

ABSTRAK

Limbah *fly ash* industri tekstil yang dihasilkan dari pembakaran dengan *incinerator* tergolong jenis limbah berbahaya dan beracun (limbah B3) sehingga perlu pengelolaan secara khusus. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat logam berat yang terimmobilisasi dalam keramik yang telah ditambahkan limbah *fly ash* dan bahan-bahan aditif. Di samping itu juga untuk mengetahui kualitas kuat lentur keramik dan persentase penambahan limbah *fly ash* yang optimum dalam pembentukan keramik dari aspek teknis (kuat lentur) dan aspek kesehatan dan lingkungan.

Salah satu metode pengolahan yang digunakan adalah solidifikasi limbah *fly ash* sebagai keramik. Dalam proses solidifikasi ini, digunakan penambahan variasi konsentrasi 10%, 20%, 30% dan 40% limbah *fly ash* dalam bahan-bahan keramik, selanjutnya diberi air secukupnya dan dicetak dengan ukuran 10cmx10cmx1cm. Keramik yang sudah dicetak dikeringkan dan dibakar dengan suhu 1200°C selama 16 jam, masing-masing variasi percobaan dibuat 5 sampel keramik. Terhadap benda uji keramik yang diperoleh, dilakukan uji kuat lentur dan uji lindi dengan metode TCLP.

Penambahan limbah *fly ash* dalam bahan-bahan pembuatan keramik menunjukkan suatu hasil yang positif. Dari hasil penelitian, pada penambahan 10%, 20% dan 30% limbah diperoleh nilai kuat lentur sebesar 77,188 kg/cm²; 40,667 kg/cm² dan 36,156 kg/cm², masih memberikan mutu kualitas keramik baik karena kuat lentur keramik masih berada diatas nilai pembanding keramik dinding yang dijual dipasaran yaitu sebesar 31,69 kg/cm²; 29,25 kg/cm² dan 21,94 kg/cm², sedangkan pada penambahan 40% limbah yaitu sebesar 16,250 kg/cm² menghasilkan nilai kuat lentur dibawah nilai pembanding sehingga menghasilkan mutu keramik kurang baik. Pemeriksaan pelindian logam berat Cr, Zn dan Pb pada padatan keramik dengan metode *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) pada penambahan 10%, 20%, 30% dan 40% limbah *fly ash* masih berada dibawah baku mutu yang ditentukan berdasarkan PP 18 tahun 1999. Oleh karena itu persentase penambahan limbah *fly ash* yang optimum dalam pembentukan keramik dari aspek teknis (kuat lentur) dan aspek kesehatan dan lingkungan yaitu 10% dengan nilai kuat lentur sebesar 77,188 kg/cm² dan nilai lindi logam berat Cr, Zn dan Pb sebesar 0,013mg/l; 0,308mg/l dan 0,176mg/l. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa limbah *fly ash* dari hasil pembakaran *incinerator* industri tekstil layak dari aspek teknis (kuat lentur) maupun aspek kesehatan dan lingkungan.

KATA PENGANTAR

Assalamu'allaikum Wr. Wb

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat karena berkat dan rahmatNya, sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan Program S-1 di Universitas Islam Indonesia.

Pada kesempatan yang baik ini penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Kasam, MT, selaku dosen pembimbing 1 dan ketua jurusan Teknik Lingkungan UII yang telah banyak meluangkan waktu untuk memberikan pengarahan, bimbingan, saran dan masukan dalam penulisan ini.
2. Bapak Hudori, ST, selaku dosen pembimbing 2 yang telah memberikan ijin, petunjuk, saran dan masukan yang sangat berguna bagi penulis.
3. Bapak Tim Penguji yang memberikan arahan demi perbaikan Tugas Akhir ini.
4. Seluruh Staf Pengajar dan Civitas Akademika Universitas Islam Indonesia Yogyakarta dan Bapak Agus, selaku sekretaris Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia, terima kasih atas bantuannya selama ini.
5. Bapak Teknisi/Staf administrasi Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan UII yang telah memberikan petunjuk, saran dan masukan yang sangat berguna bagi penulis.
6. Bapak dan Ibu Teknisi/Staf administrasi Laboratorium MIPA UII yang telah memberikan petunjuk, saran dan masukan yang sangat berguna bagi penulis.
7. Bapak Teknisi/Staf administrasi Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil UII yang telah memberikan ijin, petunjuk yang sangat berguna bagi penulis.
8. Seluruh pimpinan, staf dan karyawan/karyawati PT. Apac Inti Corpora Bawen yang telah banyak membantu dalam pelaksanaan penelitian Tugas Akhir ini.
9. Bapak, ibu dan saudara tersayang yang senantiasa mendorong dan mendoakan keberhasilan penulis.

10. Agus Kurniawan, terima kasih atas waktu dan kasih sayangnya.
11. Luwis dan Romi terima kasih buat semuanya, Titin, Tifa, Aini, Rina, Santi, Agustria dan semua Rekan-rekan mahasiswa S-1 Teknik Lingkungan UII yang telah banyak memberikan arahan serta bantuan kerja sama selama melakukan Tugas Akhir ini.

Penulis sadar masih banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini, sehingga saran dan kritik membangun dari semua pihak sangat diharapkan demi kesempurnaan tulisan selanjutnya. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Wassalamu'allaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, Juni 2005

Penulis

tersebut umumnya mengandung unsur-unsur berbahaya seperti As, Cd, Cr, Pb, Cu dan Zn

United State Environment Protection Agency (US EPA) memberikan perkiraan kasar mengenai limbah yang dihasilkan dari industri tekstil bahwa tiap 100 m³ limbah cair akan dihasilkan limbah padat sebanyak 10 kg (Anonim, 1990). Dengan demikian untuk suatu industri tekstil yang tiap harinya mengolah limbah cair sebanyak 3500-4000 m³, dapat menghasilkan limbah padat antara 350-400 kg/hari. Umumnya limbah padat berupa lumpur ditampung pada suatu tangki penyimpanan (*thickener*) sebelum dilewatkan pada mesin *Belt Press* agar kandungan air pada lumpur dapat dikurangi. Di industri tekstil PT. Apac Inti Corpora, lumpur yang sudah kering selanjutnya dihancurkan dengan pemanasan tinggi (*thermal reduction*) dalam alat insinerator. Pembakaran dengan insinerator menghasilkan sisa pembakaran berupa abu terbang (*fly ash*). Bahan tersebut berjumlah tidak kurang 328,5 ton/tahun perunit instalasi pembakaran. Mulai tahun 2002-2004 telah dioperasikan sebanyak 1 unit pembakaran.

Pengelolaan limbah *fly ash* selama ini adalah dengan ditimbun dalam areal pabrik (*land disposal*) dan dibuang bersama sampah yang lain ketempat pembuangan sampah kota (TPA). Hal ini bila tidak ditangani secara memadai akan menyebabkan pencemaran lingkungan dan berbahaya bagi kesehatan manusia. Oleh karena itu mengingat jumlah limbah abu terbang yang dihasilkan dari tahun ketahun terus meningkat sesuai dengan pemakaian bahan bakar, maka diupayakan pemanfaatan kembali (*reuse*) dan penemuan kembali (*recovery*).

Dalam memanfaatkan limbah *fly ash*, penelitian-penelitian sebelumnya menjelaskan bahwa limbah tersebut dapat disolidifikasi. Proses solidifikasi relatif efektif mencegah mobilisasi logam-logam berat. Oleh karena itu pemanfaatan limbah *fly ash* harus baik, agar dalam pemanfaatannya nanti tidak menimbulkan efek atau dampak negatif bagi yang menggunakannya, yaitu dengan memanfaatkan limbah *fly ash* industri tekstil untuk pembuatan keramik. Hal ini dimungkinkan karena untuk pembuatan keramik, hanya diperlukan tanah liat yang bersifat plastis. Sedangkan limbah padat industri tekstil yang berupa *fly ash* bersifat plastis pula. Selain itu pada limbah juga mengandung unsur oksida, diantaranya : SiO_2 , Al_2O_3 , CaO dan Fe_2O_3 yang dapat membentuk ikatan keramik dan memberikan kontribusi kuat mekanik pada bahan keramik. (Surdia dan Saito, 1985).

Dari uraian diatas, perlu kiranya dilakukan penelitian terhadap karakteristik fisik (kuat lentur) dan kimia (*leachate*) yang terjadi dari limbah *fly ash* industri tekstil yang disolidifikasi dengan bahan pembuat keramik.

1.2. Rumusan Masalah

Masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh penambahan komposisi *fly ash* terhadap kualitas keramik yang dihasilkan.
2. Apakah *fly ash* yang dimanfaatkan untuk pembuatan keramik dapat mengimmobilisasi logam-logam berat yaitu : Cr, Zn dan Pb .

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Industri Tekstil

Di Indonesia industri tekstil merupakan salah satu penyumbang yang cukup besar terhadap pencemaran air sungai karena fluktuasi limbah cairnya yang sering berwarna-warni. Keadaan ini sering dijumpai di beberapa daerah penghasil tekstil terbesar seperti daerah, Pekalongan Solo, Bandung dan lain-lainnya khususnya pada musim kemarau. Karakteristik limbah cair industri tekstil disamping mempunyai fluktuasi volume yang besar dan beranekaragam pencemar juga mempunyai nilai pencemaran organik seperti BOD, COD dan TSS yang cukup tinggi dan juga mengandung bahan yang toksis (logam berat) yang berasal dari proses pewarnaan bahan.

Zat warna yang biasanya dipakai dalam industri tekstil pada umumnya terdiri dari dua komponen yaitu chromophore yang merupakan inti dari zat warna tersebut dan auxochrome yang merupakan zat yang berfungsi sebagai pengikat antara zat dengan fiber. Jenis zat yang biasa dipakai jumlahnya mencapai ratusan dan jenis ini dibagi dalam beberapa golongan berdasarkan struktur kimianya. Adapun jenis golongan pewarna tersebut adalah sebagai berikut :

tergantung pada operasi dan proses yang digunakan. Akan tetapi jika *sludge* telah dikeringkan densitas *sludge* akan meningkat.

Beberapa zat yang terkandung dalam *sludge* hasil proses pengendapan kimia antara lain :

1. Pigmen dan zat warna
2. Pelarut organik
3. Hidrogen terhalogenasi (dari proses dressing dan finishing)
4. Logam-logam berat (As, Cd, Cr, Pb, Cu, Zn, Al dan Fe)
5. Zat-zat tensioaktif (Surfactant)

Zat-zat diatas merupakan bahan yang berbahaya bagi lingkungan karena kandungan logam-logam berat yang tergolong limbah B3.

2.3. Pengolahan Limbah Padat

Proses pengolahan limbah padat industri dikelompokkan berdasarkan fungsinya yaitu pengkonsentrasian, pengurangan kadar air, stabilisasi dan pembakaran dengan *incinerator*. Pengolahan tersebut pada industri penghasil limbah dapat dilakukan sendiri-sendiri atau secara berurutan tergantung dari jenis dan jumlah limbah padat yang dihasilkan

1. Pengkonsentrasian

Dilakukan untuk meningkatkan konsentrasi *sludge* sehingga dapat mengurangi volume *sludge* tersebut. Pengkonsentrasian *sludge* biasanya dilakukan secara grafitasi dengan *clarifier* dan dengan *thickener*. Dengan *thickener* dapat meningkatkan konsentrasi padatan 2-5 kali. Dengan turunnya volume *sludge*

bentuk belum dipanaskan diatas titik leburnya ia akan menjadi cairan yang sangat kental. Karena kekentalannya itu maka untuk mengeluarkan gelembung-gelembung udara perlu dipanaskan sampai 500°C diatas titik leburnya. Apabila cairan itu didinginkan karena kental tidak dapat dibentuk lagi menjadi balur-balur, tetapi seolah-olah menjadi cairan yang beku. (Sugiono dan Sukirman, 1979).

Sedangkan secara kimia abu terbang terdiri dari *Calcium* CaO (22.98%), *Silicon* SiO (21.92%), *Iron* Fe₂O₃ (16.47%), *Aluminium* Al₂O₃ (16%), Sul-phur SO₃ (11.85%), Magnesium MgO (7.9%), Sodium Na₂O (1.37%), *Titanium* TiO₂ (0.6%), *Manganese* Mn₃O₄ (0.18%), dan *Phosphorus* P₂O₅ (0.11%). Berdasarkan sifat-sifat tersebut, maka abu terbang memiliki potensi yang besar untuk digunakan dalam berbagai bentuk bahan konstruksi dan bahan bangunan.

Dari hasil penelitian, abu terbang (*fly ash*) dapat dimanfaatkan sebagai matriks padat berupa beton, keramik, gypsum dan lain-lain.

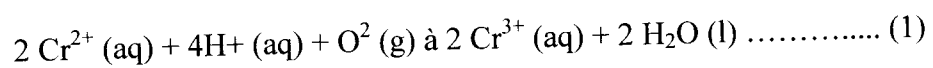
2.5. Logam Berat

Logam berat adalah komponen alamiah lingkungan yang mendapatkan perhatian berlebih akibat ditambahkan ke dalam tanah dalam jumlah yang semakin meningkat dan bahaya yang mungkin ditimbulkan. Logam berat menunjuk pada logam yang mempunyai berat jenis lebih tinggi dari 5 atau 6 g/cm³. Namun pada kenyataannya dalam pengertian logam berat ini, dimasukkan pula unsur-unsur metaloid yang mempunyai sifat berbahaya seperti logam berat sehingga jumlah seluruhnya mencapai lebih kurang 40 jenis.

Salah satu logam transisi yang penting adalah kromium. Sepuhan kromium (*chrome plating*) banyak digunakan pada peralatan sehari-hari, pada mobil dan sebagainya, karena lapisan kromium ini sangat indah, keras dan melindungi logam lain dari korosi. Kromium juga penting dalam paduan logam dan digunakan dalam pembuatan "*stainless steel*".

Kromium mempunyai konfigurasi electron $3d^54s^1$, sangat keras, mempunyai titik leleh dan titik didih tinggi diatas titik leleh dan titik didih unsur-unsur transisi deret pertama lainnya. Bilangan oksidasi yang terpenting adalah +2, +3 dan +6. jika dalam keadaan murni melarut dengan lambat sekali dalam asam encer membentuk garam kromium (II). (Achmad, Hiskia, 1992).

Senyawa-senyawa yang dapat dibentuk oleh kromium mempunyai sifat yang berbeda-beda sesuai dengan valensi yang dimilikinya. Senyawa yang terbentuk dari logam Cr^{+2} akan bersifat basa, dalam larutan air kromium (II) adalah reduktor kuat dan mudah dioksidasi diudara menjadi senyawa kromium (III) dengan reaksi :



Senyawa yang terbentuk dari ion kromium (III) atau Cr^{3+} bersifat amporter dan merupakan ion yang paling stabil di antara kation logam transisi yang lainnya serta dalam larutan, ion ini terdapat sebagai $[Cr(H_2O)_6]^{3+}$ yang berwarna hijau. Senyawa yang terbentuk dari ion logam Cr^{6+} akan bersifat asam. Cr^{3+} dapat mengendap dalam bentuk hidroksida. Krom hidroksida ini tidak terlarut dalam air pada kondisi pH optimal 8,5–9,5 akan tetapi akan melarut lebih

2.5.1.2. Efek Cr dalam Lingkungan

Ada berbagai macam perbedaan logam kromium yang berbeda-beda pada dampak organisma. Logam kromium (Cr) dapat masuk di udara (lapisan atmosfer), air dan tanah didalam kromium (III) dan kromium (VI) yang terbentuk melalui proses alami dan aktivitas manusia.

Aktivitas utama manusia yang meningkatkan konsentrasi logam kromium (III) adalah pabrik kulit dan tekstil. Aktivitas utama manusia yang meningkatkan konsentari logam kromium (VI) adalah yang memproduksi bahan kimia, tekstil, kulit, elektro dan penggunaan kromium (VI) lainnya dalam industri. Sebagian besar penggunaan ini akan meningkatkan konsentrasi logam kromium dalam air. Melalui pembakaan batu bara juga terdapat kromium diudara dan melalui *waste disposal* kromium juga ada di tanah.

Kebanyakan kromium terdapat diudara dan *end up* di air dan tanah. Kromium di dalam tanah mengikat kuat butiran partikel sehingga tidak menyebar ke *ground water*. Di air kromium akan terserap dalam *sediment* sehingga tidak menyebar. Hanya sebagian kecil logam kromium mengendap dan pada akhirnya akan larut dalam air (www.chemicalelements.com, 2005)

2.5.2. Seng (Zn)

Nama seng berasal dari bahasa Jerman yaitu *Zin* (*meaning tin*). Ditemukan oleh Andreas Marggraf pada tahun 1746. Logam *zinc* berwarna *bluish pale grey* dan di golongan dalam *transition metal*.

Tabel 2.5. Beberapa Sifat Fisik Timbal

Nama	Timbal
Simbol	Pb
Nomor atom	82
Massa atom relative	207.2 g.mol ⁻¹
Konfigurasi elektron	[Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ²
Jari-jari atom	0.154 nm
Jari-jari Ion	0.132 nm (+2) ; 0.084 nm (+4)
Keelektronegatifan	1,8
Energi Ionisasi 1	715.4 kJ.mol ⁻¹
Energi Ionisasi 2	1450.0 kJ.mol ⁻¹
Energi Ionisasi 3	3080.7 kJ.mol ⁻¹
Energi Ionisasi 4	4082.3 kJ.mol ⁻¹
Energi Ionisasi 5	6608 kJ.mol ⁻¹
Kerapatan	11.34 g.cm ⁻³ at 20°C
Titik leleh	327 °C
Titik didih	1755 °C

(Sumber : www.Lenntech.com, 2005).

Timbal dalam industri digunakan sebagai bahan pelapis untuk bahan kerajinan dari tanah karena pada temperatur yang rendah bahan pelapis dapat digunakan. Sekarang banyak juga digunakan sebagai pelapis pita-pita, karena mempunyai sikap resisten terhadap bahan korosif dan bahan baterai, cat. Senyawaan yang terpenting adalah (CH₃)₄Pb dan (C₂H₅)₄Pb yang dibuat dalam jumlah yang sangat besar untuk digunakan sebagai zat “antiknock” dalam bahan bakar.

2.5.3.1. Efek Timbal bagi Kesehatan

Timbal adalah logam halus yang telah dikenal banyak penerapannya dari tahun ketahun. Timbal termasuk salah satu logam golongan empat yang sangat merugikan bagi kesehatan manusia. Dapat masuk melalui tubuh melalui makanan (65%), air (20%) dan udara (15%). Makanan seperti buah, sayur-sayuran, daging dan *seafood* kemungkinan mengandung timbal. Asap rokok juga mengandung sedikit timbal (www.chemicalelements.com, 2005).

Timbal dapat masuk dalam air (minum) melalui pipa yang berkarat. Oleh karena itu lebih mungkin untuk terjadi ketika air *acidic*. Oleh sebab itu mengapa diperlukan alat pengukur pH pada sistem pengolahan air pada tujuan yang akan dilayani.

Keracunan timbal diakibatkan oleh pengisapan bagian kecil dari asap atau debu timbal yang kemudian diserap oleh aliran darah diakumulasi pada sumsum tulang belakang. Pelepasan timbal dari tulang terjadi sangat lambat sehingga efek penimbunan ini yang menimbulkan keracunan kronis.

Dampak negatif (kesehatan) yang disebabkan oleh timbal, seperti:

- kekurangan darah merah (anemia)
- kerusakan ginjal
- kerusakan otak
- terjadi paralysis pada urat saraf

Timbal juga dapat masuk kejanin melalui plasenta dari ibu. Oleh karena itu dapat menyebabkan kerusakan yang serius pada system otak pada anak yang belum lahir.

2.5.3.2. Efek Timbal Pada Lingkungan

Timbal terjadi secara alami di dalam lingkungan. Kebanyakan konsentrasi timbal yang ditemukan dalam lingkungan adalah dari hasil aktivitas manusia. Dalam mesin kendaraan (motor, mobil) timbal dibakar sehingga timbal *salts* (*Chlorines, bromines, oxides*) akan bereaksi. Timbal *salts* masuk ke lingkungan melalui pipa pembuangan (knalpot) kendaraan. Partikel yang lebih besar akan jatuh ke tanah sehingga mencemari air permukaan atau tanah. Partikel yang lebih kecil akan lepas melalui udara dan sisanya akan tinggal di atmosfer. Sebagian akan kembali ke bumi ketika sedang hujan. Tidak hanya timbal gasoline menyebabkan konsentrasi timbal di lingkungan meningkat. Disisi lain aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar, proses industri dan pembakaran limbah padat juga mempengaruhi.

Timbal dapat terjadi dalam tanah dan air melalui korosi pipa saluran pada sistem transport air dan melalui karatan cat. Ini tidak bisa dihancurkan, hanya dapat dikonversi ke bentuk lain. Timbal terkumpul di dalam tubuh organisme air dan tanah. Organisme tersebut akan mempengaruhi kesehatan akibat dari timbal yang beracun. Pengaruh kesehatan pada organisme air dapat tetap berlangsung meskipun konsentrasi timbal saat itu sangat kecil.

Fungsi tanah terganggu karena intervensi timbal, terutama disekitar lahan pertanian dan jalan raya, dimana konsentrasi saat itu sangat tinggi. Organisme di dalam tanah juga dapat terganggu karena timbal beracun tersebut (www.chemicalelements.com, 2005).

Mineral yang termasuk dalam kelompok kaolin adalah *kaolinit*, *nakritm diskrit* dan *halosit* dengan kaolinit sebagai mineral utama. (Chang, 2000).

Sifat dan keadaan bahan :

- Berbutir kasar
- Rapuh dan tidak plastis jika dibandingkan dengan lempung sedimenter karena itu sulit dibentuk
- Warnanya putih karena kandungan besinya paling rendah

Karena jenis kaolin tidaklah sangat plastis, maka taraf penyusutan dan kekuatan keringnya pun lebih rendah dan sangat tahan api; maka tanah ini tidak dapat dipakai begitu saja untuk membuat barang-barang keramik, melainkan harus dicampur dahulu dengan bahan-bahan lainnya. Bakaran kaolin sangat kuat; titik lelehnya sampai 1800°C. (Astuti, 1997).

Bahan ini dipakai dalam :

- Keramik halus (gerabah putih) dan porselen baik sebagai salah satu komponen dalam badan maupun glasir
- Barang-barang tahan api dalam bata-bata kaolin
- Bahan-bahan bangunan keramik seperti tegel dalam gerabah atau porselen
- Sedikit-sedikit dalam email

DiIndonesia bahan ini terdapat di beberapa tempat seperti di Jawa Barat, Jawa Timur, Sumatera, Bangka, Belitung, Kalimantan.

2. *Fire clay* (Tahan Api)

Adalah termasuk jenis tanah sekunder, karena biasanya ditemukan didareah lapisan batu bara.

Dengan mengurangi susut, *samot* melindungi benda-benda terhadap perubahan bentuk, yang biasanya disebabkan oleh penyusutan yang tiba-tiba. Karena partikel *samot* yang lebih besar dari tanah liat, maka badan menjadi lebih porous, yang memungkinkan cairan dengan mudah terhisap ke permukaan benda selama pengeringan dan permulaan pembakaran, ini memungkinkan penguapan lebih lambat dan mengurangi kesempatan benda pecah/meledak selama pembakaran. Juga karena bahan ini tidak plastis, penambahannya pada tanah liat yang sangat plastis dapat mencegah retak selama pengeringan atau pembakaran. Selama badan yang mengandung *samot* tahan terhadap perubahan suhu yang mendadak, bendanya tidak cenderung pecah bila diambil dari tungku pada waktu masih panas. *Samot* juga membantu menghasilkan tekstur halus/kasar, sederhana, permukaan yang tanpa polish. (Astuti, 1997).

2.6.5. Pembentukan

Pada dasarnya teknik pembentukan dapat dibagi dalam 2 golongan, yaitu teknik pembentukan dengan tangan dan teknik pembentukan dengan mesin. Teknik pembentukan dengan mempergunakan mesin dilakukan dengan digerakkan oleh tangan yaitu pembentukan dengan teknik putar. Disamping kedua macam teknik ini, masih ada alternatif lain yaitu teknik pembentukan dengan cetakan.

Teknik pembentukan dengan cetak dapat memproduksi barang dengan jumlah yang banyak dalam waktu relatif singkat dengan bentuk dan ukuran yang sama pula. Bahan cetakan yang biasa dipakai adalah berupa gips,

pada rak-rak pengering didalam suatu ruangan yang menggunakan atap transparan yang tembus sinar dari luar sehingga tidak perlu menjemur.

2. Dipanaskan

Benda-benda dimasukkan kedalam lemari yang dipanasi sehingga lembab dari *greenware* (benda keramik yang belum dibakar) lentap sama sekali. Lemari tersebut harus berlubang dari bawah untuk melenyapkan uap air dan berlubang pula diatasnya untuk melenyapkan udara keluar.

3. Membungkus bagian-bagian benda dengan lap yang agak basah terutama bila benda mempunyai bagian-bagian yang tebal dan bagian-bagian yang tipis. Pada bagian bawah dari benda diberi kayu-kayu penyangga agar supaya aliran udara dari bawah dapat mengeringkan bagian bawah benda tersebut.

2.6.7. Pembakaran

Proses pembakaran bahan keramik sering juga disebut *sintering processes*. Suhu yang dipakai dalam pembakaran sangat tergantung dari metode, bahan yang akan dibakar dan benda hasil bakar. Sebagai contoh untuk jenis keramik *stoneware* digunakan suhu 1200-1300°C (Astuti, 1997).

2.6.8. Jenis Badan Keramik Menurut Kepadatan

1. Gerabah (*Earthenware*)

Dibuat dari semua jenis bahan tanah liat yang plastis dan mudah dibentuk dan dibakar pada suhu maksimum 1000°C. Keramik jenis ini struktur dan teksturnya sangat rapuh, kasar dan masih berpori. Agar supaya kedap air,

gerabah kasar harus dilapisi glasir, semen atau bahan pelapis lainnya. Gerabah termasuk keramik berkualitas rendah apabila dibandingkan dengan keramik batu (*stoneware*) atau porselin. Bata, genteng, paso, pot, anglo, kendi, gentong dan sebagainya termasuk keramik jenis gerabah. Genteng telah banyak dibuat berglasir dengan warna yang menarik sehingga menambah kekuatannya.

2. Keramik Batu (*Stoneware*)

Dibuat dari bahan lempung plastis yang dicampur dengan bahan tahan api sehingga dapat dibakar pada suhu tinggi (1200° - 1300° C). Keramik jenis ini mempunyai struktur dan tekstur halus dan kokoh, kuat dan berat seperti batu.

Keramik jenis termasuk kualitas golongan menengah.

3. Porselin (*Porcelain*)

Adalah jenis keramik bakaran suhu tinggi yang dibuat dari bahan lempung murni yang tahan api, seperti kaolin, alumina dan silika. Oleh karena badan porselin jenis ini berwarna putih bahkan bisa tembus cahaya, maka sering disebut keramik putih. Pada umumnya, porselin dipijar sampai suhu 1350° C atau 1400° C, bahkan ada yang lebih tinggi lagi hingga mencapai 1500° C. Porselin yang tampaknya tipis dan rapuh sebenarnya mempunyai kekuatan karena struktur dan teksturnya rapat serta keras seperti gelas. Oleh karena keramik ini dibakar pada suhu tinggi maka dalam bodi porselin terjadi pengelasan atau vitrifikasi. Secara teknis keramik jenis ini mempunyai kualitas tinggi dan bagus, disamping mempunyai daya tarik tersendiri karena keindahan dan kelembutan khas porselin. Juga bahannya sangat peka dan cemerlang terhadap warna-warna glasir.

Tujuan dari proses stabilisasi/solidifikasi adalah mengkonversi limbah beracun menjadi massa yang secara fisik inert, memiliki daya leaching rendah serta kekuatan mekanik yang cukup untuk agar aman untuk di buang ke landfill limbah B3.

Untuk mengurangi volume akhir limbah, biasanya limbah dilakukan penghilangan air lebih dahulu sebelum dilakukan proses solidifikasi. Dalam proses solidifikasi limbah menjadi bentuk block atau padatan yang kompak digunakan suatu bahan pengikat atau polymer. Sebagai bahan pengikat yang banyak digunakan adalah semen portland, thermoplastic, organik polymer dan pozzolanic.

Produk stabilisasi diharapkan memiliki karakteristik sebagai berikut :

- stabil
- mampu menahan beban
- toleran terhadap kondisi basah dan kering yang silih berganti
- permeabilitas rendah
- tidak menghasilkan lindi yang berkualitas buruk

Bahan aditif yang ditambahkan untuk stabilisasi/solidifikasi harus bersifat :

1. Dapat memperbaiki karakteristik fisik limbah.
2. Mengurangi luas permukaan limbah.
3. Mengurangi kelarutan polutan yang terdapat dalam limbah
4. Mengurangi toksisitas kontaminan.

Jenis bahan aditif dan bahan-bahan lainnya yang umum digunakan untuk stabilisasi/solidifikasi adalah :

1. Bahan pencampur : gypsum, pasir, lempung, abu terbang.
2. Bahan perekat/pengikat : semen, kapur, tanah liat, dan lain-lain.

Prosedur stabilisasi/solidifikasi adalah sebagai berikut :

1. Sebelum distabilisasi/solidifikasi karakteristik limbah B3 harus ditentukan karakteristiknya terlebih dahulu guna menentukan komposisi bahan-bahan yang perlu ditambahkan.
2. Setelah dilakukan stabilisasi/solidifikasi, selanjutnya dilakukan uji *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) terhadap hasil olahan tersebut untuk mengukur kadar/konsentrasi parameter dalam lindi (*extract/eluate*). Hasil uji TCLP sebagaimana dimaksud, kadarnya tidak boleh melewati nilai ambang batas sebagaimana ditetapkan Bapedal.
3. Terhadap hasil olahan tersebut selanjutnya dilakukan uji kuat tekan (*compressive strength*). Hasil stabilisasi mempunyai nilai tekanan minimum sebesar 10 ton/m² dan lolos uji *paint filter test*.
4. Hasil stabilisasi yang memenuhi persyaratan baku mutu TCLP, nilai uji kuat tekan dan *paint filter test* harus ditimbun di tempat penimbunan (landfill) B3.

Proses stabilisasi biasa digunakan untuk :

1. Stabilisasi limbah cair B3 sebelum dibuang ke landfill.
2. Remediasi lahan-lahan yang terkontaminasi limbah B3.

mengetahui kontaminan pencemar yang mencakup *volatile* dan *semi-volatile organics, metals, dan pesticides*.

2.8. Kuat Lentur

Kuat lentur adalah hasil bagi momen lentur yang terbesar dan momen perlawanan, yang terjadi pada beban lentur maksimum (beban pada patahnya benda uji).

$$\rho = \frac{3 PL}{2.b(h)^2} \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan :

P = Beban patah

L = Jarak tumpuan

b = Lebar benda coba

h = Tebal benda coba

Pembakaran dengan *rotaring dryer dan incinerator* pada industri tekstil menghasilkan limbah abu padat. Abu tersebut diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu abu dasar (*bottom ash*) dan abu terbang (*fly ash*). Dalam penelitian ini limbah abu padat yang digunakan sebagai sampling adalah abu terbang (*fly ash*).

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No 18 tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Berbahaya dan Beracun menyatakan bahwa limbah lumpur dari industri tekstil termasuk jenis limbah berbahaya dan beracun (limbah B3) dari sumber yang spesifik dengan kode D213. Hal ini karena dalam limbah tersebut umumnya mengandung unsur-unsur berbahaya seperti As, Cd, Cr, Pb, Cu dan Zn.

3.3.2. Asal Bahan Mentah Keramik

Bahan-bahan mentah keramik yang dipergunakan adalah :

1. Kaolin (20%) berasal dari Malang
2. Tanah liat (20%) berasal dari Sengkawang
3. *Fire clay* (10%) berasal dari Spanyol
4. *Samot/grog* (12%) berasal dari PPPG Kesenian Yogyakarta
5. *Feldspar* (38%) berasal dari Malang.

3.3.3. Asal Air

Air yang digunakan berasal dari sumur Pusat Pengembangan Penataran Guru Kesenian Yogyakarta (PPPG Kesenian).

3.4. Analisa Karakteristik Bahan

3.4.1. Analisa Limbah *Fly Ash*

Pada limbah *fly ash* dilakukan pemeriksaan terhadap karakteristik fisika dan kimia.

- Karakteristik fisika
 1. Analisa berat jenis (SK SNI M-10-1989-F)
 2. Analisa berat volume (SK SNI M-08-1989-F)
 3. Analisa modulus kehalusan (SK SNI M-10-1989-F)
 4. Analisa kadar air
- Karakteristik Kimia
 1. Analisa terhadap senyawa/unsur yang berhubungan dengan fungsinya sebagai material keramik seperti SiO_2 , Al_2O_3 , CaO dan Fe_2O_3 tidak dilakukan. Pada limbah *fly ash* mengandung unsur-unsur tersebut (ASTM, 1994).
 2. Analisa logam berat, yaitu : Cr, Pb, dan Zn

3.4.2. Analisa Bahan Mentah Keramik

Pada bahan-bahan mentah keramik, yaitu kaolin, tanah liat, *fire clay*, *samot/grog* dan *feldspar* tidak dilakukan analisa terhadap kandungan senyawa/unsur, seperti SiO_2 , Al_2O_3 , CaO dan Fe_2O_3 . Pada bahan-bahan keramik mengandung unsur-unsur tersebut (Glen. C. Nelson, 1984).

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

4.1.1. Karakteristik Limbah *Fly Ash*

Pemeriksaan karakteristik limbah *fly ash* meliputi sifat fisik dan kimia yang ditampilkan seperti Tabel 4.1 dan 4.2.

Tabel 4.1. Karakteristik Fisik Limbah *Fly Ash*

No	Parameter	Data Penelitian
1	Kadar air	0,04 %
2	Berat jenis	2,424 gr/ml
3	Berat volume	0,0738 t/m ³
4	Modulus Kehalusan	0,33

(Sumber : Hasil Penelitian, 2005)

Tabel 4.2. Karakteristik Kimia Limbah *Fly Ash*

No	Senyawa/unsur	Data Penelitian	PP No.18 Tahun 1999
1	Cr	19,500±0,390	5,0
3	Zn	587,500±21,740	50,0
5	Pb	39,991±1,086	5,0

(Sumber : Hasil Penelitian, 2005)

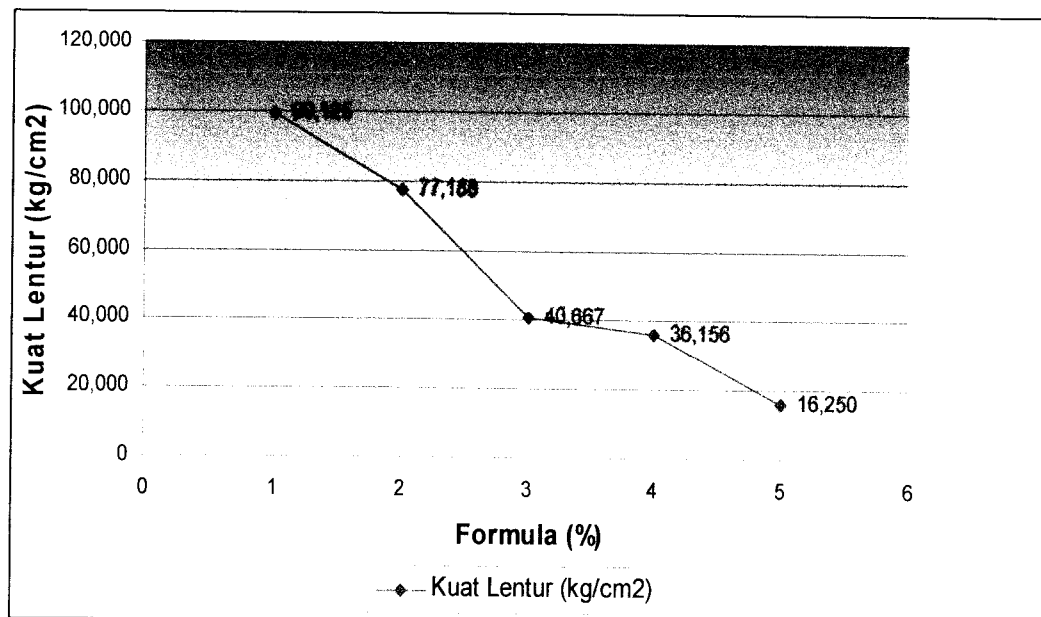
4.1.3. Uji Kuat Lentur

Dari pengujian kuat lentur benda uji persegi keramik dengan menggunakan persamaan (2.5) diperoleh seperti pada Tabel 4.4. dan Gambar 4.1.

Tabel 4.4. Nilai Kuat Lentur Rata-rata Sampel Keramik

No	Formula (%)	Kuat Lentur (kg/cm ²)	Pembanding Kuat Lentur (kg/cm ²)		
			Keramik Dinding "Mulia"	Keramik Dinding "Diamond"	Keramik Dinding "KIA"
1	1 (0%)	99,125	29,25	31,69	21,94
2	2 (90 : 10)	77,188			
3	3 (80 : 20)	40,667			
4	4 (70 : 30)	36,156			
5	5 (60 : 40)	16,250			

(Sumber : Hasil Penelitian, 2005)



Gambar 4.1. Grafik Kuat Lentur Rata-rata Pada Berbagai Proporsi Limbah

4.1.5. Efisiensi Immobilisasi Logam-logam Berat (Cr, Zn dan Pb) Dalam

Keramik

Efisiensi immobilisasi logam berat Cr, Zn dan Pb menggunakan rumus

$$E = \frac{A1 - A2}{A1} \times 100\%.$$

Tabel 4.6. Efisiensi Immobilisasi Logam Berat Cr, Zn dan Pb

No	Formula	Logam Berat (%)		
		Cr	Zn	Pb
1	1 (0%)	-	-	-
2	2 (10%)	86,67	89,51	11,98
3	3 (20%)	96,92	94,33	-0,77
4	4 (30%)	84,62	96,78	32,82
5	5 (40%)	98,85	97,32	49,24

(Sumber : Hasil Penelitian, 2005)

4.2.3. Uji Kuat Lentur

Dari hasil pengujian kuat lentur diperoleh, keramik hasil penambahan 10% yaitu sebesar 77,188 kg/cm² sampai dengan 30% yaitu sebesar 36,156 kg/cm² limbah *fly ash* masih memberikan mutu kuat lentur yang baik karena kuat lentur pada penambahan limbah tersebut berada diatas nilai pembanding keramik dinding Mulia, Diamond dan KIA yang dijual dipasaran yaitu sebesar 29,25 kg/cm²; 31,69 kg/cm² dan 21,94 kg/cm², sedangkan pada penambahan 40% limbah *fly ash* yaitu sebesar 16,250 kg/cm² menghasilkan nilai kuat lentur dibawah nilai pembanding sehingga menghasilkan mutu keramik kurang baik. Kuat lentur tertinggi adalah 77,188 kg/cm² dengan penambahan 10% limbah, sedangkan untuk keramik normal (tanpa limbah) kuat lenturnya adalah 99,125 kg/cm².

Dari Tabel 4.4. dan Gambar 4.1. diperoleh bahwa suhu pembakaran berpengaruh pada proses vitrifikasi, yaitu proses terjadinya peleburan bagian-bagian dari mineral tertentu (Feldspar/Ca Al₂ SiO₈ dan Amorthite Albite/Na Al Si₃O₈) dari bahan keramik (Vlack, 1981). Jika suhu pembakaran tinggi sesuai dengan suhu jenis keramik, bagian-bagian mineral yang melebur tadi menyebabkan partikel tanah dan bahan lainnya melekat satu dengan lain, membentuk ikatan-ikatan unsur pada bahan (ikatan keramik) yang memberikan sifat keras pada yang dibakar.

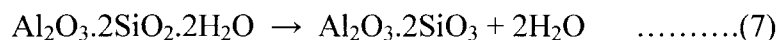
Sifat dan kandungan bahan-bahan keramik juga berpengaruh terhadap kuat lentur keramik. Tanah liat berbahan plastis seperti kaolin dan *fire clay* tahan api (*refractory*) saat dibakar, karena itu tahan terhadap suhu tinggi. Untuk tanah

liat non plastis seperti *feldspar* dan *samot/grog* merupakan bahan campuran untuk memperoleh hasil yang memuaskan. *Feldspar* mengandung mineral yang dapat memberikan sampai 25% flux (pelebur) pada badan keramik, bila mase keramik dibakar, *feldspar*nya meleleh (melebur) dan membentuk leburan yang menyebabkan partikel tanah dan bahan lainnya melekat satu sama lainnya, sehingga memberikan kekuatan dan kekukuhan pada badan keramik. Adanya bahan *samot/grog* yang ditambahkan pada campuran bahan keramik, mengurangi penyusutan yang terjadi selama pembakaran. Dengan mengurangi susut, *samot/grog* melindungi benda-benda terhadap perubahan bentuk yang biasanya disebabkan oleh penyusutan yang tiba-tiba. Karena partikel *samot/grog* yang lebih besar dari tanah liat, maka badan menjadi lebih porous, yang memungkinkan cairan dengan mudah terhisap ke permukaan benda selama pengeringan dan permulaan pembakaran, ini memungkinkan penguapan lebih lambat dan mengurangi kesempatan benda pecah/retak selama pembakaran.

Selain itu, adanya unsur SiO_2 atau silika dalam limbah *fly ash* industri tekstil pada pembuatan keramik, bermanfaat untuk mengurangi susut kering, retak saat pembakaran dan mempertinggi kualitas produk keramik. Alumina atau Al_2O_3 , berguna untuk mengontrol dan mengimbangi pelelehan serta memberikan kekuatan pada keramik. Sedangkan Fe_2O_3 atau oksida besi yang ada dalam limbah *fly ash* dapat memperbaiki proses pembakaran dan memberi warna pada keramik.

Tabel 4.4. dan Gambar 4.1. terlihat bahwa makin meningkatnya penambahan limbah *fly ash* dalam bahan-bahan keramik *stoneware* dengan suhu pembakaran 1200°C , mempunyai nilai kuat lentur semakin rendah. Hal ini

Makin halus tekstur tanah makin tinggi kekuatan untuk mengikat logam berat. Oleh karena itu tanah yang bertekstur liat mempunyai kemampuan untuk mengikat logam berat lebih tinggi dari tanah berpasir (Babich dan Stotzki, 1978). Pada proses pembuatan keramik digunakan tanah liat plastis (kaolin, *fire clay*) dan tanah liat non plastis (*feldspar*, *samot/grog*) terhadap limbah *fly ash* menyebabkan logam berat dalam limbah terikat sempurna oleh bahan keramik. Pengikatan ini menyebabkan perubahan struktur bahan dari bentuk struktur antar partikel menjadi suatu bentuk yang homogenitas (ikatan fisik). Diikuti dengan proses pemanasan, yaitu pembakaran keramik limbah yang tinggi dengan suhu 1200°C, ikatan keramik yang terjadi antara partikel-partikel dengan limbah *fly ash* akan semakin kuat, hal ini karena suhu pembakaran berpengaruh pada proses vitrifikasi, yaitu proses terjadinya peleburan bagian-bagian dari mineral tertentu dari bahan keramik (Vlack, 1981). Bagian-bagian mineral yang melebur terutama SiO₂ dan Al₂O₃ pada suhu 1200°C menyebabkan partikel mineral (tanah liat, kaolin, *fire clay*, *samot* dan *feldspar*) dengan partikel limbah *fly ash* melekat satu dengan lain membentuk ikatan kuat. Ikatan yang terjadi pada proses ini adalah ikatan kimia, karena kedua oksida tersebut (SiO₂ dan Al₂O₃) pada proses pembakaran mengalami proses reaksi kimia membentuk ikatan keramik.



Dalam proses pembakaran keramik limbah juga terjadi reaksi kimia antara logam-logam berat (Cr, Zn dan Pb) dan gas yang terdapat dalam tungku. Proses ini membentuk senyawa-senyawa oksida logam, sehingga pengikatan yang terjadi dalam proses pembakaran lebih sempurna.



Dengan pengujian lindi terlihat bahwa logam-logam berat yaitu Cr, Zn dan Pb dalam limbah *fly ash* setelah disolidifikasi sebagai keramik menjadi stabil, ini terbukti dalam air lindi (*leachate*) jauh lebih kecil, berada dibawah ketentuan yang ditetapkan berdasarkan PP No 18 tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Berbahaya dan Beracun (B3). Dengan demikian proses solidifikasi limbah *fly ash* sebagai keramik dengan pembakaran tinggi membentuk senyawa baru yang lebih stabil sehingga aman dilingkungan.

Nilai lindi dari uji TCLP pada setiap variasi penambahan limbah *fly ash* memberikan perbedaan yang signifikan antara satu dengan yang lainnya. Perbedaan nilai lindi ini dipengaruhi beberapa faktor diantaranya proses pencampuran bahan yang tidak homogen. Pada proses solidifikasi, pencampuran bahan-bahan mentah keramik dan limbah *fly ash* dilakukan secara manual dengan tangan. Pencampuran seperti ini menyebabkan tidak homogen antara bahan-bahan yang digunakan dengan limbah *fly ash* sehingga pada proses pencetakan, sampel pada masing-masing formula mengandung limbah *fly ash* yang berbeda.

Faktor ini juga dipengaruhi oleh sisa-sisa formula yang mengandung 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% limbah *fly ash* pada alat cetak yang digunakan, karena pada saat pencetakan didahulukan formula yang mengandung limbah *fly ash*. Pencetakan awal dilakukan untuk formula 4 yang selanjutnya dikuti

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian solidifikasi limbah *fly ash* industri tekstil untuk keramik yang bermutu serta aman bagi kesehatan dan lingkungan dapat disimpulkan :

1. Penambahan 10% yaitu sebesar 77,188 kg/cm² sampai dengan 30% yaitu sebesar 36,156 kg/cm² limbah *fly ash* yang digunakan dalam pembuatan keramik menghasilkan kualitas keramik yaitu kuat lentur yang baik, karena kuat lentur keramik masih berada diatas nilai pembanding keramik dinding yang dijual dipasaran yaitu sebesar 31,69 kg/cm²; 29,25 kg/cm² dan 21,94 kg/cm², sedangkan pada penambahan 40% limbah yaitu sebesar 16,250 kg/cm² menghasilkan nilai kuat lentur dibawah nilai pembanding sehingga menghasilkan mutu keramik kurang baik.
2. Pengujian pelindian (*leachate*) dengan metode *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) pada hasil solidifikasi dari penambahan 10%, 20%, 30% dan 40% limbah *fly ash* dengan bahan-bahan mentah keramik diperoleh hasil dibawah baku mutu (PP 18 tahun 1999). Hal ini berarti pengolahan limbah *fly ash* dengan solidifikasi menjadi keramik dapat memobilisasi logam-logam berat yaitu Cr, Zn dan Pb.

3. Persentase penambahan limbah *fly ash* yang optimum dalam pembentukan keramik dari aspek teknis (kuat lentur) dan aspek toksisitas (kesehatan dan lingkungan) yaitu 10%, hal ini dikarenakan memiliki nilai kuat lentur terbesar yaitu $77,188 \text{ kg/cm}^2$ dan nilai lindi Cr, Zn dan Pb sebesar 0,013 mg/l; 0,308 mg/l dan 0,176 mg/l berada dibawah nilai minimum yang ditetapkan.

5.2. Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan terhadap solidifikasi limbah *fly ash* industri tekstil dengan bahan-bahan keramik mengenai :

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut terhadap immobilisasi limbah *fly ash* dengan bahan-bahan mineral yang berbeda agar kualitas keramik lebih baik.
2. Pada pengujian kuat lentur keramik hendaknya mengacu pada nilai standar yang telah ditetapkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, (1994). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 19 Tahun 1994 Tentang Pengolahan Limbah Bahan Beracun dan Berbahaya*, Badan Pengendali Dampak Lingkungan, Jakarta, 1994.
- Anonim, (1996). *Bahan-bahan Berbahaya dan Dampaknya terhadap Kesehatan*
- Achmad, H. (1992). "Kimia unsur dan radiokimia", UI Press, Jakarta
- Suharto, S. (1989). *Kimia Anorganik Dasar*, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Alloway, B.J., (1990). *Heavy Metals in Soils*, Glasgow
- Astuti, A., (1997). *Pengetahuan Keramik*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Babich, H. and G. Stotzky. 1978. *Effects of cadmium on the biota : influence of environmental factors*. *Edv. Appl. Microbiol.* 23 : 55 – 117
- LaGrega, M.D., P.L. Buckingham, dan J.C. Evans, 1994, *Hazardous Waste Management*, McGraw-Hill International Inc., New York.
- C, Nelson Glen, 1984, *Ceramics*, Apotter's Hanbook, CBS New York.
- Djojo Soeprapto.S, (1997). *Teknologi Keramik*. Fakultas Teknik-UGM, Yogyakarta.
- Gatot Bidiyanto. Drs, 2003, *Mengenal Tanah Liat*, Pusat Pengembangan Dan Penataran Guru Kesenian Yogyakarta.
- Palar, Heryando., (1994). *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*, PT. Rineka Cipta, Jakarta.

- Sherve, R.N., (1956). *The Chemical Process Industries*, Second Ed., Mc. Graw Hill Book Company, Tokyo.
- Surdia, T. dan Saito, S., (1985). *Pengetahuan Bahan Keramik*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Suharto, S, (1989). *Kimia Anorganik Dasar*, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Tchobanglous, et al, (1997). *Solid Wastes, Engineering Principles and Managements Issues*, Mc. Graw-Hill, New York.
- Trihadiningrum, Yulinah, (2000). *Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)*, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Van Vlack, Lavrence H., Sriati Djaprie, 1994, *Ilmu dan Teknologi Bahan*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- www.Chemicalelements.com
- www.Ipteknet.com
- www.Lenntech.com