua-cerah; tanpa retak
		2	Coklat tua; tanpa retak
	900	3	Coklat tua-cerah, tanpa retak, nyaring
		4	Coklat tua-cerah, tanpa retak, nyaring
		2	Coklat cerah, tanpa retak, nyaring
		3	Coklat cerah, tanpa retak, nyaring
	1000	3	Coklat cerah, tanpa retak, nyaring
		4	Coklat cerah, tanpa retak, nyaring
		2	Coklat cerah; tanpa retak
		3	Coklat cerah; tanpa retak
30	800	4	Coklat cerah, tanpa retak
		2	Coklat, tanpa retak
		3	Coklat, tanpa retak
		4	Coklat, sedikit retak
	900	2	Coklat, sedikit retak
		3	Coklat, sedikit retak
		4	Coklat sedikit retak
		2	Coklat pucat; tanpa retak
	1000	3	Coklat pucat; tanpa retak
		4	Coklat pucat; tanpa retak
		2	Coklat pucat; tanpa retak
		3	Coklat pucat, sedikit retak
40	800	4	Coklat pucat, sedikit retak
		2	Coklat pucat, sedikit retak
		3	Coklat pucat, sedikit retak
		4	Coklat pucat, sedikit retak
	900	2	Coklat pucat, retak
		3	Coklat pucat, retak
		4	Coklat pucat, retak
		2	Coklat pucat, retak
	1000	3	Coklat pucat, retak
		4	Coklat pucat, retak
		2	Coklat pucat, retak
		3	Coklat pucat, retak

TABEL 7
UJI PENYERAPAN AIR

Kompo sisi (%)	Temperatur Pembakaran (°C)	Waktu Pembakaran (Jam)	Berat Kering (a gram)					Berat Basah (b gram)					Penyerapan Air (b-a)/a x 100%													
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6			
0	800	2	31,12	30,14	29,17	29,42	30,52	36,70	35,56	34,38	34,36	35,79	16,67	17,98	17,86	16,79	17,26	17,31	17,31	17,31	17,31	17,31	17,31	17,31	17,31	
		3	36,56	36,79	37,78	40,51	37,14	42,56	43,61	44,78	47,95	43,75	16,41	18,54	18,53	18,36	17,79	17,92	17,92	17,92	17,92	17,92	17,92	17,92	17,92	17,92
		4	38,81	41,33	38,85	38,61	41,07	46,04	49,16	45,86	43,34	48,74	18,63	18,94	18,04	20,02	18,67	18,86	18,86	18,86	18,86	18,86	18,86	18,86	18,86	18,86
		2	31,04	33,85	28,76	30,34	28,11	36,67	39,96	33,98	35,89	33,22	18,13	18,05	18,15	18,29	18,17	18,15	18,15	18,15	18,15	18,15	18,15	18,15	18,15	18,15
		3	38,29	40,49	28,95	32,42	34,26	45,57	48,14	34,42	38,60	40,65	19,01	18,89	18,89	19,06	18,85	18,90	18,90	18,90	18,90	18,90	18,90	18,90	18,90	18,90
	1000	2	27,40	24,46	23,67	28,22	25,47	32,43	28,70	27,52	33,11	29,83	18,35	17,33	16,26	17,33	17,11	17,27	17,27	17,27	17,27	17,27	17,27	17,27	17,27	17,27
		3	37,67	32,75	31,04	38,35	33,14	43,51	37,79	35,66	44,41	38,20	15,51	15,39	14,88	15,02	15,26	15,21	15,21	15,21	15,21	15,21	15,21	15,21	15,21	15,21
		4	28,47	31,85	30,76	31,44	30,53	33,34	37,18	35,18	36,21	35,36	17,10	16,73	14,36	15,17	15,82	15,83	15,83	15,83	15,83	15,83	15,83	15,83	15,83	15,83
		2	30,93	27,17	30,41	30,63	31,24	35,02	32,08	35,03	35,35	36,33	13,22	18,07	15,19	15,41	16,31	15,64	15,64	15,64	15,64	15,64	15,64	15,64	15,64	15,64
		3	40,03	28,96	19,66	38,61	30,15	47,73	35,34	34,41	45,48	35,89	19,23	22,03	16,01	19,08	19,05	19,08	19,08	19,08	19,08	19,08	19,08	19,08	19,08	19,08
10	800	4	34,08	40,26	31,86	32,44	31,12	40,59	49,75	37,97	38,35	36,38	19,10	23,57	17,61	18,24	16,93	19,09	19,09	19,09	19,09	19,09	19,09	19,09	19,09	19,09
		2	28,54	28,8	31,88	29,32	31,63	33,74	34,08	37,68	34,64	37,42	18,22	18,33	18,19	18,16	18,31	18,24	18,24	18,24	18,24	18,24	18,24	18,24	18,24	
		3	29,22	29,54	31,38	33,42	33,12	34,78	34,83	36,91	39,54	38,87	19,04	17,92	17,63	18,32	17,39	18,06	18,06	18,06	18,06	18,06	18,06	18,06	18,06	18,06
		4	28,86	27,02	28,11	29,02	28,91	34,15	31,94	33,26	34,33	33,19	18,32	16,55	18,32	18,29	14,82	17,22	17,22	17,22	17,22	17,22	17,22	17,22	17,22	
		2	27,33	26,38	31,04	30,23	30,83	31,81	30,74	36,14	35,01	36,07	16,39	16,52	16,43	15,84	17,02	16,44	16,44	16,44	16,44	16,44	16,44	16,44	16,44	16,44
	1000	3	39,79	39,67	38,56	38,72	36,44	46,63	46,41	45,59	45,51	42,17	17,19	16,99	18,24	17,30	15,73	17,09	17,09	17,09	17,09	17,09	17,09	17,09	17,09	17,09
		4	29,33	29,18	28,46	28,19	28,82	34,28	34,09	33,33	33,27	33,37	16,87	16,82	17,11	18,04	15,81	16,93	16,93	16,93	16,93	16,93	16,93	16,93	16,93	
		2	33,85	27,03	26,53	32,64	27,35	38,53	31,74	31,53	37,77	31,35	13,82	17,42	18,84	15,72	14,65	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	
		3	37,24	28,11	30,76	37,77	30,62	44,70	33,22	36,39	44,03	36,21	20,03	18,18	18,3	16,57	18,27	18,27	18,27	18,27	18,27	18,27	18,27	18,27	18,27	
		4	39,11	41,62	41,66	38,37	38,44	46,23	49,12	49,30	45,24	45,38	18,2	18,02	18,34	17,91	18,08	18,11	18,11	18,11	18,11	18,11	18,11	18,11	18,11	
20	800	2	31,52	28,90	27,57	27,48	28,63	36,96	33,79	32,38	32,37	33,37	17,25	16,92	17,44	17,83	16,56	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	
		3	38,42	38,58	36,84	36,22	33,4	45,27	45,08	42,89	42,34	39,63	17,83	16,85	16,44	16,91	18,67	17,34	17,34	17,34	17,34	17,34	17,34	17,34	17,34	
		4	25,46	28,71	28,62	27,39	29,36	30,12	33,29	33,32	32,07	34,43	18,31	15,96	16,45	17,11	17,27	17,02	17,02	17,02	17,02	17,02	17,02	17,02	17,02	
		2	27,65	31,36	29,05	29,31	31,37	32,06	36,36	33,59	33,89	36,27	15,94	15,96	15,62	16,04	15,64	15,84	15,84	15,84	15,84	15,84	15,84	15,84	15,84	
		3	37,88	41,20	45,46	43,02	41,23	43,52	47,53	52,26	49,59	47,45	4,88	15,35	14,95	15,27	15,1	15,11	15,11	15,11	15,11	15,11	15,11	15,11	15,11	
	1000	4	27,68	30,10	30,53	28,65	28,24	32,18	35,14	36,06	33,53	33,01	16,25	16,61	18,11	17,06	16,92	16,99	16,99	16,99	16,99	16,99	16,99	16,99	16,99	
		2	30,24	28,01	29,24	30,13	30,24	35,43	33,26	33,71	35,56	36,15	17,16	18,74	15,28	18,04	14,65	17,76	17,76	17,76	17,76	17,76	17,76	17,76	17,76	
		3	42,14	38,11	28,72	30,64	30,82	49,08	44,37	33,25	35,52	34,02	16,46	16,42	15,77	11,03	14,92	14,92	14,92	14,92	14,92	14,92	14,92	14,92	14,92	
		4	35,27	37,13	37,41	36,54	36,67	39,57	41,26	42,65	41,52	42,23	12,19	11,12	14,03	13,64	15,17	13,23	13,23	13,23	13,23	13,23	13,23	13,23	13,23	
		2	30,84	32,76	32,98	32,63	33,83	36,05	38,24	38,63	38,25	39,45	16,89	16,81	17,13	17,23	16,64	16,94	16,94	16,94	16,94	16,94	16,94	16,94	16,94	
30	800	3	37,46	31,15	29,24	35,58	35,27	43,85	36,26	35,12	41,48	41,80	17,05	17,09	16,87	16,39	16,53	16,98	16,98	16,98	16,98	16,98	16,98	16,98	16,98	
		4	23,38	33,87	30,64	30,48	33,69	28,41	39,66	35,81	35,47	39,25	18,02	17,09	16,87	16,39	16,53	16,98	16,98	16,98	16,98	16,98	16,98	16,98	16,98	
		2	27,22	32,40	26,38	27,40	27,28	31,45	36,36	30,40	31,57	30,89	15,54	11,91	15,23	15,22	13,25	14,23	14,23	14,23	14,23	14,23	14,23	14,23	14,23	
		3	40,28	40,81	40,17	37,25	38,37	46,59	46,18	47,19	42,78	44,27	15,66	13,15	17,47	14,84	15,39	15,29	15,29	15,29	15,29	15,29	15,29	15,29	15,29	
		4	23,13	26,96	25,60	26,87	25,38	31,17	29,49	30,96	30,96	29,31	15,30	15,61	15,19	15,24	15,51	15,37	15,37	15,37	15,37	15,37	15,37	15,37	15,37	
	900	2	29,61	28,34	32,61	31,28	31,32	34,38	32,78	37,48	36,29	36,03	16,10	15,66	14,93	16,04	15,07	15,56	15,56	15,56	15,56	15,56	15,56	15,56	15,56	
		3	39,0	39,85	38,56	39,14	39,21	46,36	45,80	44,82	45,83	45,28	17,66	14,93	16,26	17,11	15,49	16,29	16,29	16,29	16,29	16,29	16,29	16,29	16,29	
		4	40,22	40,33	39,43	38,52	38,19	46,61	44,66	44,42	44,12	43,02	15,88	10,73	12,66	14,56	12,67	13,30	13,30	13,30	13,30	13,30	13,30	13,30	13,30	
		2	35,65	19,85	36,72	34,54	20,76	41,90	22,89	43,05	40,15	24,42	17,53	15,31	17,23	16,23	17,65	16,79	16,79	16,79	16,79	16,79	16,79	16,79	16,79	
		3	36,06	31,59	29,81	37,17	30,68	42,55	37,56	34,97	44,27	36,44	18,01	18,9	17,3	19,04	18,80	18,41	18,41	18,41	18,41	18,41	18,41	18,41	18,41	
1000	4	31,19	27,99	28,92	31,25	28,87	36,68	32,86	33,94	37,16	37,78	17,60	18,99	17,35	18,93	17,98	17,98	17,98	17,98	17,98	17,98	17,98	17,98	17,98		
	2	39,02	32,41	28,53	38,13	32,43	45,12	37,82	43,66	43,66	37,80	15,63	16,69	14,33	14,52	16,58	15,55	15,55	15,55	15,55	15,55	15,55	15,55	15,55		
	3	40,61	31,76	27,38	44,67	30,55	47,04	36,80	31,77	51,45	35,34	15,83	15,86	16,03	15,17	15,72	15,72	15,72	15,72	15,72	15,72	15,72	15,72	15,72		
	4	63,48	27,63	26,32	49,32	48,44	73,01	32,35	30,24	56,85	54,83	15,01	17,1	14,9	14,82	13,21	15,01	15,01	15,01	15,01	15					

UJI KUAT LENTUR

KOMPOSISI	TEMPERATUR PEMBAKARAN (°C)	WAKTU PEMBAKARAN (jam)	KUAT LENTUR					
			kg/cm ²					Rerata
			1	2	3	4	5	
0	800	2	64	53	53	56	60	57
		3	62	55	71	59	71	63
		4	82	54	76	65	75	70
	900	2	81	67	85	71	78	76
		3	71	71	65	50	59	63
		4	56	64	60	60	67	61
	1000	2	133	109	172	129	142	137
		3	92	99	96	92	103	96
		4	103	128	99	106	103	107

KOMPOSISI	TEMPERATUR PEMBAKARAN (°C)	WAKTU PEMBAKARAN (jam)	KUAT LENTUR					
			kg/cm ²					Rerata
			1	2	3	4	5	
10	800	2	46	49	42	53	46	47
		3	53	59	94	77	71	70
		4	65	91	80	87	82	81
	900	2	78	81	81	85	74	79
		3	71	115	109	98	82	95
		4	81	67	81	78	71	75
	1000	2	106	98	76	54	98	86
		3	109	109	111	98	101	105
		4	135	135	142	138	131	136

KOMPOSISI	TEMPERATUR PEMBAKARAN (°C)	WAKTU PEMBAKARAN (jam)	KUAT LENTUR					
			kg/cm ²					Rerata
			1	2	3	4	5	
20	800	2	56	64	53	42	42	51
		3	62	87	81	87	71	77
		4	76	82	94	65	76	78
	900	2	110	120	106	124	117	115
		3	106	130	164	142	147	137
		4	78	92	64	85	73	78
	1000	2	120	118	170	120	142	134
		3	145	149	149	131	145	143
		4	142	160	145	156	149	150

KOMPOSISI	TEMPERATUR PEMBAKARAN (°C)	WAKTU PEMBAKARAN (jam)	KUAT LENTUR					
			kg/cm ²					Rerata
			1	2	3	4	5	
30	800	2	35	78	49	64	64	58
		3	115	87	65	103	109	96
		4	87	116	88	129	142	112
	900	2	56	28	46	49	53	46
		3	62	98	77	109	87	86
		4	35	88	71	53	66	68
	1000	2	71	85	64	71	78	73
		3	38	111	109	87	87	86
		4	106	128	99	120	110	112

KOMPOSISI	TEMPERATUR PEMBAKARAN (°C)	WAKTU PEMBAKARAN (jam)	KUAT LENTUR					
			kg/cm ²					Rerata
			1	2	3	4	5	
40	800	2	32	74	32	53	42	46
		3	121	123	130	111	142	125
		4	85	130	106	104	103	105
	900	2	106	78	85	92	99	92
		3	123	154	131	142	131	136
		4	78	64	74	67	71	70
	1000	2	64	71	78	78	67	71
		3	71	91	87	106	94	89
		4	24	53	46	42	35	40

TABEL 9
DATA HASIL UJI

No	Kuat Lentur (kg/cm ²) (Y ₁)	Penyerapan Air (%) (Y ₂)	Komposisi Lumpur (%) (X ₁)	Temperatur Bakar (°C) (X ₂)	Waktu Bakar (jam) (X ₃)
1	57	17,31	0	800	2
2	63	17,92	0	800	3
3	70	18,86	0	800	4
4	76	18,15	0	900	2
5	63	18,90	0	900	3
6	61	18,01	0	900	4
7	137	17,27	0	1000	2
8	96	15,21	0	1000	3
9	107	15,83	0	1000	4
10	47	15,64	10	800	2
11	70	19,08	10	800	3
12	81	19,09	10	800	4
13	79	18,24	10	900	2
14	95	18,06	10	900	3
15	75	17,22	10	900	4
16	86	16,44	10	1000	2
17	105	17,09	10	1000	3
18	136	16,93	10	1000	4
19	51	16,69	20	800	2
20	77	18,27	20	800	3
21	78	18,11	20	800	4
22	115	17,20	20	900	2
23	137	17,34	20	900	3
24	78	17,02	20	900	4
25	134	15,84	20	1000	2
26	143	15,11	20	1000	3
27	150	16,99	20	1000	4
28	58	17,76	30	800	2
29	96	14,92	30	800	3
30	112	13,23	30	800	4
31	46	16,94	30	900	2
32	86	17,53	30	900	3
33	68	16,98	30	900	4
34	73	14,23	30	1000	2
35	86	15,29	30	1000	3
36	112	15,37	30	1000	4
37	46	15,56	40	800	2
38	125	16,29	40	800	3
39	105	13,30	40	800	4
40	92	16,79	40	900	2
41	136	18,41	40	900	3
42	70	17,98	40	900	4
43	71	15,55	40	1000	2
44	89	15,72	40	1000	3
45	40	15,01	40	1000	4

TABEL 9
NILAI PENYERAPAN AIR

(%)

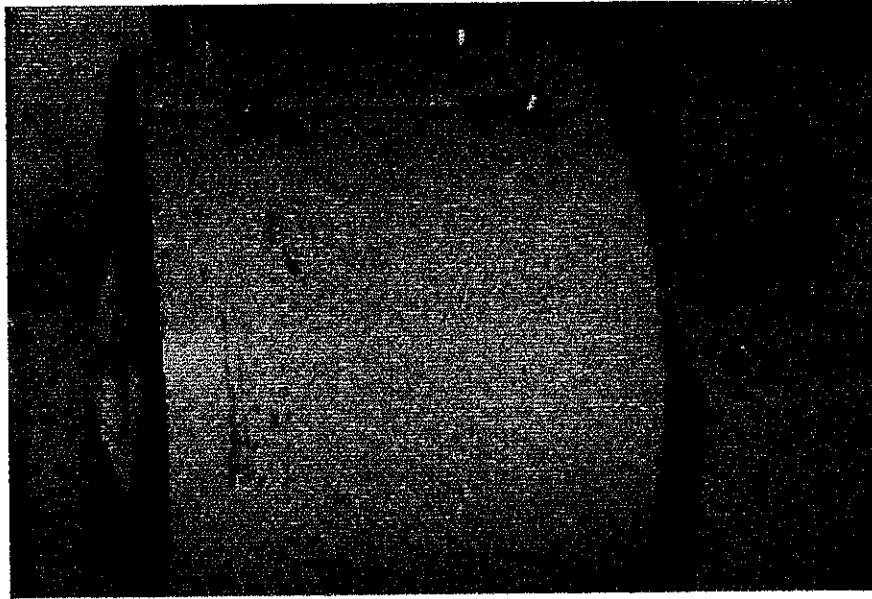
Jenis Ubin		Penyerapan Air (PA)
Porselen	I	$PA \leq 3$
Stoneware		$3 \leq PA < 6$
Earthenware	II	$6 \leq PA < 10$ > 10

TABEL 10
NILAI KUAT LENTUR (Mpa)

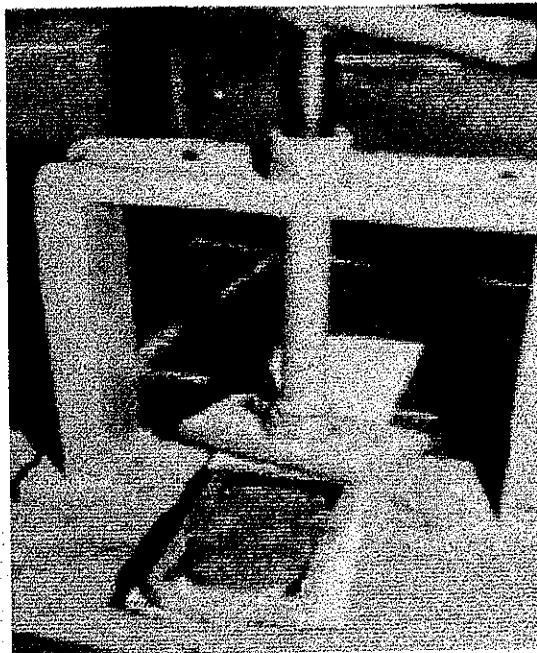
Jenis Ubin	Minimum yang diperbolehkan
Porselen	27
Stoneware: I	22
Earthenware: II	18
Earthenware	12

$1 \text{ Mpa} = 10 \text{ kg/cm}^2$

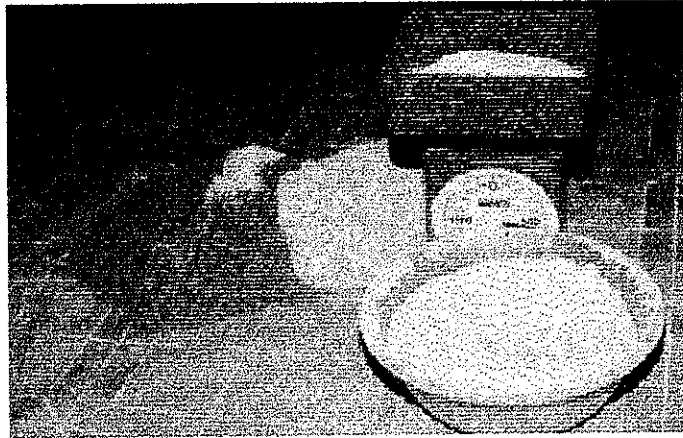
Sumber : SNI 03-4062-1996
Ubin lantai keramik berglasir



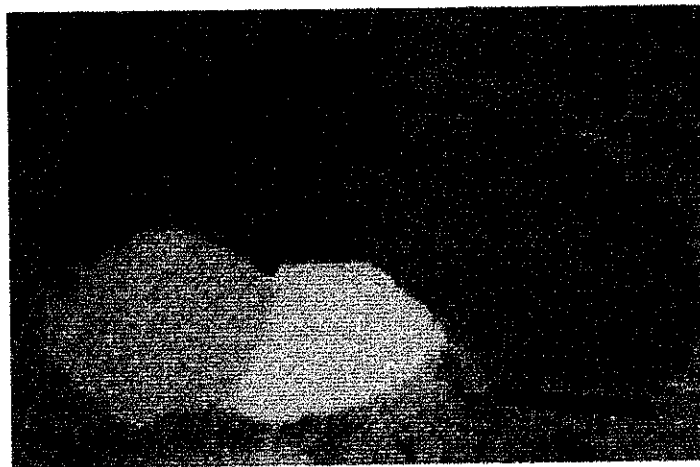
Gambar 2
Mesin Penggerus



Gambar 3
Alat Cetak

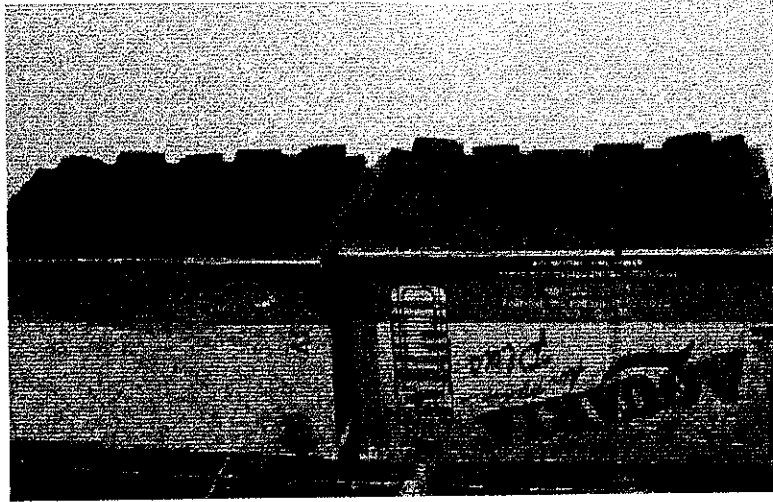


Gambar 4
Menimbang Bahan

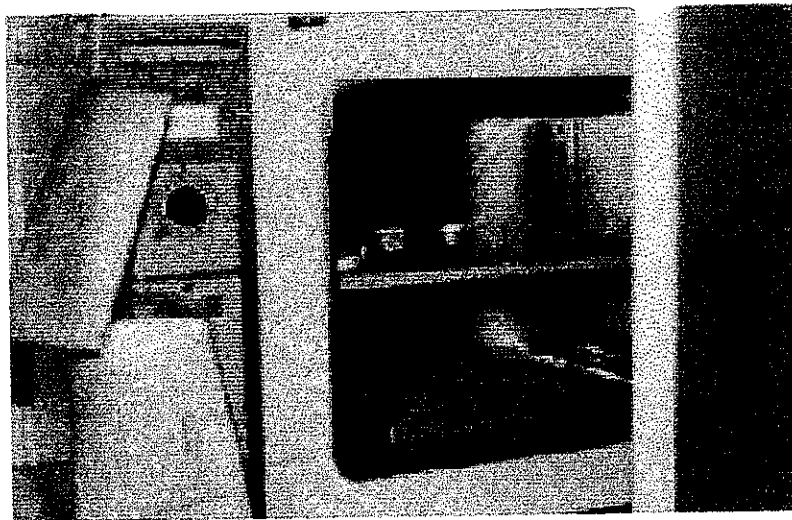


Gambar 5
Komposisi Bahan

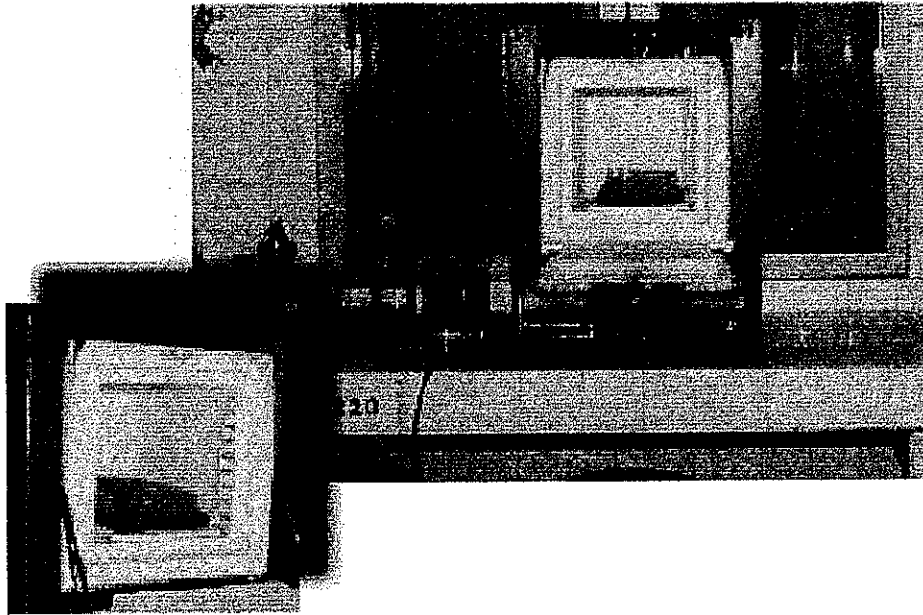
UPT-PUSTAK-UNDIP



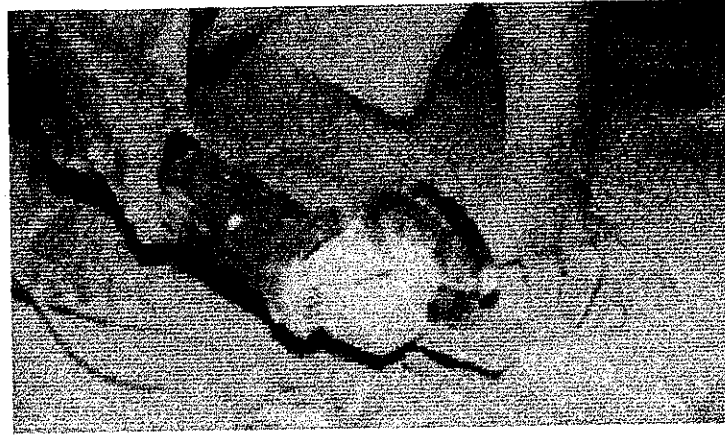
Gambar 6
Mengangin-anginkan



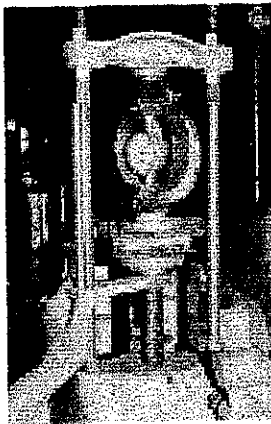
Gambar 7
Oven Pengering



Gambar 8
Furnace Pembakar



Gambar 9
Menetapkan ukuran untuk pengujian



Gambar 10
Menguji hasil