

628.4488

BAY

0 e.1



Nomor Kontrak : 015/DCRG/URGE/2000
Tanggal 16 Juni 2000

Laporan Akhir Penelitian DCRG

Judul Penelitian:

**Optimalisasi Proses dan Sifat Gelas Keramik dari Abu hazard
Incinerator**
(Optimized Processing and Properties of Glass-Ceramic from Hazardous
Incinerator Ash)

Peneliti

1. Ir. A.P. Bayuseno, M.Sc
2. Ir. Sulistyono, MT

Perguruan Tinggi Asal : Universitas Diponegoro
Host Institusi : Universitas Gadjah Mada

DOMESTIC COLLABORATIVE RESEARCH GRANT
PROYEK PENELITIAN UNTUK PENGEMBANGAN
PASCASARJANA/URGE
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN TINGGI
DEPARTMEN PENDIDIKAN NASIONAL
-2000/2001-

**LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN
LAPORAN HASIL PENELITIAN
PROGRAM DOMESTIC COLLABORATIVE RESEARCH GRANT
PROYEK PENELITIAN UNTUK PENGEMBANGAN
PASCASARJANA/URGE**

A. Judul Penelitian : Optimalisasi Proses dan Sifat Gelas Keramik dari Abu hazard Incinerator

B. Tim Peneliti

Nama Lengkap dan Gelar	Jenis Kelamin	Pangkat/Gol /NIP	Bidang Keahlian	Fak/ Jurusan	Perguruan Tinggi
1. A.P.Bayuseno, Ir, MSc	Laki-laki	Penata Muda/ III-c/ 131832228	Material Teknik	Teknik/ Teknik Mesin	UNDIP
2. Sulistyono, Ir, MT	Laki-laki	Penata Muda/ III-c/ 131932054	Metalurgi	Teknik/ Teknik Mesin	UNDIP

C. Pembimbing/Host Institusi : Dr-ing. Kusnanto


D. Pendanaan dan Jangka waktu penelitian


1. Jangka Waktu penelitian di Host Institution : 6 bulan
- Jangka Waktu penelitian di tempat asal : 3 bulan
- Biaya : Rp. 107.700.000,-



 DEKAN FAKULTAS TEKNIK UNDIP
 (Ir. Bambang Setioko, M.Eng)
 NIP. 130516595


Peneliti


 (Ir. A.P. Bayuseno, M.Sc)
 NIP: 131832228



 Menyetujui,
 Ketua Lembaga Penelitian
 Universitas Diponegoro
 (Prof. Dr. dr. Ign. Rawanto)
 NIP. 130529454

Pembimbing dari
Host Institusi


 (Dr-Ing. Kusnanto)
 NIP: 131695242

ABSTRACT

The incineration is potentially attractive technique for use in the processing of organic waste materials, which can reduce the big volume of waste fastest. This technique is of particular interests if applied in the big town of Indonesia due to the high density of population and the limited availability of space for landfilling. However incineration leaves considerable amount of filter ashes and residue containing significant concentrations of heavy metals and organic pollutant that are considered very hazardous for environment.

The alternative solution in isolating of hazardous waste is to form glassy state by using vitrification process. Studies have shown that vitrification process are effective in reducing the organic pollutants and the heavy metals by producing inert vitreous product that can be used for developing glass-ceramics. It is due to that vitrification involves relatively high costs, therefore the use of the process can be fully justified only if high quality product with optimised properties can be produced. Therefore this research was performed to optimise processing of hazardous incinerator ash and properties of glass-ceramics with low leachability of hazardous element.

The study involved development of small-scale incinerator, processing experiments of the domestic waste; characterisation measurements; determination of selected properties of the glass-ceramics developed. The principal focus of the research was to develop glass-ceramic materials from the incinerator ash by using vitrification process.

The research project was initiated by the development of a small-scale incinerator for processing organic solid waste in the Materials Laboratory. Filter ash and residue produced were subsequent used for raw materials of the glass-ceramics investigated. A Lithium-Aluminate-Silicate glass-ceramics with controlled hazardous composition from the incinerator ash was obtained by addition of 4-wt % Lithium Sulfate with (i) low density and (ii) crystalline structure. Specifically, the effects of vitrification on the complete destruction of organic pollutant and selected properties are addressed. X-ray diffraction (XRD) analysis was utilised to identify crystal structure of the materials. Physical (*density and porosity*) and mechanical properties (*strength*) was evaluated by Archimedes method and three-point bend testing, respectively.

The result indicates that the vitrification process are very promising solution to reduce the hazard component by forming a glass-ceramic materials. The synthesis of the LAS glass-ceramics could be performed in the temperature range 850^oC-1200^oC. In the diffraction pattern, evidence of crystallisation in the materials is provided, but the crystal belonging to the LAS (Li₂O-Al₂O₃-SiO₂) system was still questionable. The future for these materials would appear to be bright, and as environmental considerations continue to put pressure onto waste disposal, such as innovative recycling technology, could become increasingly commonplace. Also various applications of the materials could be developed as a paving material for roads or rooftops. There is great deal of expectation being placed on these materials from the waste treatment aspect and recycling.

RINGKASAN

Teknik pembakaran sampah dengan incinerator merupakan metode yang sangat efektif untuk diterapkan dalam mengolah sampah organik karena kemampuan menurunkan volume sampah secara cepat sebelum dibuang ketempat pembuangan akhir (TPA). Metode demikian sangat cocok jika diterapkan di kota-kota besar di Indonesia karena tingkat kepadatan penduduk yang relatif tinggi serta keterbatasan lahan pembuangan sampah akhir. Akan tetapi teknik pembakaran sampah masih menyisakan persoalan seperti abu terbang dan residu sisa yang biasanya masih mengandung sejumlah logam berat dan polutan organik yang mana dianggap sangat berbahaya bagi lingkungan. Salah satu cara penyelesaian alternatif dalam mengisolasi logam berat ini adalah dengan merubah abu menjadi bahan baku gelas dengan suatu proses vitrifikasi. Dari sejumlah studi telah menemukan bahwa proses vitrifikasi dikenal sangat efektif dalam menurunkan polutan organik dan logam berat serta menghasilkan bahan baku gelas yang murah dan ramah lingkungan, sehingga dapat dipergunakan untuk pengembangan bahan gelas keramik. Akan tetapi proses vitrifikasi memerlukan pemanasan pada temperatur tinggi ($>1200^{\circ}\text{C}$), maka proses ini seringkali dianggap tidak hemat energi dan kemungkinan tidak ekonomis pada skala kecil. Sehingga optimalisasi proses dalam membentuk gelas-keramik dan sifat-sifat teknisnya menjadi perhatian utama. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk mencoba memperoleh hasil optimal didalam memproses pembakaran sampah organik.

Penelitian yang dilakukan meliputi sejumlah kegiatan antara lain pembuatan incinerator skala laboratorium untuk pembakaran sampah domestik, kemudian dilanjutkan kaji eksperimen bahan abu, karakterisasi, serta evaluasi sifat-sifat teknis tertentu dari produk gelas keramik. Fokus utama dari penelitian ini adalah memanfaatkan abu incinerator sebagai bahan baku gelas-keramik yang murah dan ramah lingkungan dengan suatu proses vitrifikasi.

Kegiatan penelitian ini diawali dengan pembakaran sampah organik yang diperoleh dari tempat pembuangan akhir sampah. Hasil abu terbang yang terfilter dan residu selanjutnya dipergunakan sebagai bahan baku gelas-keramik. LAS

($\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$) gelas keramik dengan kontrol komposisi hazard dari abu incinerator dikembangkan dengan tambahan 4-wt % Lithium Sulfate ($\text{Li}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) untuk memperoleh gelas keramik dengan (i) masa jenis rendah dan (ii) struktur kristal. Secara khusus dikaji pengaruh vitrifikasi terhadap pelepasan polutan dan sifat tertentu produk gelas-keramik. Selanjutnya analisa diffraksi sinar-x (XRD analysis) digunakan untuk identifikasi struktur kristal dari material. Sifat fisik (*density and porosity* dan mekanik (*strength*) dievaluasi dengan metode Archmides dan three-point bending test.

Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa proses vitrifikasi merupakan proses yang layak dipertimbangkan dalam menurunkan polutan berbahaya dengan merubah bahan abu menjadi produk gelas-keramik. Sintesis LAS gelas keramik dapat diperoleh pada kisaran temperatur $850^\circ\text{C}-1200^\circ\text{C}$. Didalam pola diffraksi sinar-x memperlihatkan secara jelas keberadaan struktur kristal didalam material, tetapi struktur kristal termasuk dalam sistem LAS ($\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$) masih menjadi pertanyaan. Dimasa datang material ini memiliki potensi yang sangat baik karena adanya pertimbangan tekanan regulasi lingkungan dalam hal pembuangan bahan limbah. Selain itu material yang diperoleh dapat diterapkan untuk bahan paving jalan serta bangunan. Ada suatu harapan yang besar pada metode dan produk material ini jika ditinjau dari aspek pengeolahan limbah serta daur ulang.

PRAKATA

Laporan penelitian akhir ini berisi tentang pelaksanaan penelitian DCRG dari proyek URGE 2000 yang merupakan salah satu kegiatan magang dalam rangka meningkatkan kemampuan penelitian dosen muda.

Penelitian ini meliputi kegiatan dalam hal proses pembakaran sampah organik dengan incinerator; sintesis bahan gelas keramik dari bahan baku abu incinerator serta evaluasi sifat tekniknya.

Pelaksanaan penelitian ini terlaksana atas kerjasama Jurusan Teknik Nuklir Universitas Gadjah Mada dan Jurusan Teknik Mesin, Universitas Diponegoro yang dilaksanakan sesuai dengan perjanjian kontrak: 015/DCRG/URGE/2000 Tanggal 16 Juni 2000.

Atas selesainya penelitian ini kami ucapkan terimakasih kepada semua pihak khususnya Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Depdiknas yang telah memberikan kesempatan dan bantuan dana yang cukup besar untuk terselenggaranya kegiatan penelitian ini. Dengan harapan bahwa penelitian awal akan memberikan sumbangan cukup berarti bagi kemajuan ilmu pengetahuan indonesia serta bekal bagi tim peneliti untuk melakukan penelitian yang lebih maju.

Semarang 29 Januari 2001

Tim Peneliti
Universitas Diponegoro

DAFTAR ISI

	Halaman
KULIT DEPAN	i
LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
RINGKASAN	iv
PRAKATA	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR/ILLUSTRASI	ix
DAFTAR LAMPIRAN	ix
PROSES PELAKSANAAN PENELITIAN	x
BAB I. PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang Penelitian	1
I.2 Subyek Penelitian	3
I.3 Lokasi Penelitian	4
I.4 Hasil yang Diperoleh	4
BAB II. TUJUAN DAN MANFAAT	5
BAB III. TINJAUAN PUSTAKA	
III.1 Teknik Daur Ulang (recycling) Limbah	6
III.2 Teknik Pembuatan Gelas-Keramik	7
III.3 Sifat-Sifat Penting Bahan Gelas Keramik	7
III.4 Sistem Gelas-Keramik	9
BAB IV. METODE PENELITIAN	
IV.1 Alat Pembakar Sampah Incinerator	10
IV.2 Bahan Penelitian	10
IV.3 Alat Penelitian	10
IV.4 Prosedur Penelitian	11
IV.5 Analisis Hasil	12

BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN	
V.1 Karakter Bahan Baku	13
V.2 Densitas	13
V.3 Identifikasi Fasa	14
V.4 Sifat Mekanis dan Kimia	15
BAB VI. KESIMPULAN DAN ALUR PENELITIAN BARU SEBAGAI HASIL PENELITIAN DCRG	
VI.1 Proses Abu Incinerator dan Sifat Gelas-Keramik	16
VI.2 Alur Penelitian Baru	16
DAFTAR PUSTAKA	17
LAMPIRAN	18

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Komposisi Timbulan Limbah Padat	1
Tabel 5.1	Komposisi Bahan Baku Incinerator	13
Table 5.2	Sifat Terukur Material Gelas-Keramik	15

DAFTAR GAMBAR/ILLUSTRASI

Gambar 3.1	Tahap-tahap proses pembuatan bahan-bahan keramik	1
Gambar 5.1	Densifikasi bahan gelas keramik tanpa Li-additif disinter pada 1200 °C sebagai fungsi waktu. “Error bars” menyatakan tingkat kesalahan dari pengukuran.	14
Gambar 5.2	Pola XRD untuk: (a) bahan abu terbang di sinter pada 1200 °C; 1jam dan (b) produk gelas-keramik disinter kembali pada 850 °C selama 2 jam.	15

DAFTAR LAMPIRAN

Gambar 1	Alat Incinerator Skala Laboratorium	19
-----------------	-------------------------------------	----

PROSES PELAKSANAAN PENELITIAN

1. Efektifitas magang

Secara umum hasil magang yang telah dicapai cukup memuaskan terutama dalam hal bagaimana proses penelitian yang benar dan kecukupan peralatan percobaan, sesuai dengan jadwal yang telah disusun. Selama pelaksanaan kegiatan magang ini komunikasi dengan pembimbing dilakukan secara intensif minimal seminggu sekali. Namun demikian ada beberapa peralatan yang tidak tersedia seperti X-ray diffraktometer terpaksa harus meminjam ditempat lain (Balai besar keramik di Bandung).

2. Kontribusi magang terhadap kompetensi sebagai peneliti dan akademisi

Magang merupakan salah satu cara interaksi (pembimbing dan tim peneliti) yang sangat efektif dalam transfer ilmu pengetahuan dan teknologi dari host yang lebih berpengalaman. Cara tersebut diatas sangat berperan penting dalam kontribusi meningkatkan kompetensi para peneliti muda dalam melakukan penelitian dan penguasaan ilmu pengetahuan seperti metodologi penelitian, kedalaman penelitian.

3. Hambatan-hambatan yang terjadi dalam proses pelaksanaan

Salah satu hambatan selama melaksanakan penelitian ini adalah ketiadaan peralatan dan pustaka untuk bahan kajian tertentu. Hal ini menyebabkan proses magang tidak berjalan secara optimal.

4. Specific lessons learned.

Proses magang pada program DCRG sangat baik untuk memberikan kesempatan kepada peneliti muda untuk mengakses secara bebas peralatan dan kepakaran (SDM) dari Host institusi, (UGM). Kerjasama yang terjalin akan

memberikan banyak keuntungan bersama baik host (UGM) maupun institusi asal (UNDIP) seperti berbagi pengalaman dan saling mengkritisi hasil kerja tim untuk pengembangan di masa datang. Namun demikian program DCRG perlu ditingkatkan lagi terutama waktu pelaksanaan dan biaya.

5. Plan for action

Rencana kerja selanjutnya adalah menggalang kerja sama yang lebih erat antara tim peneliti dari institusi asal dan host. Strategi yang akan dilakukan dengan melakukan komunikasi yang intensif seperti pembuatan proposal penelitian yang lebih “*advanced*” sebagai kelanjutan penelitian ini, diharapkan peran serta industri terkait juga sangat penting dalam upaya mengaplikasikan hasil penelitian ini.

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang Penelitian

Perkembangan yang pesat pada sektor dunia usaha dan industri di kota besar pada akhirnya melahirkan kompleksitas masalah lingkungan hidup. Pertumbuhan ekonomi yang baik ini sering kali tidak diimbangi dengan peningkatan kualitas lingkungan. Salah satu permasalahan yang banyak dihadapi kota-kota besar sampai saat ini adalah bagaimana mengolah sampah, seiring dengan pertumbuhan penduduk yang meningkat tajam. Contoh yang bisa dipakai untuk memperjelas fenomena ini adalah data total timbulan sampah di Kota Semarang mencapai $13.350,00 \text{ m}^3/\text{hari}$ dengan prosentase komposisi sampah (lihat tabel 1.1) dengan sampah organik menempati urutan teratas.

Tabel 1.1: Komposisi Timbulan Limbah Padat

No	Komposisi	Pemukiman (%)	Pasar (%)	Jalan Raya (%)
1	Organik	68,14	78,24	82,45
2	Kertas	5,59	6,49	5,21
3	Kaca/Gelas	0,16	0,14	0,05
4	Plastik	14,15	8,15	6,28
5	Logam	0,56	0,44	0,32
6	Kayu/Bambu	5,07	2,65	0,26
7	Kain/Textil	2,97	1,84	1,12
8	Karet	3,36	2,05	1,12
9	Lain-lain Pasir/Tanah	-		3,67
	Total	100	100	100

Teknik pengolahan sampah organik di Indonesia saat ini pada umumnya meliputi penimbunan, komposter dan pembakaran. Dari berbagai teknik yang ada, komposter dikenal menjadikan sampah menjadi bernilai guna yaitu sebagai pupuk tanaman. Sedangkan pembakaran dan penimbunan (*land filling*) belum mengubah sampah menjadi bahan yang bermanfaat tetapi hanya mengurangi volumenya, bahkan sering kali masih menjadi persoalan lingkungan seperti pencemaran air dan udara. Ini berarti bahwa pencemaran air dan udara masih merupakan isu-isu

lingkungan hidup utama di kota besar seiring pertumbuhan ekonomi dan penduduk yang pesat. Untuk menghadapi persoalan tersebut salah satu penelitian yang dilakukan adalah teknik pembakaran sampah terkontrol dengan sebuah alat incinerator dengan tujuan menurunkan volume sampah yang cukup besar (Bickford dkk, 1994; Jorgensen dan Johnsen, 1989). Hasil-hasil kegiatan penelitian tersebut sekaligus menegaskan bahwa teknik pembakaran sampah dengan incinerator merupakan salah satu solusi yang layak diterapkan oleh Indonesia untuk strategi management limbah (*the waste management strategy*) terutama untuk mengatasi polusi di kota-kota besar dimana lahan TPA sangat terbatas dengan tingkat kerapatan penduduk tinggi (Williams, 1994).

Pembakaran terkontrol sampah organik dengan incinerator pada dasarnya mampu menurunkan volume sampah sampai ~ 90%, namun demikian sejumlah besar residu dan abu terbang terfilter (*filter fly ash*) yang tertinggal merupakan masalah lingkungan yang harus terpecahkan karena sering kali mengandung konsentrasi seperti logam-logam berat, arsenic, timah hitam, antimony serta beberapa racun organik seperti polychlordibenzo-dioxins dan furanes. Demikian juga sebanyak 25-30 kg abu terbang hasil tiap 1000 kg sampah selama pembakaran didalam incinerator (Boccaccini dkk, 1997) perlu dimanfaatkan. Penelitian oleh Boccaccini dkk (1997) telah merekomendasikan beberapa metoda perlakuan abu terbang seperti: (i) penyimpanan didalam tanah dengan dinding semen, (ii) pengolahan kimia dan (iii) perlakuan panas (*heat treatment & vitrification*). Studi yang dilakukan oleh Boccaccini dkk (1997) akhir-akhir ini menegaskan bahwa teknik vitrifikasi (*vitrification*) memberikan penyelesaian yang sangat menjanjikan (*promising*) untuk pengolahan abu incinerator. Karena selain dapat menurunkan pencemaran lingkungan, juga dapat memanfaatkan bahan sisa pembakaran tersebut potensial sebagai bahan baku dasar gelas-keramik. Namun demikian penelitian tentang pemanfaatan abu pembakaran sampah sebagai bahan baku keramik masih terbatas dilakukan oleh para ahli.

Oleh karena itu penelitian tentang pembakaran sampah dengan incinerator dan proses vitrifikasi (*daur ulang*) abu incinerator menjadi sangat penting dalam

¹ Sumber Dinas Kebersihan Kodya Semarang tahun 1998

mendukung program kebersihan lingkungan serta memberikan nilai tambah tinggi untuk sampah. Dengan demikian pemanfaatan abu incinerator merupakan salah satu penelitian tentang alternatif pemecahan pengolahan sampah di kota besar yang tidak hanya menurunkan volume sampah, tetapi juga memproses bahan tersebut menjadi bahan teknik yang berfaedah serta ramah lingkungan.

1.2 Subyek Penelitian

Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah upaya alternatif pengolahan sampah organik dengan sebuah alat pembakar *incinerator*. Masalah pertama yang diteliti adalah pengkajian yang seksama mengenai **faktor-faktor kunci** yang mengendalikan **kualitas** proses pembakaran sampah organik dengan incinerator untuk penurunan volume serta pengaruhnya pada emisi pembakaran yang dihasilkan (partikel abu terbang yang dibuang ke udara). Masalah kedua adalah penelitian tentang **pemanfaatan** bahan abu incinerator sebagai bahan baku untuk gelas-keramik. Pemanfaatan abu ini diarahkan pada proses vitrifikasi (pemanasan) terhadap permurnian abu incinerator seperti penurunan kandungan unsur-unsur kimia berbahaya (Pb, Cd), dilanjutkan pengkajian sifat fisis, mekanis, struktur mikro bahan gelas-keramik yang diperoleh.

Untuk pelaksanaan penelitian ini telah dilakukan pembuatan incinerator skala laboratorium sebagai teknologi pembakar sampah organik. Tahap penelitian magang selanjutnya dilakukan *proses vitrifikasi* abu incinerator melalui proses pemanasan suhu tinggi. Teknik ini diharapkan mampu menurunkan kandungan unsur logam berat yang berbahaya sehingga material yang dihasilkan ramah lingkungan.

Pada proses vitrifikasi ini data tentang suhu dan waktu pemanasan menjadi parameter yang diamati. Pada akhir proses pengolahan dan pemurnian abu incinerator dengan metode vitrifikasi ini akan diperoleh bahan gelas keramik yang siap dilakukan proses sintesis bahan gelas keramik. Bahan baku gelas-keramik dari abu yang sudah divitrifikasi selanjutnya mengalami serangkaian perlakuan panas yaitu *quenching* dan *crystallisation heat treatment*.

I.3 Lokasi Penelitian

Kegiatan penelitian ini dilaksanakan oleh 2 (dua) orang staf pengajar Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro dengan keahlian dibidang masing-masing. Penelitian ini dilakukan dua tahap yaitu tahap I magang di Jurusan Teknik Nuklir-UGM dan tahap II dengan menggunakan sarana yang sudah ada di Laboratorium Material, Jurusan Teknik Mesin, FT-UNDIP. Selain staf tenaga pengajar di atas, pelaksanaan kegiatan penelitian tahap II juga dibantu oleh 3 orang asisten yang terdiri 2 orang mahasiswa dan 1 teknisi laboratorium yang diperlukan untuk membantu proses sintesis dan karakterisasi bahan keramik. Beberapa uji sampel X-ray dilakukan di laboratorium Balai Besar Keramik Bandung.

I.4 Hasil Yang Diperoleh

Didalam pelaksanaan penelitian didapat beberapa hasil awal yang sangat baik untuk pengembangan penelitian lanjutan. Hasil penting yang diperoleh antara lain sebagai berikut:

- 1 Didapat unsur kimia (Cd, Pb) didalam abu sampah yang sangat berbahaya bagi lingkungan namun potensial sebagai bahan baku gelas-keramik.
- 2 Sintesis gelas keramik dari abu incinerator dapat dilakukan pada temperatur 1000-1200^oC dengan hasil densitas dan porositas yang bervariasi. Apabila temperatur sinter lebih besar dari harga tersebut, densitas kemungkinan juga meningkat, namun porositas semakin menurun.
- 3 Bahan gelas-keramik yang dihasilkan memiliki struktur kristalin sesuai dengan hasil data X-ray (XRD analysis), namun belum sesuai harapan apabila dicocokkan dengan sistem Li₂O-Al₂O₃-SiO₂ (LAS) yang dianut, karena bahan baku abu masih banyak mengandung kotoran yang tinggi. Perlu dilakukan proses sintesis yang lebih seksama, terutama kontrol temperatur dan waktu sinter.