

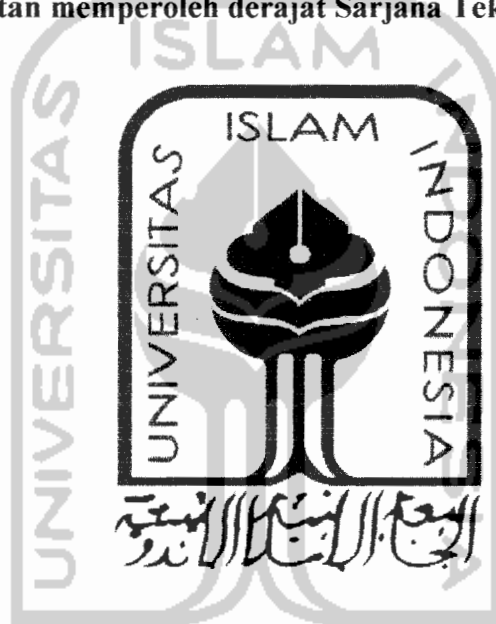
TA/ TL/ 2005/ 0014

NO. JUDUL :	15 September 2005
NO. UJIAN :	001721
NO. DAFTAR :	512 000 1721001
NO. HUKUM :	

TUGAS AKHIR

SOLIDIFIKASI LIMBAH KROMIUM INDUSTRI PENYAMAKAN KULIT DENGAN TEKNOLOGI KERAMIK

Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh derajat Sarjana Teknik Lingkungan



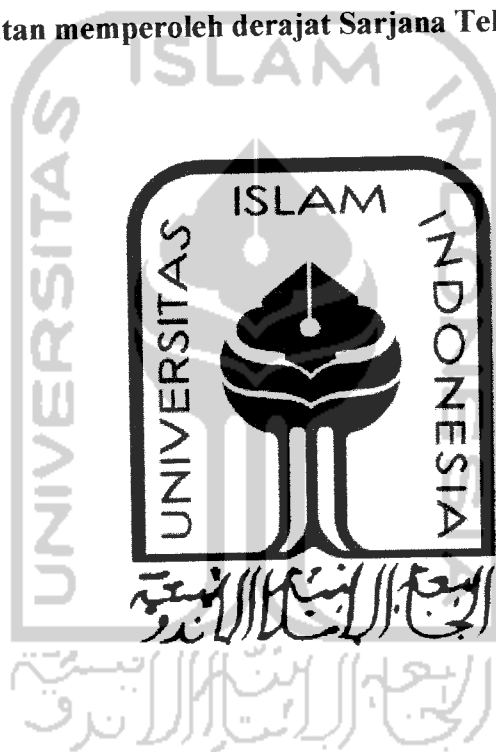
Oleh :
Nama : FIKRY RHIDANY
No. Mhs. : 00513075

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2004

TUGAS AKHIR

SOLIDIFIKASI LIMBAH KROMIUM INDUSTRI PENYAMAKAN KULIT DENGAN TEKNOLOGI KERAMIK

**Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia untuk memenuhi sebagian
persyaratan memperoleh derajat Sarjana Teknik Lingkungan**



Oleh :

Nama : FIKRY RHIDANY

No. Mhs. : 00513075

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2004**

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR
SOLIDIFIKASI LIMBAH KROMIUM INDUSTRI
PENYAMAKAN KULIT DENGAN
TEKNOLOGI KERAMIK



Oleh :


Nama : **FIKRY RHIDANY**


No.Mhs. : **00513075**

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Ir. H. Kasam, MT
Dosen Pembimbing I

Ir. Prayitno, M.Eng
Dosen Pembimbing II


Tanggal : **7-01-2005**


Tanggal : **7-1-2005**

UJIAN AKHIR PERSEMBAHAN

व्यहृतस वक्षिर्णिं निं हिर्युं फेरसेमोवर्हिस्तं हिरिन्देवत :

Segala puji bagi ALLAH SWT, Rab semesta alam raya, Shalawat dan salam semoga senantiasa tercurah kepada Rasulullah Muhammad SAW, Keluarga, Sahabat dan Pengikutnya yang setia sampai akhir jamannya.

- I am dedicated The Final Project To :
- ~ My Mom and My Dad for affection which have never ended
 - ~ My Lovely Sister, Vidia nd Ventia (You are the best My sister).
 - ~ My Big Family in Palembang City nd Bangka Island.
 - ~ Para Guru, Dosen dan pendidik lainnya yang telah memberikan ilmunya kepada saya.
 - ~ Para filsuf-filsuf, kaum intelektual dunia dan leaders -leaders in the world.. (kalian menjadi isinspirasi dalam hidup ini).....
 - ~ Para Chief Executive Officer, President Director, General Manager...(Kalian menjadi pemacu semangat tuk).
 - ~ All Enviro Community Indonesia Islamic University (99-04), Especially To 2000 Generation....Perjuangan belum selesai...
 - ~ All My Friend in my life without all of ypu my life this meaningless... yg telah mengisi sebagian perjalanan hidupku.....

SEMOGA ALLAH SENANTIASA MEMBERIKAN PETUNJUK,
KASIH SAYANG DAN CINTANYA BACI KITA SEMUAAmin

MOTTO

- ✦ **Secungguhnya sesudah kesulitan itu pasti ada kemudahan (Q.S. Alinsyiraah : 5 dan 6).**
- ✦ **Sabda Nabi : “ Beritahukan/ajarkan apa-apa yang engkau ketahui, maka Allah akan memberi tahu/mengajarkan apa-apa yang tidak/belum engkau ketahui”.**
- ✦ **Cukup bagi kami ilmu sebagai milik
Biarkan kami berlimpah dengan ilmu
Biarkan yang Awam bergelimang harta
Harta kan Luluh lantah dalam Sekejap
Sedang Ilmu tiada' kan Fana.**
- ✦ **Ketidakmampuan belajar dari kesalahan adalah satu-satunya penyebab terbesar kegagalan para pemimpin.**
- ✦ **Kita harus memiliki mimpi jika akan membuatnya menjadi suatu kenyataan. (Denis C. Waitley)**
- ✦ **Treat the world well, it was not given by your parent but it was lent from your children. (Save The Human & Environmental)...**

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr.Wb

Puji syukur tiada terkira bagi Maha Raja pemilik seluruh kerajaan alam semesta Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah - Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan penelitian dan menyusun laporan Tugas Akhir ini dengan baik. Sholawat serta salam tak terbatas juga saya haturkan kepada Nabi besar junjungan kita Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan sahabatnya yang merupakan panutan manusia sepanjang zaman serta telah membawa kita dari zaman jahiliyah ke zaman yang terang benderang ini. Amin.

Penyusunan Laporan Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademis guna memperoleh gelar Sarjana S-1 Teknik Lingkungan di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Jogjakarta. Adapun judul Tugas Akhir yang saya ajukan adalah **“SOLIDIFIKASI LIMBAH KROMIUM INDUSTRI PENYAMAKAN KULIT DENGAN TEKNOLOGI KERAMIK”**.

Dalam penulisan laporan ini penyusun banyak mendapatkan bimbingan, bantuan, saran, arahan, kerjasama dan dorongan dari berbagai pihak sehingga laporan ini dapat diselesaikan dengan baik. Pada kesempatan ini tak lupa penulis juga menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT yang memberikan ridho dan hidayah-Nya (Beri hamba kesempatan untuk membahagiakan orang-orang yang tak pernah berhenti menyayangiku) serta Nabi Besar Muhammad SAW beserta keluarga, para sahabat dan pengikut-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan laporannya.
2. Kedua orang tuaku tercinta (Miss U Mom and Dad) yang selalu mendoakan demi kesuksesan dan kelancaran Tugas Akhir anaknya dan My little angels Vidia and ventia (You are the best my Sister) serta My Big Family in Palembang nd Bangka Island. Especially to Maz Dedy yang membawa ke Jogja City.

KEPUTUSAN ANEKAD

SOLOKODINENASTI KAMPALAN PERSEKUTUAN BUKU
DIPERJANJANGKAN KEPADA PERUSAHAAN
INTEKTIONAL CECIL KERTANATIK

diperintahkan dan dimandatkan oleh

RIKRI RIBDANY
00511075



yang disetujui dan disahkan oleh
DPRM - RIKRIAN Yogyakarta
Pada tanggal 17 January 2005

17 Januari 2005

Ketala Bidang
Pesantren dan Kerjasama

Dr. H. Rizkiyanti
NIP. 19600401199001001

Pesantren

Dr. Pratiwi A. Nur
NIP. 19600401199001001

الجامعة الإسلامية
Yogyakarta

Mevrouw

Mopala PIRIJA D. STAN 732210001

Dr. Muhammad Rizkiyanti
NIP. 19600401199001001

3. Bapak Ir. H. Kasam, MT, selaku Dosen Pembimbing I dan sekaligus sebagai Ketua Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia Jogjakarta.
4. Bapak Ir. Prayitno, M.Eng, selaku Dosen Pembimbing II.
5. Bapak Endro Kismolo, Amd dan Bapak Tri Suyatno selaku Dosen Pembimbing di Lapangan.
6. Bapak Raharjo, Bapak Suko, Ibu Nurimaniwathy dan Bapak Warsito Yerima kasih atas support dan bantuan yang begitu berharga ketika penyusun mengalami masa-masa sulit.
7. Bapak Andik Yulianto, ST selaku Koordinator Tugas Akhir.
8. Bapak Luqman Hakim, ST, Msi selaku Dosen Pembimbing Akademik (DPA) semoga kebaikannya dibalas oleh Allah.
9. Bapak Hudori, Bapak Eko Siswoyo, Bapak Kris Tri Basuki, Bapak.Drajad, Bapak Agus Taftazani, Bapak Hananto, Bapak Agus Jamal, Bapak Suyitno, Bapak Edy purwanto, Bapak Zaenal, Bapak Yusdani, Bapak Lalu Makrub, dll, Ibu Iis Fatimah, Msi, Ibu Any Julianti, ST, ibu Yulia, ST dan semua Dosen yang telah berbagi dan memberikan ilmunya kepada saya. Maturnuwun atas didikan dan ilmunya selama ini. (hanya Allah yang mampu membalas kebaikan yang sangat agung tersebut).
10. Bapak Widodo, Bpk Syamsudin, dan Bpk Tasyono yang telah membantu saya melakukan penelitian di Laboratorium.
11. Bapak Adi Saputra, ST selaku Tenaga pengajar Teknik Lingkungan (Thanxs for sharing and **Good Luck MAN**)
12. Maz Agus yang telah dengan sabar melayani saya dlm membuat surat administrasi, surat tugas. (semoga Allah mencatat amal kebaikannya).
13. Seluruh teman-teman TL UII Noceng Generation, thxs atas bantuan, doa, dan kebersamaan yang begitu berarti (Ayo Wisuda Barenggg !?!?!) & All Enviro Community (Angkatan 1999 to angkatan 2004)
14. ALL News or Old YUDISTIRA Kost2an Community Thanxs tuk kebersamaan kita selama ini dan Kamar Kostku T4 aku menghabiskan waktu _ siang maupun malam di Kota Jogja ini.....

15. Seluruh Waroeng Makan yg ada di YK yang telah menyediakan makanan yang enak dan murah-murah, Seluruh Fotocopian di YK yang telah menyediakan jasanya untuk copiiin bahan kuliah & buku selama di YK.
16. Kota Djogdjakarta dengan segala keindahan dan polusinya nd seluruh masyahrakatnya yang ramah & baik hati yang telah menerima saya tuk melakukan study di kota ini nd Bandung City (My Second City), Thanks to Cewexsnya yang Geulis Pisann Ueii.....
17. Tempat saya melakukan perjalanan study **S1** ini : Pertamina UP IV Cilacap As Job training Place (Terimakasih to Seluruh karyawan Pertamina UP IV Cilacap khususnya Bidang LLKK),Temon Village As KKN Place (Maturnuwun to All Community in Temon Village) nd BATAN Jogja As My Final Project Place (thanks to All Staf in BATAN Jogjakarta especially to BK2, CV Fajar Makmur for the chrom waste, Thanks telah memberikan saya kesempatan untuk menimba ilmu disana.
18. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu yang telah berperan baik secara langsung maupun tidak langsung bagi penulis

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini jauh dari sempurna dan masih banyak kekurangan, untuk itu penulis menerima saran, kritikan dan dorongan dari berbagai pihak, semoga Allah membalas budi baik yang telah diberikan.

Akhir kata penulis berharap Semoga dengan adanya laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat guna menambah pengetahuan dan wawasan bagi yang membacanya.
Amin

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Djogdjakarta, Thul-Quada1425

Desember 2004

FIKRY RHIDANY

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
INTISARI	xiv
ABSTRAKSI	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pengertian Solidifikasi	7
2.2.1 Prinsip Dasar Solidifikasi	8
2.2 Industri Penyamakan Kulit	11
2.2.1 Bahan Penyamakan Kulit	12
2.2.2 Bahan Baku Proses Penyamakan Kulit	13
2.2.3 Proses Penyamakan Kulit	13
2.2.4 Sumber Limbah Industri Penyamakan Kulit	17
2.3 Senyawa Kapur (CaCO_3)	18
2.4 Kromium	20

2.4.1	Krom (Cr) Dalam Lingkungan	23
2.4.2	Kegunaan Krom (Cr) Dalam Kehidupan	25
2.4.3	Keracunan Kromium (Cr)	26
2.5	Penetralan Kapur dengan Kapur (CaCO_3)	27
2.6	Pengolahan Limbah Dengan Adsorpsi	28
2.7	Proses Penjerapan	29
2.8	Keramik	32
2.8.1	Penggolongan Keramik	33
2.8.2	Bahan Baku Keramik	36
2.8.3	Pembuatan Keramik	37
2.9	Bentonit	38
2.10	Feldspar	41
2.11	Kaolin	42
2.12	Aktivasi	44
2.13	Kuat Tekan	45
2.14	Lindi / Leachate	46
2.15	Hipotesa	47

BAB III METODE PENELITIAN

3.1	Prosedur Penelitian	48
3.2	Lokasi Penelitian	49
3.3	Jenis Penelitian	49
3.4	Waktu Penelitian	49
3.5	Variabel Penelitian	49
3.6	Bahan dan Alat Penelitian	50
3.7	Tahapan Pelaksanaan Penelitian	51
3.6.1	Pembuatan Bahan	51
3.6.2	Aktivasi Mineral Lokal	51
3.6.3	Penambahan Kapur Pada Limbah Krom Cair	51
3.8	Cara Kerja	55
3.7.1	Penambahan Kapur Pada Limbah Krom	55

3.7.2	Persiapan Mineral	55
3.7.3	Pembuatan Keramik Limbah Lumpur Krom	56
3.9	Analisis Hasil Penelitian	56
3.8.1	Analisa Sampel	56
3.8.1.1	Uji Ketahanan Tekan	56
3.8.1.2	Uji Susut Berat	57
3.8.1.3	Uji Lindi	58
3.8.2	Analisis Data	58

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1	Hasil Penelitian	60
4.1.1	Hasil Penambahan Kapur	60
4.1.2	Hasil Variasi Komposisi Mineral Lokal	63
4.1.3	Pemberian Variasi Konsentrasi dan Suhu	66
4.1.3.1	Pengaruh Lumpur Terhadap Kuat Tekan	66
4.1.3.2	Pengaruh Lumpur Terhadap Susut Berat	68
4.1.3.3	Pengaruh Lumpur Terhadap Pelindian	70
4.2	Pembahasan	72
4.2.1	Penentuan Penambahan Kapur Optimum	72
4.2.2	Penentuan Komposisi Mineral Lokal	74
4.2.3	Pengaruh Penambahan Lumpur Terhadap Kuat Tekan	74
4.2.4	Pengaruh Penambahan Lumpur Terhadap Susut Berat	78
4.2.5	Pengaruh Penambahan Lumpur Terhadap Pelindian	80
4.3	Alur Proses Pengolahan Persentase Removal Krom	86
4.4	Proses Alur Terjadinya Pelepasan Krom dalam Keramik	86
4.5	Aplikasi Teknologi Keramik Limbah	87
4.5.1	Komposisi Keramik Limbah	90
4.5.2	Penggunaan Dalam Industri	91
4.5.2.1	Perhitungan Jumlah Produksi	91
4.5.2.2	Perhitungan Modal	93

4.3.2.3	Perhitungan Ekonomi	94
---------	---------------------------	----

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	97
5.2	Saran	98

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

No. Tabel		Hal
2.1	Sumber dan Jenis Buangan Industri Penyamakan Kulit	17
2.2	Beberapa Sifat Fisik Logam Kromium	21
3.1	Jumlah Sampel Uji Kuat Tekan	56
3.2	Jumlah Sampel Uji Susut Berat	56
3.3	Jumlah Sampel Uji Lindi	57
4.1	Efisiensi Penurunan Kadar Krom	59
4.2	Penentuan Komposisi Monolit Yang Terbaik	63
4.3	Penentuan Pengaruh Lumpur Terhadap Kuat Tekan (KN/cm ²)	65
4.4	Penentuan Pengaruh Lumpur Terhadap Kuat Tekan (Ton/m ²)	66
4.5	Penentuan Pengaruh Lumpur Terhadap Susut Berat (%)	68
4.6	Penentuan Pengaruh Lumpur Terhadap Pelindian (ppm)	70



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Hal
2.1	Flow Proses Penyamakan Kulit 16
2.2	Diagram Alir Aktivasi Dengan Pemanasan 45
3.1	Prosedur Penelitian 48
3.2	Skema Alir Proses Pembuatan Keramik dari Limbah Krom 54
4.1	Grafik Korelasi Antara Beningan Krom dengan Pengadukan 61
4.2	Grafik Korelasi Antara Efisiensi Terhadap Dosis Kapur 61
4.3	Model Monolit yang Digunakan Dalam Penelitian 63
4.4	Grafik Korelasi Antara Kuat Tekan Terhadap Jenis Komposisi Mineral 65
4.5	Grafik Korelasi Antara Susut Berat Terhadap Jenis Komposisi Mineral 65
4.6	Grafik Perbandingan Kuat Tekan (KN/cm^2) terhadap Lumpur Krom 67
4.7	Grafik Perbandingan Kuat Tekan (Ton/m^2) terhadap Lumpur Krom 68
4.8	Grafik Perbandingan Susut Berat (%) terhadap Lumpur Krom 70
4.9	Grafik Perbandingan Uji Lindi (ppm) terhadap Lumpur Krom 72
4.10	Bentuk Struktur Saringan Berongga 83
4.11	Bentuk Struktur Saringan Berongga Yang Telah Terisi Lumpur Krom 84
4.12	Perubahan Susunan Partikel Dalam Solidifikasi 85
4.13	Alur Proses Pengolahan Persentase Removal Krom 86
4.14	Skema Model Preparasi Limbah Cair B3 95
4.15	Skema Metode Pembuatan Keramik Limbah Untuk Industri 96

INTISARI

Limbah adalah bahan sisa dari suatu proses produksi atau suatu bahan yang tidak dapat digunakan lagi sesuai dengan fungsinya. Limbah Krom merupakan salah satu logam berat (*Heavy Metal*) yang mana juga termasuk kedalam golongan limbah bahan berbahaya dan beracun (B_3). Oleh karena itu diperlukan suatu pengolahan atau *treatment* terhadap limbah yang mengandung limbah krom dengan kadar atau kuantitas di atas ambang batas. Dan salah satu alternatif yang dapat dilakukan antara lain adalah *solidifikasi* (Pemadatan) dengan menggunakan kapur ($Ca(OH)_2$) sebagai bahan adsorben. Dengan kapur maka limbah cair yang masih mengandung krom akan terakumulasi dengan terbentuknya suatu endapan yang mana endapan tersebut dijadikan sebagai bahan dasar untuk pembuatan keramik dengan *Bentonit, Feldspar dan Kaolin* sebagai bahan pengikat yang mana jika limbah cair yang masih mengandung krom dibiarkan saja tanpa diolah maka *Environmental Cost* yang sangat tinggi karena krom akan terdispersi ke alam sehingga akan merusak lingkungan.

Kesadaran terhadap kelestarian lingkungan mendorong para peneliti melakukan berbagai usaha, diantaranya mengolah limbah yang mengandung polutan berbahaya sehingga dicapai suatu kondisi dimana limbah tersebut memenuhi syarat yang diijinkan dan tidak mengganggu kesehatan makhluk hidup. Oleh karena itu maka dilakukan penelitian tentang pemanfaatan $Ca(OH)_2$ sebagai bahan adsorben dan mineral lokal (*bentonit, feldspar dan kaolin*) sebagai bahan pengikat. Adapun judul dalam penelitian ini : **“SOLIDIFIKASI LIMBAH KROMIUM INDUSTRI PENYAMAKAN KULIT DENGAN TEKNOLOGI KERAMIK”**.

ABSTRACT

Waste is substance of remains from production process or a substance which cannot be used again as according to its function. Chrome Waste represent one of heavy metal which also the inclusive of into poisonous and dangerous substance waste faction (B3). Therefore needed a processing or treatment to waste is contain chrome waste with the rate or quality is above the regulation. And one of alternative which can be done is solidifikasi by using lime (CaCO_3) or *slaked lime* (Ca(OH)_2) as can be Adsorbent. Which lime to be liquid waste which still contain the chrome will accumulate with formed a sediment which the sediment made upon which elementary substances for ceramic making by Bentonit, Feldspar and Kaolin upon which binder, if liquid waste still contain chrome let it without processed so can have impact to environmental cost because chrome with high quality can be dispersion to nature so that will destroy the human and environment.

Awareness to environmental continuity push all researcher do various effort, among other things pregnant to waste treatment which contain of dangerous polutan so that reached by an condition of where the waste up to standard permitted and do not bother the health of human and animal. Therefore in consequence is hence done by research of about exploiting Ca(OH)_2 which adsorbent and local mineral (bentonit, feldspar and kaolin) upon which binder As for title in this research :

“WASTE CROMIUM SOLIDIFICATION OF LEATHER TANNING INDUSTRY USING CERAMIC TECHNOLOGY”.

Key Word : Chrome waste, Heavy metal, Lime (Ca(OH)_2), Binder, Adsorbent, Bentonit, Feldspar and Kaolin.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permasalahan lingkungan hidup akan terus muncul secara serius di berbagai pelosok bumi sepanjang penduduk bumi tidak segera memikirkan dan mengutamakan keselamatan dan keseimbangan lingkungan hidup itu sendiri. Demikian juga di Indonesia, permasalahan lingkungan hidup seolah-olah seperti dibiarkan seiring dengan semakin meningkatnya perkembangan penduduk dan perkembangan teknologi di era globalisasi seperti sekarang ini.

Permasalahan lingkungan pada dasarnya merupakan suatu permasalahan yang sangat serius, baik bagi individu maupun kolektivitas masyarakat itu sendiri. Seiring dengan perkembangan penduduk pada masa kini dan untuk meningkatkan taraf hidup serta kesejahteraan masyarakat maka perlu adanya peningkatan pembangunan di berbagai sektor, seperti perumahan, pertanian, industri dan lain sebagainya. Perkembangan penduduk dan berkembangnya IPTEK dalam berbagai hal seperti dalam penggunaan logam berat dapat memberikan manfaat bagi kesejahteraan manusia, karena bahan logam banyak digunakan dalam berbagai bidang antara lain : IPTEK, kesehatan, industri, energi, dll. Dari hasil kegiatan itu akan menimbulkan dampak negatif yang berupa limbah hasil dari *side product* yaitu suatu produk sisa dari suatu aktifitas/kegiatan manusia yang apabila tidak dikelola secara tepat dapat mengakibatkan pencemaran terhadap lingkungan baik

udara, air, maupun tanah. Dampak negatif yang timbul dapat mengakibatkan, antara lain :

1. Bahaya bagi kesehatan manusia, karena dapat membawa suatu penyakit
2. Dapat merusak atau membunuh kehidupan di dalam air
3. Warna dan bau mengganggu estetika lingkungan

Di Daerah Jogjakarta banyak sekali terdapat Industri kecil dan rumah tangga yang bergerak di bidang pembuatan tempe, kerajinan perak, industri batik dan penyamakan kulit yang mana dari kegiatan tersebut menimbulkan limbah cair yang masih terdapat unsur atau senyawa yang masih berbahaya bagi kesehatan manusia. Dalam penelitian kali ini Industri yang digunakan adalah industri penyamakan kulit yang banyak menimbulkan limbah krom yang merupakan salah satu bahan limbah berbahaya dan beracun (B₃).

Dalam pengolahan limbah dapat dilakukan dengan beberapa cara antara lain menggunakan prinsip 4R yaitu (*reuse, reduce, recycle dan recovery*) yang mana prinsip 4R ini bertujuan untuk meminimalisasi limbah. Adapun dalam penelitian tugas akhir ini menggunakan prinsip *reuse* (pemakaian kembali) dengan menggunakan teknologi keramik yang merupakan salah satu bagian dari proses solidifikasi yang mana teknologi keramik bertujuan mengubah limbah yang berbahaya dan beracun menjadi sesuatu yang tidak memiliki tingkat bahaya dan beracun.

Teknologi keramik merupakan salah satu metode atau teknologi yang dapat digunakan untuk menanggulangi limbah krom dengan cara pemadatan dengan menggunakan zat pengikat (*binder*). Dengan cara ini diharapkan limbah

krom dapat terikat dan tidak *terdispersi* atau tersebar ke lingkungan sehingga pencemaran lingkungan dapat *diminimalisasi* atau ditiadakan.

Limbah dari industri penyamakan kulit menghasilkan limbah cair yang mengandung partikel-partikel krom sangat tinggi dan berpotensi merusak lingkungan dan mempunyai sifat *toxic* bagi kehidupan makhluk hidup. Untuk itu diperlukan suatu teknologi pengolahan limbah krom dari industri penyamakan kulit dengan cara penambahan bahan kimia yang dapat berupa magnesium hidroksida, natrium hidroksida, tawas dan kapur agar limbah krom tidak menyebar dalam lingkungan. Dalam penelitian tugas akhir ini akan digunakan kapur hal ini dikarenakan pertimbangan ekonomis dan pertimbangan historis yang mana kapur dapat digunakan sebagai bahan pengumpul dalam limbah krom cair dari industri penyamakan kulit yang kemudian dilanjutkan dengan penambahan mineral lokal untuk proses keramikisasi.

Bahan berbahaya dan beracun, yang lebih akrab dengan singkatan B₃, keberadaannya di Indonesia makin hari makin mengkhawatirkan. Lebih dari 75% bahan berbahaya dan beracun (B₃) merupakan sumbangan dari sektor industri melalui limbahnya, sedangkan sisanya berasal dari sektor lain termasuk rumah tangga yang menyumbang 5-10% dari total limbah B₃ yang ada. Peningkatan jumlah limbah bahan berbahaya dan beracun di Indonesia antara kurun waktu 1990 – 1998 saja mencapai 100 % (tahun 1990 sekitar 4.322.862 ton dan pada tahun 1998 mencapai 8.722.696 ton). Jumlah ini akan naik drastis seiring dengan perkembangan industrialisasi yang cukup pesat di negara berkembang seperti Indonesia. (Sumber : Direktorat Pengelolaan Limbah dan B₃ BAPEDAL).

1.2 Rumusan Masalah

Untuk memberikan uraian yang jelas, maka dibuat rumusan masalah sebagai berikut :

1. Apakah kapur Ca(OH)_2 dapat digunakan sebagai bahan adsorben dalam limbah cair untuk industri penyamakan kulit.
2. Apakah bahan pengikat untuk teknologi keramik (bentonit, feldspar dan kaolin) dapat efektif jika digunakan untuk pembuatan keramik lumpur limbah krom.
3. Apakah variasi persentase pemberian limbah krom terhadap bahan keramikisasi akan berpengaruh terhadap hasil akhir dari keramik tersebut.
4. Apakah perbedaan suhu/pemanasan akan berpengaruh terhadap pengungkungan limbah krom.

1.3 Batasan Masalah

Untuk membatasi kajian dan batasannya, maka penelitian ini dikhususkan membahas mengenai :

1. Proses pengolahan limbah krom dengan teknologi keramik untuk limbah krom dengan Ca(OH)_2 dan bentonit, feldspar serta kaolin sebagai bahan pengikat.
2. Optimasi penggunaan kapur Ca(OH)_2
3. Ukuran butir bentonit, feldspar dan kaolin sebesar (-100 sd + 200 mesh)
4. Persentase limbah krom yang digunakan adalah persen berat/berat (% b/b).

6. Menciptakan produk yang memiliki nilai ekonomis/nilai jual.
7. Memberikan motivasi kepada peneliti yang lain yang tertarik guna mengadakan penelitian lebih lanjut untuk melakukan variasi penggunaan bahan adsorbent yang lain serta penggunaan mineral lokal yang berbeda sehingga diperoleh hasil yang lebih sempurna khususnya dalam pengolahan limbah krom.



BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Solidifikasi

Adalah suatu metode untuk mengubah limbah yang terbentuk padatan halus menjadi padat dengan menambahkan bahan pengikat kemudian dilanjutkan dengan penambahan bahan pematat (*Solidifying Agent*). Tujuannya adalah untuk mengubah limbah yang bersifat berbahaya menjadi tidak berbahaya dengan merubah karakteristik fisik dengan cara mengubah bentuk limbah cair atau lumpur limbah menjadi bentuk padat monolit untuk mengurangi kemampuan atau penyebaran dari zat pencemar yang ada dalam limbah sehingga diperoleh produk dalam bentuk matrik padat sehingga mudah diangkut dan disimpan (Wentz,A,Charles,1995).

Metode ini dilatarbelakangi dari suatu kenyataan bahwa bahan yang termasuk ke dalam golongan bahan berbahaya dan beracun tingkat bahayanya paling tinggi bila dalam bentuk gas dan paling rendah bila dalam bentuk padat (Manahan,1994).

Bahan yang digunakan dalam proses *solidifikasi* adalah bahan non *radioaktif* untuk mengikat limbah menjadi satu kesatuan (*monolit*). Bahan yang digunakan disesuaikan dengan :

1. Kemampuan unsur pencemar dari limbah yang meliputi : jenis, sifat, dan tingkat bahaya dari bahan pencemar.

2. Sifat fisik dan kimia limbah : cairan, lumpur, resin penukar ion dan zat padat.
3. Sifat pengepakan dalam kaitannya dengan sistem pembuangan.

Tujuan dari proses *solidifikasi* antara lain :

1. Meningkatkan karakteristik fisik dan penanganan limbah
2. Mengurangi luas permukaan sehingga kontaminan yang lolos menjadi lebih sedikit
3. Membatasi kelarutan pencemar
4. Mereduksi *toksistas*.

Bahan pengikat (*Binder*) yang sering digunakan antara lain :

1. Semen atau bahan pengikat hidraulik lainnya
2. Kapur Ca(OH)_2
3. Senyawa silikat (tanah liat, pozolan dan lain-lain).
4. Bahan termoplastik
5. Polimer organik

2.1.1 Prinsip Dasar Solidifikasi

Secara umum proses pengolahan limbah industri dengan metode/teknologi yang ada pada saat ini tidak terlepas dari hukum termodinamika yang menyatakan bahwa suatu zat tidak dapat dihilangkan atau musnah, melainkan hanya berubah sifat/jenis dari satu bentuk menjadi bentuk lainnya. Oleh karena itu dari setiap kegiatan proses transformasi dari bahan baku menjadi produk akan mengeluarkan berupa hasil buangan/*waste*. (Breck, W.G, 1997).

pada suhu tinggi yang mana adanya oksidasi ini berpengaruh terhadap pembentukan monolit.

Pemanasan sampai suhu 1300°C terjadi reaksi kristalisasi silika dari bentuk *amorf* menjadi *crystobalite*. Sampai tahap ini telah mulai terjadi *vitrifikasi* dari mineral yang dipanaskan dengan ruang-ruang kosong yang terjadi karena ditinggal oleh air dan senyawa organik yang terbakar (teroksidasi) akibat adanya reaksi dehidrasi dan oksidasi yang sudah mulai merapat. Untuk mendapatkan kualitas *solidifikasi* yang baik dengan pemerataan unsur yang akan *disolidifikasi* dengan bahan *Solidifying Agent*, maka homogenitas harus dijaga antara bahan yang digunakan dan unsur yang akan *disolidifikasi*. (Endro, 2001).

Mineral lokal (*Solidifying Agent*) yaitu bentonit, feldspar dan kaolin dengan kandungan utama silikat dan aluminium mampu melakukan penyerapan, agar unsur yang telah terserap tidak terlepas baik karena adanya reaksi dari luar ataupun kerusakan struktur mineral liat, maka harus dipadatkan menjadi satu kesatuan dengan memperhatikan komposisi yang baik dari bahan yang digunakan serta homogenitas sehingga dapat mencegah terlepasnya hasil penyerapan. Hal ini sesuai dengan tujuan *solidifikasi* yaitu mencegah agar pencemar tidak terlepas ke lingkungan.

Hasil akhir dari proses *solidifikasi* atau pengungkungan harus dapat membatasi terlepasnya radionuklida/pencemar dan mempunyai sifat antara lain :

1. Bercampur serasi dengan komponen limbah
2. Homogen
3. Kelarutan rendah

4. Permeabilitas rendah
5. Kekuatan mekanik baik

Untuk mendapatkan lumpur dari limbah cair perlu melakukan proses pengolahan kimia, dalam hal ini menggunakan tambahan kapur sebagai bahan koagulan untuk menghasilkan endapan lumpur, kemudian lumpur tersebut dikeringkan dan digerus lalu dicampur dengan bahan lain sebagai campuran dalam membuat monolit.

2.2 Industri Penyamakan Kulit

Limbah industri sebagai hasil samping (*Inside product*) dari suatu proses produksi yang pada akhirnya harus dibuang ke alam sekitarnya yang mana dapat mengakibatkan alam harus menerima jumlah limbah yang lebih besar dari kemampuan alam untuk melakukan pembersihan diri (*self purification*) terlampaui. Pada saat seperti inilah istilah polusi atau pencemaran terjadi sehingga dapat menurunkan kualitas lingkungan (degradasi lingkungan).

Pada industri penyamakan kulit banyak dihasilkan limbah cair dimana limbah yang dihasilkan sangat bervariasi sifatnya. Pada proses penyamakan dengan menggunakan bahan penyamak krom, yang mempengaruhi pencemaran adalah sisa garam krom dari natrium sulfide, garam krom perlu mendapatkan penanganan atau pengolahan yang baik ini dikarenakan limbah krom termasuk dalam kategori senyawa berbahaya dan beracun (B₃), berbahaya karena sifat toksisitasnya yang tergantung pada kadar yang dikandungnya. (Aloy, 1976).

2.2.2 Bahan Baku Proses Penyamakan Kulit

Menurut anonim (2001) bahan baku dari proses penyamakan kulit terdiri dari :

1. Bahan baku utama : kulit sapi, domba dll
2. Bahan pendukung :
 - a. Garam dapur (NaCl)
 - b. Asam sulfat (H_2SO_4)
 - c. Anti septic dan fungisida
 - d. Kapur $\text{Ca}(\text{OH})_2$
 - e. Bahan pencuci (Hostapol)
 - f. Soda kue NaHCO_3
 - g. Natrium sulfide (Na_2S)
 - h. Ammonium format (HCOOH)
 - i. Khrom oksida (Cr_2O_3)
 - j. *Solvent* (pelarut)
 - k. Sodium asetat.

2.2.3 Proses Penyamakan Kulit

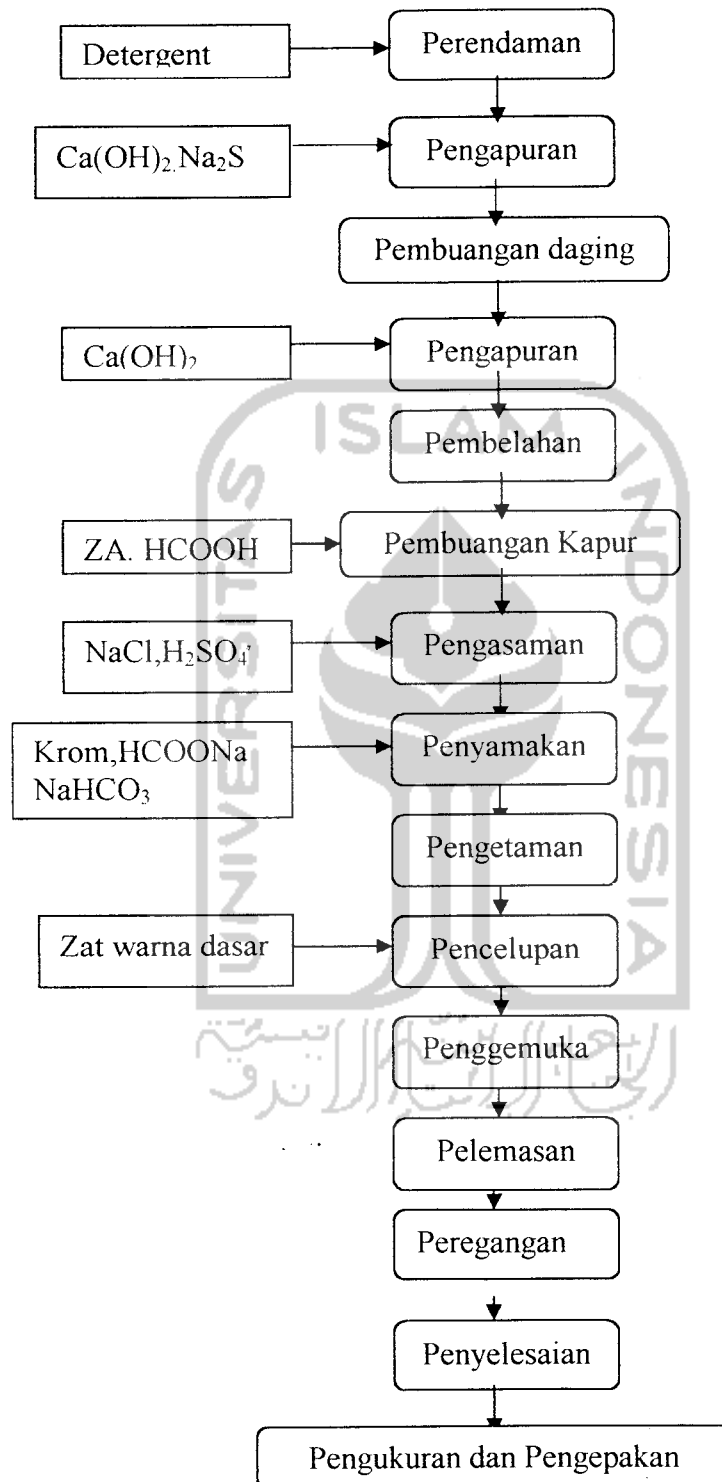
Proses penyamakan kulit meliputi beberapa tahap yaitu :

1. Pengawetan sementara, dilakukan dengan cara menambahkan garam dapur merata pada kulit mentah.

2. Perendaman (*Soaking*), bertujuan untuk menghilangkan garam dan mengembalikan kadar air pada kulit seperti semula. Bahan yang digunakan antara lain adalah detergent dan *antiseptic*.
3. Pengapuran (*liming*), bertujuan untuk merontokkan bulu-bulu pada kulit mentah dan membuang lapisan kulit atas (*epidermis*). Bahan yang ditambahkan adalah Ca(OH)_2 .
4. Pembuangan daging (*fleshing*), bertujuan untuk membuang sisa-sisa daging pada kulit yang bias menghalangi masuknya zat kimia pada *fleshing* dimana pada tahap ini terjadi penurunan berat kulit sebesar 20 %.
5. Pengapuran ulang (*reliming*), bertujuan untuk menyempurnakan pembuangan bulu kasar dan halus. Lama pengapuran ulang \pm 8-10 jam.
6. Pembelahan (*splitting*), kulit yang sudah bersih dari daging dan bulu-bulu, dibelah menjadi 2 bagian untuk meratakan ketebalannya.
7. Pembuangan kapur (*deliming*), bertujuan untuk menetralkan pH kulit dengan cara menambahkan ammonium sulfat sebanyak 1,5 % dari berat kulit. Lama proses pembuangan kapur \pm 3-4 jam
8. Pengasaman (*Pickling*), bertujuan untuk mengasamkan kulit agar dapat tercapai kondisi pH bahan penyamak dan untuk menghilangkan sisa-sisa kapur. Lama pengasaman kurang lebih 8-10 jam.
9. Penyamakan (*tanning*), bertujuan untuk mengawetkan kulit sehingga tahan terhadap zat kimia, bakteri dan panas.
10. Pengetaman (*shaving*), kulit diserut agar rata dengan ketebalan yang diinginkan, misal dengan ketebalan 1-2 mm

11. Pencelupan (*dyeing*), bertujuan sebagai proses pengecatan dasar yang mana bahan yang digunakan adalah zat kulit atau bahan *fiksasi* (bahan penyempurnaan dari cat kulit.).
12. Penggemukan (*flat liquoring*), bertujuan untuk melemaskan serat-serat kulit, sehingga menjadi tahan tarik dan elastis.
13. Pengeringan (*drying*), bertujuan untuk menghilangkan kadar air dalam kulit, dilakukan dalam waktu ± 3 hari.
14. Pelemasan (*milling*), yaitu proses dimana kulit diputar dalam air selama kurang lebih 15 menit
15. Peregangan, bertujuan untuk meregangkan kulit agar membuka.
16. Pementangan (*tacking*), bertujuan untuk menyempurnakan peregangan agar kulit menjadi rata.
17. Penyelesaian (*finishing*), bertujuan untuk menyempurnakan kulit dengan warna sesuai dengan pesanan.
18. Pengukuran dan pengepakan.

Flow Proses Penyamakan Kulit



Gambar 2.1 Flow Proses Penyamakan Kulit

(Sumber : Engineering Dept PT. Budi Makmur Jaya Murni).

2.2.4 Sumber dan Karakteristik Limbah Industri Penyamakan Kulit

Limbah cair industri penyamakan kulit berasal dari larutan yang digunakan pada unit pemrosesan yaitu : perendaman air, penghilangan bulu, pemberian bubuk kapur, perendaman dengan ammonia, pengasaman, penyamak, pemucatan sampai pemberian warna. Penghilangan bulu menggunakan kapur dan sulfide merupakan penyumbang/kontributor terbesar beban pencemar pada industri penyamakan kulit (EMDI, BAPEDAL, 1994).

Menurut Oetoyo (1981) sumber dan jenis buangan industri penyamakan kulit yang ada adalah :

Tabel 2.1 Sumber dan jenis buangan industri penyamakan kulit

Proses	Jenis Buangan
Perendaman	Detergen, Antiseptik, NaCl
Pengapuran	Bulu, Protein, Ca(OH) ₂ , Sulfat
Pembuangan kapur	Asam format (HCOOH), NaCl
Pengasaman	H ₂ SO ₄ , NaCl, HCOOH
Penyamakan	Cr, HCOON, Natrium bikarbonat

(Sumber : Oetoyo, etal“ Pola Penanganan Limbah Industri Penyamakan Kulit

Karet dan Plastik ”, Yogyakarta).

Bahan penyamak krom merupakan bahan penyamak yang paling penting diantara bahan penyamak mineral seperti bahan penyamak alumunium dan bahan penyamak *zirconium*. Hal ini dikarenakan adanya sifat-sifat yang khusus yang dimiliki oleh bahan penyamak krom yang berhubungan dengan struktur molekul atom krom itu sendiri.

Bahan penyamak krom yang digunakan adalah garam yang mengandung atom-atom yang bervalensi +3 (garam krom trivalen) sebagai chromium oksida (Cr_2O_3) di pasaran kadarnya 25 %.

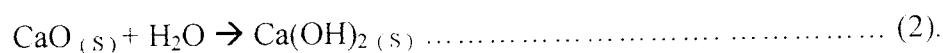
2.3 Senyawa Kapur (CaO)

Kalsium (Ca) adalah logam putih perak, yang agak lunak. Kalsium membentuk kation kalsium (II), Ca^{2+} , dalam larutan-larutan air. Garam-garamnya biasanya berupa bubuk putih dan membentuk larutan yang tak berwarna, kecuali bila anionnya berwarna. (Petrucci, 1999). Kalsium karbonat terjadi karena reaksi:



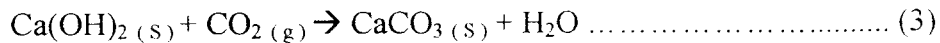
Batu kapur adalah senyawa unsur golongan alkali tanah yang sangat penting. Kapur (Kalsium oksida) adalah zat kimia industri yang menempati peringkat keenam yang diproduksi di Amerika pada tahun 1987. Pembakaran batu kapur untuk menghasilkan kapur, mungkin adalah reaksi kimia pertama yang dimanfaatkan oleh manusia (Achmad, Hiskia, 1992).

Adonan kapur telah digunakan oleh orang Yunani untuk membangun kuilnya, orang Romawi membangun jalan raya dan orang Cina membangun tembok di negaranya. Adonannya terdiri dari satu bagian kapur dan tiga bagian pasir yang dicampur dengan air dan dicampur dengan batu dan bata, dapat melekatkan batu-batu untuk membangun jalan dan tembok. Pada tahap awal terjadi reaksi :



Kapur Kalsium hidroksida

Kemudian kalsium hidroksida menyerap CO_2 dari udara membentuk kalsium karbonat. Persamaan reaksi yang terjadi :



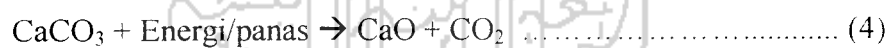
Pada dewasa ini, untuk membuat beton digunakan semen, bukan lagi adonan kapur. Semen dibuat dengan memanaskan campuran kapur, pasir, dan tanah liat pada suhu 1500°C membentuk kalsium aluminosilikat.

CaO merupakan isodormorf kalsit organik. Kalsium karbonat atau batu kapur, berdasarkan sifat-sifat periodik unsur maka Ca^{2+} merupakan logam ringan (Golongan II A) yang dibuat dengan cara elektrolisis lelehan garam dan bersifat reaktif. (Achmad, Hiskia, 1992).

Kapur dapat ditemui dalam bentuk :

1. Kapur oksida

Bahan kapur oksida yang diperdagangkan disebut kapur sirih atau *Quick lime* (CaO) karena merupakan batu kapur yang dibakar sehingga terbentuk CaO adapun reaksi yang terjadi sbb :

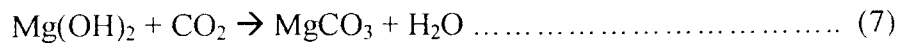
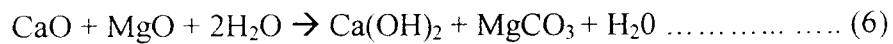


Kemurnian kapur jenis ini sekitar $\pm 85 - 95\%$ dan biasanya kotoran yang lazim dijumpai dalam kapur oksida berupa senyawa besi.

2. Kapur hidroksida

Bahan ini dapat diperoleh dengan menambahkan air pada batu kapur yang sudah dibakar, biasanya dikenal sebagai kapur tembok atau *slaked lime*

(Ca(OH)₂) dengan reaksi pembentukan sebagai berikut :



Kemurnian kapur ini sekitar 95 – 96 % dengan endapannya berupa komponen senyawa kapur seperti oksida, hidroksida dan karbonat.

3. Kapur karbonat

Kapur ini diperoleh dengan menggiling batu kapur (CaCO₃) atau dolomit (CaMg(CO₃)₂) hingga kehalusan tertentu. Reaksi kapur ini relatif agak lambat, oleh karena itu dapat bermanfaat dalam waktu yang relatif lama. Kemurnian kapur ini berkisar antara 75 – 98 %. (Linarsih,2002).

2.4 Kromium

Kromium berasal dari bahasa Yunani yaitu *Chroma* yang berarti warna. Logam kromium ditemukan pertama kali oleh Nicolas-Louis Vaqueline (1763-1829), seorang ahli kimia Perancis pada tahun 1797. Logam ini merupakan logam kristalin yang berwarna putih keabu-abuan dan tidak begitu liat.

Salah satu logam transisi yang penting adalah kromium (Cr). 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*”. (Achmad, Hiskia, 1992).

Senyawa kromium mempunyai warna yang sangat menarik dan digunakan sebagai pigmen seperti kuning krom (timbal(II)kromat) dan hijau krom (kromium(III)oksida). Kromium dalam keadaan murni melarut dengan lambat sekali dalam asam encer membentuk garam kromium (II).

Beberapa sifat kromium dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 2.2 Beberapa sifat fisik logam kromium

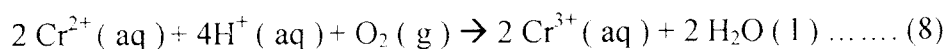
Lambang	Cr
Nomor atom	24
Massa atom relative (Ar)	51,996
Konfigurasi elektron	$3d^5 4s^1$
Jari-jari atom (nm)	0,117
Jari-jari Ion M^{3+} (nm)	0,069
Keelektronegativitas	1,6
Energi ionisasi (I) kJ mol^{-1}	659
Kerapatan (g cm^{-3})	7,19
Titik leleh ($^{\circ}\text{C}$)	1890
Titik didih ($^{\circ}\text{C}$)	2475
Bilangan oksidasi	2, 3, 6
Potensial elektroda (V)	
$M^{2+}_{(aq)} + 2e \rightarrow M_{(s)}$	-0,56
$M^{3+}_{(aq)} + e \rightarrow M^{2+}_{(aq)}$	-0,41

(Sumber : Achmad, H, 1992 Kimia unsur dan radiokimia)

Dalam bidang industri, kromium diperlukan dalam dua bentuk, yaitu kromium murni, dan aliasi besi-kromium yang disebut ferokromium sedangkan logam kromium murni tidak pernah ditemukan di alam. Logam ini ditemukan dalam bentuk persenyawaan padat atau mineral dengan unsur-unsur lain. Sebagai bahan mineral kromium banyak ditemukan dalam bentuk *Chromite* (FeOCr_2O_3). Kadang-kadang pada bahan mineral chromite juga ditemukan logam-logam magnesium (mg), Aluminium (Al) dan senyawa silikat (SiO_2). Logam-logam dan senyawa silikat tersebut dalam mineral *Chromite* bukan merupakan penyusun *Chromite* tetapi berperan sebagai pengotor (*impurities*).

Berdasarkan sifat-sifat kimianya, logam kromium dalam persenyawaannya mempunyai bilangan oksidasi +2, +3 dan +6. Logam ini tidak dapat teroksidasi oleh udara yang lembab, bahkan pada proses pemanasan, cairan logam teroksidasi dalam jumlah yang sangat sedikit, akan tetapi dalam udara yang mengandung karbondioksida (CO_2) dalam konsentrasi tinggi, Logam Cr dapat mengalami peristiwa oksidasi dan membentuk Cr_2O_3 . Kromium merupakan logam yang sangat mudah bereaksi. Logam ini secara langsung dapat bereaksi dengan hidrogen, karbon, silika dan boron (Palar, 1994).

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 di udara 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 $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ 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 tinggi pada kondisi pH rendah atau asam. Cr^{6+} sulit mengendap, sehingga dalam penanganannya diperlukan zat pereduksi dari Cr^{6+} menjadi Cr^{3+} . (Palar,1994).

Kromium dengan bilangan oksidasi +6 mudah membentuk senyawa oksidator dengan unsur lain karena memiliki sifat oksidasi yang kuat, maka Cr^{6+} mudah tereduksi menjadi Cr^{3+} dan kromium (VI) kebanyakan bersifat asam.

2.4.1 Krom (Cr) Dalam Lingkungan

Logam krom dapat masuk ke dalam semua strata lingkungan, baik pada strata perairan, tanah maupun udara (lapisan atmosfer). Kromium yang masuk ke dalam strata lingkungan datang dari berbagai sumber, tetapi yang paling banyak adalah dari kegiatan-kegiatan perindustrian, rumah tangga dan pembakaran serta immobilisasi bahan bakar. Masuknya krom ke lapisan udara dari strata lingkungan adalah dari pembakaran, mobilitas batu bara dan minyak bumi.

Pada pembakaran batubara akan terlepas krom sebesar 10 ppm ke udara, sedangkan dari pembakaran minyak bumi akan terlepas krom sebesar 0,3 ppm. Keadaan ini dapat diartikan bahwa setiap tahunnya akan dilepas sebanyak 1400

ton krom ke udara dari proses pembakaran batu bara dan 50 ton krom dari proses pembakaran minyak bumi. (Palar, 1994).

Logam krom (Cr) di udara ditemukan dalam bentuk debu dan partikulat-partikulat, seperti logam-logam berat lainnya. Debu atau partikulat krom dalam udara tersebut dapat masuk ke dalam tubuh hewan ataupun manusia melalui pernapasan (*respirasi*). Partikel atau debu krom yang terhirup manusia lewat rongga hidung, mengikuti jalur-jalur respirasi sampai ke paru-paru untuk kemudian berikatan dengan darah di paru-paru sebelum dibawa darah ke seluruh tubuh. (Palar, 1994).

Logam krom dapat masuk ke badan perairan melalui dua cara yaitu cara alamiah dan non alamiah. Masuknya krom secara alamiah disebabkan oleh faktor fisika, seperti erosi (pengikisan) yang terjadi pada batuan atau mineral. Disamping itu, debu dan partikel krom di udara akan dibawa turun oleh air hujan. Secara non alamiah masuknya krom lebih merupakan dampak dari aktivitas manusia, yang dapat berupa limbah atau buangan industri sampai buangan rumah tangga. (Palar, 1994).

Logam krom dalam perairan akan mengalami proses kimia seperti reaksi reduksi-oksidasi (redoks), yang dapat mengakibatkan terjadinya pengendapan atau sedimentasi logam krom di dasar perairan. Proses kimiawi yang berlangsung dalam badan air juga dapat mengakibatkan terjadinya reduksi dari senyawa-senyawa Cr^{6+} yang sangat beracun menjadi Cr^{3+} yang kurang beracun. Peristiwa reduksi ini dapat berlangsung apabila kondisi air bersifat asam. Untuk perairan dengan kondisi basa, ion-ion Cr^{3+} akan mengendap di dasar perairan.

2.4.2 Kegunaan Krom (Cr) Dalam Kehidupan

Kromium telah dimanfaatkan secara luas dalam kehidupan manusia. Dalam industri *metallurgy*, logam ini banyak digunakan dalam penyepuhan logam (*chromium plating*) yang memberikan dua sifat, yaitu *dekoratif* dan sifat kekerasan yang mana *chromium plating* ini banyak digunakan pada macam-macam peralatan, mulai dari peralatan rumah tangga sampai ke alat transportasi. (Breck, W.G and Brown. R.C,1997).

Kromium dapat pula digunakan dalam alat penganalisa napas yang mana alat ini digunakan polisi untuk menangkap peminum alkohol yang mengemudi mobil. Dalam bidang kesehatan, kromium dapat digunakan sebagai orthopedi, radioisotope kromium dalam bentuk Cr^{51} yang dapat menghasilkan sinar gamma digunakan untuk penandaan sel-sel darah merah serta sebagai penjinak tumor tertentu. (Palar,1994).

Dalam industri kimia, krom digunakan sebagai :

1. Cat pigment (*dying*), dapat berwarna merah, kuning, orange dan hijau
2. *Elektroplating* (*chrome plating*)
3. Penyamakan kulit (*tanning*)
4. *Treatment woll*

Dari aktivitas atau kegiatan di atas merupakan kontributor/sumber utama terjadinya pencemaran krom ke air dan limbah padat dari sisa proses penyamakan kulit juga dapat menjadi sumber kontaminasi air tanah

2.4.3 Keracunan Kromium (Cr)

Sebagai logam berat, krom termasuk logam yang mempunyai daya racun tinggi. Daya racun yang dimiliki oleh krom ditentukan oleh valensi ionnya. Logam Cr^{6+} merupakan bentuk yang paling banyak dipelajari sifat racunnya dikarenakan Cr^{6+} merupakan *toxic* yang sangat kuat dan dapat mengakibatkan terjadinya keracunan akut dan keracunan kronis. (Soemirat, 1994).

Keracunan akut yang disebabkan oleh senyawa $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ pada manusia ditandai dengan kecenderungan terjadi pembengkakan pada hati. Tingkat keracunan krom pada manusia diukur melalui kadar atau kandungan krom dalam urine, kristal asam kromat yang sering digunakan sebagai obat untuk kulit, akan tetapi penggunaan senyawa tersebut seringkali mengakibatkan keracunan yang fatal. (Palar, 1994).

Kontaminasi logam krom (Cr) dapat terjadi melalui :

1. Penghisapan udara tercemar

Dengan menghisap udara yang tercemar oleh krom akan mengakibatkan peradangan dan kanker paru-paru. Pengaruh terhadap gangguan pernapasan yaitu iritasi paru-paru akibat menghirup debu krom (Cr) dalam jangka panjang dan mempunyai efek juga terhadap iritasi kronis. Pada pekerja *chrome-plating* dan pada industri penyamakan kulit sering terjadi kasus luka pada *mocusa* hidung.

2. Kontak langsung

Bisul merupakan salah satu ciri luka yang diakibatkan oleh kontak dengan kromat pada kulit, dan luka akan membengkak bernanah selama beberapa



Kromium	Kalsium	Kromium	Kalsium
sulfat	hidroksida	hidroksida	sulfat

(Sumber : M. Alloy, Tannery and pollution, Centre toqnique, France).

2.6 Pengolahan Limbah Dengan Adsorpsi

Adsorpsi adalah penjerapan suatu unsur atau senyawa dalam suatu zat cair dengan menggunakan bahan penjerap padat dalam hal ini digunakan kapur $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Adsorpsi meliputi proses kontak antara padatan dengan cairan atau gas dan perpindahan massa terjadi pada fluida ke padatan (Tinsley, 1979).

Proses adsorpsi ada dua yaitu proses adsorpsi secara fisika dan adsorpsi secara kimia. Adsorpsi secara fisika yaitu proses berlangsung cepat, dan dapat balik dengan panas adsorpsi kecil ($\pm 5-6$ kkal/mol), sehingga diduga gaya yang bekerja di dalamnya sama dengan seperti cairan (*gaya Van Deer Wals*). Unsur yang terjerap tidak terikat secara kuat pada bagian permukaan penjerap. Adsorpsi fisika dapat balik (*reversibel*), tergantung pada kekuatan daya tarik antar molekul penjerap dan bahan terjerap lemah maka terjadi proses adsorpsi, yaitu pembebasan molekul bahan penjerap (Tinsley, 1979).

Adsorpsi kimia adalah merupakan hasil interaksi kimia antara penjerap dengan zat-zat terjerap, kekuatan ikatan kimia sangat bervariasi dan ikatan kimia sebenarnya tidak benar-benar terbentuk tetapi kekuatan adhesi yang terbentuk lebih kuat dibanding dengan daya ikat penjerap fisika. Panas adsorpsi kimia lebih besar dibanding dengan adsorpsi fisika ($\pm 10-100$ kkal/mol). Proses kimia tidak

dapat balik (*inreversibel*) dikarenakan memerlukan energi untuk membentuk senyawa kimia baru pada permukaan adsorben sehingga proses balik juga diperlukan energi yang tinggi. (Tinsley, 1979).

Penjerapan tergantung pada sifat zat padat yang mengadsorpsi, sifat atom/molekul yang dijerap, konsentrasi, temperatur dan lain-lain. Pada proses adsorpsi terbagi menjadi 4 tahap yaitu :

1. Transfer molekul-molekul zat terlarut yang teradsorpsi menuju lapisan film yang mengelilingi adsorben.
2. Difusi zat terlarut yang teradsorpsi melalui lapisan film (*film diffusion process*).
3. Difusi zat terlarut yang teradsorpsi melalui kapiler/pori dalam adsorben (*pore diffusion process*).
4. Adsorpsi zat terlarut yang teradsorpsi pada dinding pori atau permukaan adsorben.

2.7 Proses Penjerapan

Proses penjerapan merupakan proses adsorpsi yang disebabkan oleh gaya tarik menarik antar molekul, apabila zat tersebut berhubungan. Suatu zat dapat terjerap oleh permukaan adsorben bila gaya tarik antar molekul zat berbeda. Saat terjadi gaya tarik-menarik molekul dari kedua zat saling kontak disebut adhesi, jika terjadi gaya tolak-menolak antara kedua zat maka disebut kohesi. (Benefield, 1998).

Proses pembentukan keramik dimaksud meliputi proses dehidrasi air higroskopis, proses oksidasi dan diakhiri dengan proses vitrifikasi. Pada tahap dehidrasi air higroskopis, maka air higroskopis biasanya akan menguap secara sempurna bersama-sama asap bahan bakar yang terbakar mulai saat pembakaran sampai suhu 150°C . Tahapan ini sering disebut sebagai tahap *water smoking* atau dehidrasi air mekanis. Pada pembakaran lanjut sampai dengan 800°C , maka akan terjadi dehidrasi air kristal atau reaksi dekomposisi mineral, yaitu lepasnya air terikat secara struktural di dalam mineral. Setiap mineral memiliki temperatur akhir dekomposisi yang berbeda, misalnya pada kaolin proses dekomposisi kaolin terjadi pada suhu antara $460^{\circ}\text{C} - 600^{\circ}\text{C}$.

Selanjutnya pada tahap oksidasi, maka bahan organik maupun anorganik yang ada dalam mineral alam akan teroksidasi dengan adanya udara pembakaran. Proses oksidasi akan mulai terjadi pada suhu antara $350-500^{\circ}\text{C}$. Tahapan ini sangat penting dalam proses pembuatan keramik. Pada tahap ini memungkinkan terjadi oksida-oksida tertentu yang mampu mewarnai produk keramik pada tahap pembakaran lanjut. Pada pembakaran lanjut akan terjadi proses pembentukan kristal. Proses ini biasa disebut dengan proses kristalisasi yang merupakan reaksi dimana oksida-oksida mengalami transformasi atom membentuk senyawa-senyawa kristalin. Proses kristalisasi ini mulai terjadi pada temperatur pembakaran antara 850°C sampai 1470°C . Pada suhu $850^{\circ}\text{C} - 1050^{\circ}\text{C}$ maka akan terjadi reaksi eksotermal yaitu terjadinya peruraian senyawa alumina membentuk Mullite dan Trydimite. Apabila suhu pembakaran dinaikkan sampai 1350°C maka mulai terjadi kristalisasi awal mullite dan pada suhu 1470°C , dan

Senyawa asam organik dapat diadsorpsi pada pH rendah dan sebaliknya basa organik dapat diadsorpsi pada pH tinggi

4. Waktu jerap

Waktu jerap yang lama akan memungkinkan proses difusi dan penempelan molekul zat terlarut yang terjerap berlangsung dengan baik.

5. Konsentrasi

Pada konsentrasi larutan rendah, jumlah bahan dijerap sedikit, sedang pada konsentrasi tinggi jumlah bahan yang dijerap semakin banyak. Hal ini disebabkan karena kemungkinan frekuensi tumbukan antara partikel semakin besar.

2.8 Keramik

Keramik berasal dari bahasa Yunani yaitu "keramos" yang berarti periuk atau belanga yang dibuat dari tanah (Astuti, 1997). Sedangkan menurut istilah keramik adalah semua barang atau bahan yang dibuat dari bahan-bahan tanah atau batuan silikat dan yang proses pembuatannya melalui pembakaran pada suhu tinggi. 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 (W.D. Kingery, 1975).

Industri keramik dapat dibagi menjadi beberapa golongan yaitu : keramik putih/keramik halus, bahan-bahan bangunan dari tanah, gelas, benda perekat martel, bahan-bahan tahan api (*refractory*) dan *abrasives* (benda-benda

pengosok). Bahan pembuat keramik dapat berupa bahan plastis dan bahan non plastis. Yang termasuk dalam bahan plastis antara lain seperti kaolin, clay, *stone ware clay* (tanah benda batu), *earthen ware clay* (tanah batu merah) *fire clay* (tanah api) serta bentonit. Sedangkan bahan non plastis antara lain silika (SiO_2) disebut juga *glass former*, *flint* (SiO_3), feldspar ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$). (Chang, 2000).

2.8.1 Penggolongan Keramik

Keramik mencakup komoditi yang sangat luas. Atas dasar fungsi dan mikrostruktur produknya, keramik dapat dibagi menjadi dua golongan yaitu keramik konvensional dan keramik maju (*advanced ceramic*). Keduanya dibedakan terutama atas dasar presisinya dalam pemakaian seperti ketetapan dimensi, sifat fisis, mekanisme magnet, listrik, optik dan termis/suhu (Anonim, 2000).

Keramik konvensional mempunyai struktur makro, sebagian besar terdiri dari fase gelas sebagai matrik diantara kristal yang terdispersi di dalamnya, bahan baku utamanya adalah lempung. Produk yang dihasilkan antara lain batu bata, genteng, semen portland dan lain-lain. Keramik maju lebih berstruktur mikro, sebagian besar terdiri dari fase kristal. Bahan baku utamanya adalah oksida dan non oksida (Astuti, 1997)

Bahan mentah keramik digolongkan menjadi 5 (lima) yaitu :

1. Bahan pengikat contoh : kaolin, *ball clay*, *fire clay*, *red clay*
2. Bahan pelebur contoh : feldspar, kapur
3. Bahan pengisi contoh : silika, *grog* (samot)

4. Bahan tambahan contoh : *water glass*, *talk*, *pyrophillit*
5. Bahan mentah glasir (Bahan yang membuat lapisan gelas pada permukaan benda keramik setelah melalui proses pembakaran pada suhu tertentu), diantaranya adalah :
 - a. Bahan mengandung SiO_2 - pasir kuarsa - lempung – feldspar.
 - b. Bahan mengandung oksida basa - potas felspar - batu kapur - soda abu.
 - c. Bahan mengandung Al_2O_3 - kaolin – feldspar.
 - d. Bahan pewarna contoh : senyawa cobalt, senyawa besi, senyawa nikel, senyawa chrom dan sebagainya.
 - e. Bahan perekat contoh : gum.
 - f. Bahan penutup contoh : oksida sirkon, oksida seng.
 - g. Bahan pelebur contoh : asam borat, borax, Na_2CO_3 , K_2CO_3 , BaCO_3 , Pb_3O_4 dan sebagainya. (www.Ipteknet.Com, 2003).

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 penggelasan 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.
4. Keramik Baru (*New Ceramic*): adalah keramik yang secara teknis, diproses untuk keperluan teknologi tinggi seperti peralatan mobil, listrik, konstruksi, komputer, cerobong pesawat, kristal optik, keramik metal, keramik multi lapis, keramik multi fungsi, komposit keramik, silikon, *bioceramic*, dan keramik magnet. Sifat khas dari material keramik jenis ini disesuaikan dengan keperluan yang bersifat teknis seperti tahan benturan, tahan gesek, tahan

panas, tahan karat, tahan suhu kejut seperti isolator, bahan pelapis dan komponen teknis lainnya.(www.Ipteknet.Com,2003).

2.8.2 Bahan Baku Keramik

Secara garis besar, bahan baku untuk produk-produk keramik (tradisional maupun maju) dibedakan menjadi tiga macam (Anonim, 1998) yaitu :

1. Bahan Alam/Mineral (*Crude Material*)

Yang dimaksud bahan alam/mineral adalah bahan-bahan asli yang berasal dari alam dan belum mengalami proses pengolahan oleh manusia, seperti mineral feldspar (K, Ca, Na), mineral lempung seperti kaolinit ($Al_2 (Si_2O_3)(OH)_4$) dan bentonit (Al, Na, Mg) dan mineral barite. Keadaan bahan-bahan mentah di atas sangat banyak di tanah air, dan bila dapat dimanfaatkan untuk pembuatan produk keramik, khususnya keramik maju akan memberikan manfaat yang lebih tinggi.

2. Industrial Mineral

Industrial mineral umumnya berbentuk oksida dan memiliki kemurnian yang relatif lebih tinggi. Bahan-bahan ini merupakan hasil pengolahan (secara fisik atau kimia) dari bahan-bahan alam sehingga memenuhi spesifikasi untuk digunakan langsung dari industri. Yang tergolong industrial mineral antara lain : *calcined dolomite*, *zircon* dan *flint (crushed dan milled quartz)* (SiO_2).

3. *Industrial Inorganic Chemical*

Inorganic Chemical merupakan bahan baku untuk industri keramik maju, yang pada umumnya berbentuk oksida, *calcined oxides* ataupun bentuk yang

lainnya. Bahan ini belum memiliki sifat-sifat unik yang baik sehingga untuk mendapatkan mutu/kualitas yang baik, masih harus diolah dengan teknologi lanjutan yang bersifat penerapan teknologi tinggi. Yang tergolong bahan ini antara lain : BaCO_3 , calcined alumina, titanat dan *inorganic pigment*.

2.8.3 Pembuatan Keramik

Pembuatan keramik mulai dari proses pengolahan bahan, pembentukan badan keramik, pengeringan, penyusunan dan pembakaran.

1. Pengolahan Bahan

Bahan pembuat keramik harus diolah terlebih dahulu sebelum bahan siap dibentuk, karena hampir semua bahan alam murni mengandung banyak *grit* (bahan kasar dalam bahan halus). Pemisahan dapat dilakukan dengan cara manual atau secara mekanis. Bahan-bahan keramik alam dihancurkan, disaring dan diambil diameter bahan yang dikehendaki. Penyaringan dapat dilakukan dengan cara basah dan kering.

2. Pengeringan

Pengeringan benda keramik dimaksudkan untuk menghilangkan apa yang disebut air plastisnya saja, sedang air yang terikat dalam molekul tanah liat (air kimia) hanya bisa dihilangkan dengan pembakaran. Tujuan dari pengeringan adalah untuk memberikan kekuatan kepada barang-barang mentah sehingga dapat disusun dalam tungku dan menghilangkan air yang berlebihan yang mana dapat menimbulkan kesukaran-kesukaran dalam proses

pembakaran. Kerusakan yang dapat terjadi antara lain perubahan bentuk dan retak-retak.

3. 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 pada metode standar *Pressure Sintering* dengan materi dasar Si_3N_4 memerlukan suhu 1700°C – 1800°C pada gas nitrogen.

Dalam proses pembakaran, jenis air yang harus dihilangkan adalah air suspensi, air antar partikel, air pori antar partikel setelah pengerutan, air terserap (*adsorpsi*) pada partikel dan air kisi dalam struktur kristalnya.

2.9 Bentonit

Bentonit merupakan suatu mineral yang termasuk dalam jenis aluminosilikat dengan mineral penyusun utamanya adalah monmorilonit dengan kadar > 75 % yang pertama kali diperkenalkan oleh Knight pada tahun 1898. Bentonit diambil dari nama Shale dan Beton, yang terbentuk waktu itu di sekitar daerah Benton, Montana, USA. Bentonit merupakan spesifikasi jenis lempung yang memiliki sifat plastis dan koloidal yang tinggi (Chang, 2000).

Bentonit hampir ditemukan di setiap negara terutama di daerah Vulkanik. Bentonit dapat digunakan sebagai bahan pembuatan keramik karena mempunyai sifat plastisitas yang tinggi, partikel-partikel tanahnya sangat halus dan komposisinya banyak mengandung silika (Kingery, 1976). Mengingat bentonit

mampu melakukan pertukaran ion, maka penggunaan bentonit sangat potensial untuk penanganan limbah radiaktif cair dan B3 yang sangat berbahaya bagi makhluk hidup dan lingkungan.

Dewasa ini potensi penggunaan logam B3 semakin membahayakan kelanjutan pembangunan nasional dan mengancam kelestarian fungsi lingkungan hidup. Untuk itu bentonit dapat digunakan sebagai salah satu alternatif metode pengelolaan limbah B3 khususnya limbah krom. Dalam hal ini limbah krom akan dikungkung oleh bentonit dan mineral lokal lainnya yang selanjutnya dibuat komposit keramik dalam bentuk monolit keramik.

Menurut Chang (2000) nama lain dari bentonit ialah *soap clay*, *taylorit*, *bleaching clay*, *fullers earth*, *konfolensit*, *saponit*, *smegmatit*. Sifat bentonit antara lain :

1. Berkilap lilin umumnya lunak, plastis dan sarang
2. Berwarna pucat dengan kenampakan putih, hijau muda, kelabu merah muda dalam keadaan segar dan menjadi krem apabila lapuk
3. Bila diraba terasa licin seperti sabun
4. Bila dimasukkan dalam air akan menghisap air sehingga menjadi mengembang dengan kadar air normal 10 – 18 % (% v/v).
5. Mudah pecah
6. Mengandung mineral utama montmorilonit lebih besar dari 50 % dan mineral beidelit dalam jumlah kecil, serta mineral tambahan berupa feldspar, kuarsa, zircon dan kaolinit.
7. Derajat keasaman (pH) sebesar 7,5 – 8 dengan berat jenis sekitar 2 – 2,5 gr/L.

Terbentuknya bentonit disebabkan oleh :

1. Proses pelapukan

Faktor utama yang menyebabkan terbentuknya mineral bentonit adalah komposisi batuan, komposisi kimia air dan daya larut air tersebut pada batuan. Pembentukan bentonit dikarenakan terjadinya proses pelapukan sebagai akibat reaksi ion-ion H^+ yang terdapat dalam air tanah dengan mineral-mineral silikat.

2. Proses hidrothermal

Pada alterasi hidrothermal yang sangat lemah, mineral-mineral yang kaya akan magnesium seperti hornblende dan biotit cenderung membentuk klorit. Terjadinya montmorillonit terutama disebabkan oleh adanya magnesium, kehadiran kalium baik yang berasal dari feldspar maupun mika primer yang terbentuk karena alterasi hidrothermal sering ditemukan zona yang berbentuk lingkaran.

3. Proses transpormasi/*detrivikasi*

Proses ini dari abu gunung api yang sempurna, akan terjadi apabila debu gunung tersebut di endapkan dalam cekungan danau atau laut. Gelas alam (*natural glass*) yang dikandung abu gunung api lambat laun akan mengalami *detrivikasi* seperti pada endapan *piroklastik* di laut tengah.

Klasifikasi bentonit menurut Nutting (Batemen, 1950) dapat dibagi dalam lima tipe tinjauan dari kekuatan daya serapnya yaitu :

1. Tipe bentonit, dimana mineral montmorillonit mempunyai daya serap rendah dan hampir tidak dapat ditingkatkan daya serapnya.

2. Tipe bentonit, dimana daya serapnya rendah, tetapi masih dapat diaktifkan hingga mencapai tingkat daya serap cukup tinggi
3. Tipe bentonit yang daya serapnya sudah cukup tinggi tetapi masih bias jika ditingkatkan lebih tinggi lagi daya serapnya.
4. Tipe bentonit yang daya serapnya cukup tinggi dan tidak mudah dipengaruhi oleh proses kimia
5. Tipe bentonit yang daya serapnya cukup tinggi tetapi apabila terkena pencucian asam, daya serapnya akan turun.

2.10 Feldspar

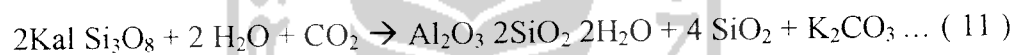
Feldspar merupakan kelompok mineral dengan komposisi aluminium silikat, potassium (kalium), sodium kadang-kadang kalsium. Rumus umum feldspar adalah MZ_4O_8 , dimana M adalah kation-kation K^+ , Na^+ , atau Ca^+ , sedangkan komponen Z adalah kation-kation Al^{3+} , dan Si^{4+} tetapi sebagian digantikan dengan Fe^{3+} . Feldspar terjadi selama proses kristalisasi magma baik melalui proses *pneumatolytic* ataupun proses *hidrotermal* dalam urat pegmatik tetapi jarang terjadi karena proses kristalisasi larutan magma pada suhu rendah. Feldspar merupakan mineral pembentuk batuan beku terutama pada batuan beku dalam (*plutonic rock*) yang bersifat umum tetapi terdapat pula pada batuan erupsi ataupun *metamorf* (Chang, 2000).

Rumus kimia feldspar adalah $KAlSi_3O_8$ dengan komposisi $K_2O = 16,9 \%$, $Al_2O_3 = 18,4 \%$ dan $SiO_2 = 64,7 \%$. Feldspar ini berfungsi sebagai perekat dan

aluminium silikat ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dengan disertai beberapa mineral penyerta seperti Fe_2O_3 , MgO , Na_2O_3 dan lain-lain. Mineral yang termasuk dalam kelompok kaolin adalah *kaolinit*, *nakritm diskrit* dan *halosit* dengan kaolinit sebagai mineral utama (Chang, 2000).

Proses pembentukan kaolin adalah karena proses pelapukan dan proses *hidrotermal* alterasi pada batuan beku yang banyak mengandung feldspar dimana mineral potassium aluminium silikat dan feldspar dirubah menjadi kaolin. Dapat pula terbentuk sebagai pelapukan batuan *metamorf* khususnya *gneiss*, sedang kaolin sekunder merupakan hasil transportasi kaolin primer.

Proses pelapukan terjadinya kaolin :



Feldspar

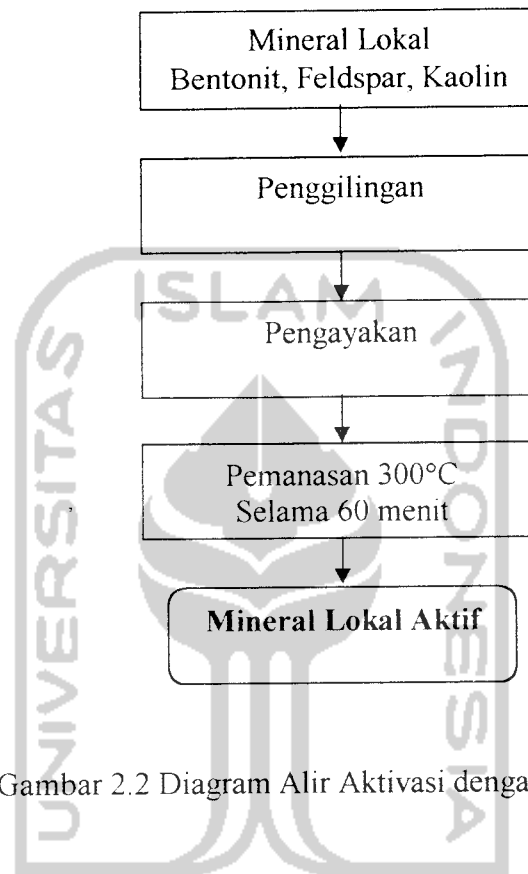
Kaolin

Hancurnya kaolinit berakibat pada pembentukan gipsit dan pengendapan dalam tanah bersamaan dengan hilangnya silikat alam, kemudian apabila lingkungan pelapukan itu berubah dan tanah kontak dengan air yang kaya silikat, gipsit akan berubah menjadi kaolinit.

Partikel-partikel kaolin merupakan partikel yang tidak mudah dihancurkan dan hal ini menjadi penyebab sifat-sifat plastisitasnya dan daya mengerut dan mengembang yang rendah. Luas permukaan kaolin adalah sekitar 7 – 30 m²/g. Diantara jenis mineral yang ada, kaolin diperkirakan yang paling luas penyebarannya dalam tanah.

Mineral silikat di antara kaolin mampu menyerap air yang disebabkan oleh gaya elektrik. Dengan penyerapan, terjadi orientasi air akibat adanya medan listrik

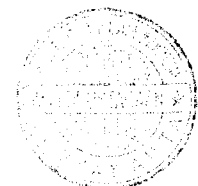
penelitian ini mineral lokal bentonit, feldspar dan kaolin dipanaskan pada suhu 300°C selama 60 menit. Berikut ini gambar proses dari aktivasi.



Gambar 2.2 Diagram Alir Aktivasi dengan Pemanasan

2.13 Kuat Tekan

Kuat tekan adalah suatu nilai yang menggambarkan tentang kekuatan (*strength*) dari suatu bahan yang mana kuat tekan biasanya diwakili oleh tegangan maksimum dengan satuan MPa (Mega Pascal) atau KN/cm² serta Ton/m². Kuat tekan merupakan salah satu uji karakteristik fisik yang mana dilakukan dengan cara memberikan beban secara bertahap sampai benda uji tersebut mengalami kerusakan. Kuat tekan dari suatu bahan tergantung dari beberapa faktor antara lain adalah : pembakaran (suhu) dan lamanya pembakaran.



Persamaan yang berlaku untuk kuat tekan adalah :

$$f'_{ci} = \frac{P}{A}$$

Dimana :

f'_{ci} : Kuat desak masing-masing benda uji (KN / cm²)

P : Beban maksimum (KN)

A : Luas penampang (cm²)

Uji ketahanan tekan merupakan cara untuk mengetahui seberapa besar tingkat ketahanan suatu monolit. Dilakukan dengan menggunakan alat uji tekan Paul Weber terhadap monolit keramik limbah setelah dilakukan pembakaran.

2.14 Lindi/*Leachate*

Adalah cairan yang keluar dari suatu cairan yang terkontaminasi oleh zat-zat pencemar yang ditimbulkan dari limbah yang mengalami proses pembusukan. Menurut EPA *Leachate* adalah suatu cairan yang mencakup semua komponen di dalamnya yang terkandung di dalam cairan tersebut sehingga cairan tersebut tersaring dari limbah yang berbahaya.

Leachate telah dihasilkan sejak manusia pertama kali melakukan penggalian timbunan limbah untuk menyelesaikan persampahan. Tentu saja pada tahap ini jumlah *leachate* yang dihasilkan sangat kecil dan bercampur dalam suatu tanah liat. Resiko yang didapat jika tidak adanya suatu drainase yang baik dan pengolahan limbah cair dapat menyebabkan suatu dampak yaitu penyakit bagi manusia akibat timbulnya *leachate* tersebut.

Pelindian merupakan parameter yang sangat menentukan terhadap kualitas hasil solidifikasi yang berkaitan dengan pencemaran lingkungan. Oleh karena itu untuk menentukan kualitas lindi adalah dengan *Toxicology Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) adalah salah satu evaluasi toksisitas limbah untuk bahan-bahan yang dianggap berbahaya dan beracun dengan penekanan pada nilai *leachate*. Pada umumnya uji ini ditujukan terutama untuk melihat potensi toksisitas *leaching* dari logam berat pada penelitian ini yaitu logam chromium.

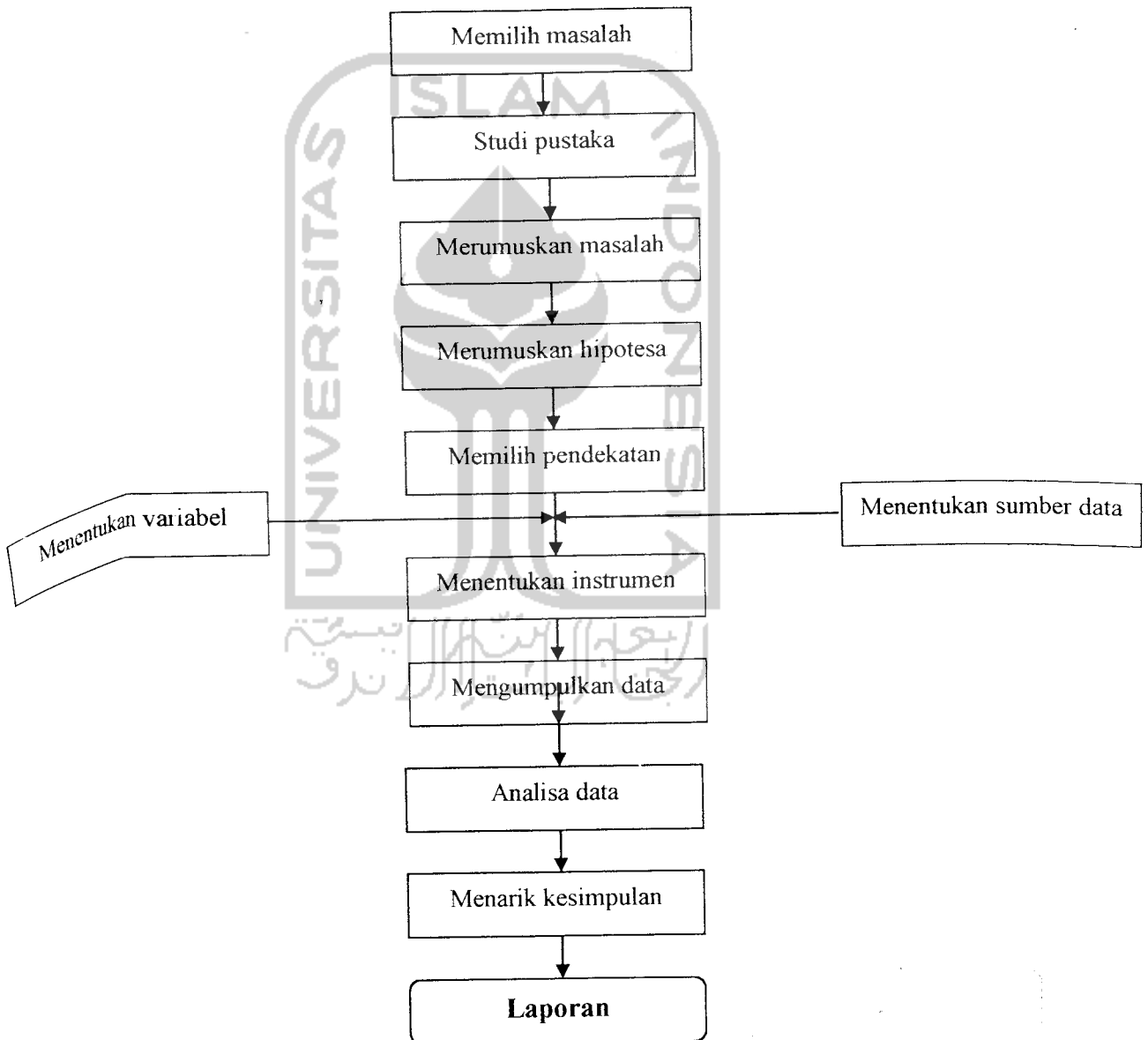
2.15 Hipotesa

Berdasarkan rumusan masalah dan landasan teori, maka dapat dibuat hipotesa sebagai berikut :

1. Dengan memvariasikan prosentase penambahan kapur Ca(OH)_2 untuk mendapatkan efisiensi penurunan kadar krom yang optimal.
2. Mineral lokal bentonit, feldspar dan kaolin merupakan jenis lempung yang dapat digunakan sebagai bahan keramik untuk mengolah limbah krom.
3. Dengan memvariasikan persentase penambahan limbah krom terhadap campuran bahan keramik diduga dapat diperoleh monolit keramik limbah yang dapat mengungkung krom.
4. Dengan pemanasan pada suhu tertentu diduga akan diperoleh monolit keramik limbah yang mampu mengungkung krom.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 **Prosedur Penelitian**



Gambar 3.1 Prosedur penelitian

3.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilaksanakan di laboratorium pengolahan limbah dan keselamatan lingkungan P3TM- BATAN Jogjakarta dan di Laboratorium Lingkungan – Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia Jogjakarta.

3.3 Jenis Penelitian

Penelitian ini termaksud dalam penelitian eksperimen yang dilaksanakan dalam skala laboratorium.

3.4 Waktu Penelitian

Waktu penelitian dilakukan pada bulan Juni – September 2004 yang dilanjutkan dengan pengolahan data, penyusunan data dan penyusunan skripsi.

3.5 Variabel Penelitian

Variabel penelitian dalam penelitian ini meliputi :

1. Variabel bebas
 - a. Optimasi penambahan bahan kapur $\text{Ca}(\text{OH})_2$.
 - b. Pembakaran dilakukan pada suhu 800°C , 900°C dan 1000°C
 - c. Pemberian limbah krom sebesar 0 %, 5 %, 10 %, 15 % dan 20 % pada campuran mineral lokal (% b/b).
2. Variabel terikat : Uji tekan, Uji susut berat serta Uji lindi

3.6 Bahan dan Alat Penelitian

1. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut :

- a. Kapur Ca(OH)_2
- b. Limbah krom
- c. Bentonit
- d. Feldspar
- e. Kaolin
- f. Aquades

2. Alat yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut :

- a. Jar test
- b. Alat penumbuk
- c. Ayakan mekanis
- d. Timbangan
- e. Toples plastik
- f. Cawan porselen
- g. Furnace
- h. Kantong plastik
- i. Spectrophotometer DR 2000
- j. Cuvet
- k. Kertas merang
- l. Pipet ukur
- m. Tissue
- n. Botol kaca

- o. Alat uji tekan Paul Weber
- p. Kertas label dan kertas saring
- q. Neraca analisis merk sartorius 2462 max 200 gram
- r. Alat pengaduk putar (homogenizer 30 rpm) merk Karl Kolb.

3.7 Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Tahapan pelaksanaan dalam penelitian ini meliputi :

3.7.1 Pembuatan Bahan

Bahan dasar keramik yang dibuat adalah bentonit lokal dari Desa Tanjungharjo, Kecamatan Nanggulan Kabupaten Kulonprogo, Yogyakarta, Feldspar dan Kaolin. Semua mineral tersebut diayak dengan ukuran butir (-100/+200 mesh).

3.7.2 Aktivasi Mineral Lokal

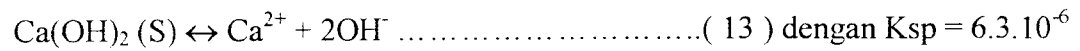
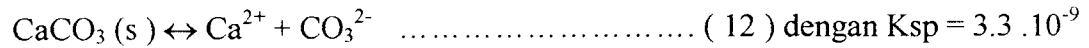
Timbang 1500 gr masing-masing mineral lokal bentonit, feldspar dan kaolin kemudian dipanaskan dengan suhu 300°C selama 60 menit.

3.7.3 Penambahan Kapur Pada Limbah Krom Cair

Penambahan kapur merupakan salah satu pengolahan secara kimia yang mana kapur disini berfungsi sebagai adsorben (pengikat) dari limbah krom. Diharapkan dengan penambahan kapur limbah cair yang terkontaminasi oleh krom dapat diolah (*treatment*) sehingga diharapkan *effluent* dari limbah tersebut telah dapat memenuhi baku mutu limbah cair. Prinsip penambahan kapur adalah kapur sebagai pengikat limbah krom sehingga akan terbentuk suatu endapan yang mana endapan ini akan diolah menjadi keramik dengan proses *solidifikasi*. Untuk

menentukan dosis yang maksimum digunakan uji laboratorium akan tetapi dalam hal ini digunakan nilai Ksp sebagai acuan dalam penentuan dosis tersebut.

Reaksi kapur :



Dengan persamaan diatas maka akan didapat nilai :

$$K_{sp} = [\text{Ca}] * [\text{OH}]^2 = 6.3 \cdot 10^{-6}$$

$$[\text{Ca}^{2+}] = [\text{OH}^-]^2$$

$$[\text{Ca}^{2+}]^3 = 6.3 \cdot 10^{-6}$$

$$[\text{Ca}^{2+}] = 0,0185 \text{ molCa}$$

$$\begin{aligned} \text{Gram} &= \text{Mol} \cdot \text{Ar} \\ &= 0,0185 \text{ molCa} * 40 \\ &= 0,74 \text{ gram} \end{aligned}$$

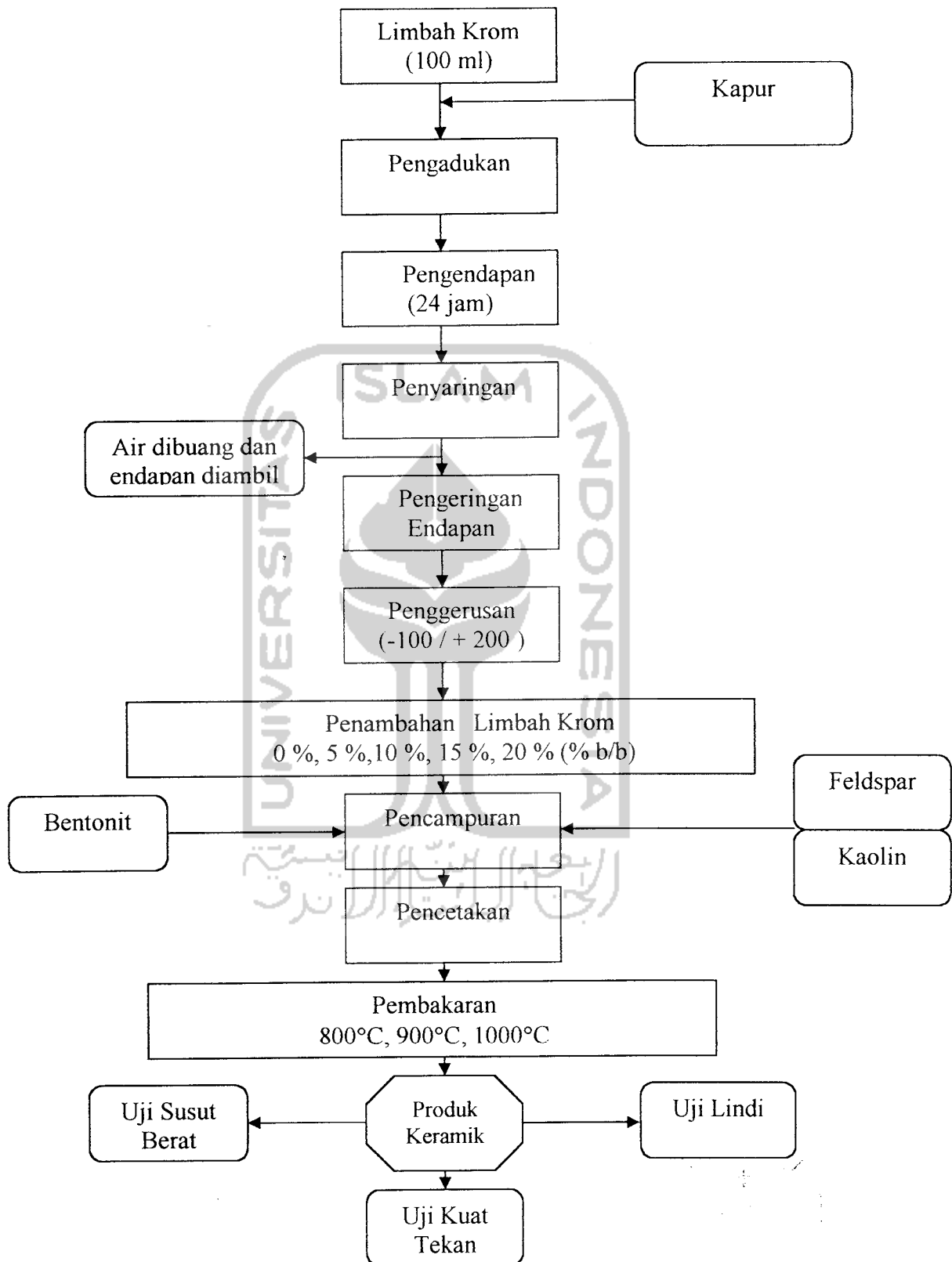
$$\text{BeratCa(OH)}_2 = \frac{\text{MrCa(OH)}_2 * \text{BeratCa}}{\text{ArCa}}$$

$$= \frac{74}{40} * 0,74 \text{ gram} = 1,369 \text{ gramCa(OH)}_2$$

Dari hasil perhitungan diatas maka penambahan kapur minimal adalah 1,369 gram dengan pengadukan : 100 rpm selama 10 menit dilanjutkan dengan pengadukan lambat sebesar 50 rpm selama 60 menit. Pada penelitian ini akan digunakan 4 dosis yang berbeda yang mana dosis yang digunakan dipilih yang aplikatif untuk diterapkan di lapangan yaitu : 3 gram, 6 gram, 9 gram dan 12 gram. Dengan memvariasikan penambahan kapur diharapkan dapat dipilih penambahan kapur yang maksimum dengan parameter semakin banyak limbah

krom yang terikat dalam kapur sehingga dengan sendirinya memiliki efisiensi penurunan kadar krom yang terbaik pula.





Gambar 3.2 Skema Alir Proses Pembuatan Keramik Dari Limbah Krom.

3.8 Cara Kerja

Cara kerja dalam penelitian ini dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

3.8.1 Persiapan Mineral

1. Aktivasi mineral lokal (bentonit, feldspar dan kaolin) pada suhu 300°C selama 60 menit.
2. Campur mineral lokal sampai homogen dengan komposisi :

Variasi	Bentonit (%)	Feldspar (%)	Kaolin (%)
I	15	25	60
II	25	60	15
III	60	15	25

3. Campuran ditambah 10% air sebagai perekat, kemudian diaduk hingga homogen, selanjutnya dimasukkan ke dalam cetakan.
4. Perbandingan tersebut kemudian dicetak dengan menggunakan alat tekan Paul Weber pada tekanan 50 KN.
5. Monolit yang diperoleh diangin-anginkan sampai kering (\pm 12 jam) kemudian dilanjutkan dengan pemanasan menggunakan Furnace Thermoylne pada suhu 1200°C selama 60 menit.
6. Monolit hasil pembakaran diuji dengan uji tekan dan uji susut dengan tujuan untuk mengetahui komposisi mana yang terbaik yang kemudian akan digunakan untuk pengungkungan (*solidifikasi*) pada penelitian yang selanjutnya.

3.8.2 Pembuatan Keramik Limbah Lumpur Krom

1. Campur mineral lokal (bentonit, feldspar dan kaolin) dengan ukuran butiran (-100 / + 200) mesh. Kemudian tambahkan limbah lumpur krom sebanyak 0 %, 5 %, 10 %, 15 % dan 20 %. (% b/b).
2. Campuran ditambah 10% air sebagai perekat, kemudian diaduk hingga homogen, selanjutnya dimasukkan ke dalam cetakan.
3. Pencetakan dilakukan dengan tekanan menggunakan alat tekan Paul Weber pada tekanan 50 KN
4. Monolit yang diperoleh diangin-anginkan sampai kering (\pm 12 jam) kemudian dilanjutkan dengan pemanasan menggunakan Furnace Thermoylene pada suhu 800°C, 900°C, 1000°C selama 60 menit.

3.9 Analisis Hasil Penelitian

3.9.1 Analisis Sampel

3.9.1.1 Uji Ketahanan Tekan

Uji ketahanan tekan merupakan cara untuk mengetahui seberapa besar tingkat ketahanan suatu monolit. Dilakukan dengan menggunakan alat uji tekan Paul Weber terhadap monolit keramik limbah setelah dilakukan pembakaran.

Penyajian tabel uji kekuatan tekan (KN/cm²) :

Tabel 3.1 Jumlah Sampel Uji Kuat tekan

Suhu	Komposisi Lumpur Krom (% b/b)				
	0	5	10	15	20
800°C	3	3	3	3	3
900°C	3	3	3	3	3
1000°C	3	3	3	3	3

3.9.1.2 Uji Susut Berat

Uji susut berat merupakan suatu cara untuk mengetahui seberapa besar tingkat susut dari suatu monolit. Uji susut berat dilakukan dengan cara membandingkan berat monolit limbah sebelum pembakaran dengan monolit limbah setelah pembakaran.

Penyajian tabel uji susut berat (%):

Tabel 3.2 Jumlah Sampel Uji Susut Berat

Suhu	Komposisi Lumpur Krom (% b/b)				
	0	5	10	15	20
800°C	3	3	3	3	3
900°C	3	3	3	3	3
1000°C	3	3	3	3	3

3.9.1.3 Uji Lindi (ppm)

Uji lindi merupakan suatu cara untuk mengetahui kadar zat pencemar yang terlindi dari sebuah monolit dalam suatu cairan. Pengujian lindi ini menggunakan alat AAS.

Penyajian tabel uji lindi (ppm) :

Tabel 3.3 Tabel Uji Lindi

Suhu	Komposisi Lumpur Krom (% b/b)				
	0	5	10	15	20
800°C	2	2	2	2	2
900°C	2	2	2	2	2
1000°C	2	2	2	2	2

3.9.2 Analisis Data

Untuk mengetahui efisiensi dari setiap uji sampel dapat diformulasikan sebagai berikut :

1. Persamaan Regresi Linear :

a. $\Sigma y = n.a + b.X$

b. $\Sigma y^2 = a.\Sigma X + b.\Sigma X^2$ atau

c. $a = \frac{\Sigma X^2.\Sigma Y - \Sigma X.\Sigma Y}{n.\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2}$

d. $b = \frac{n.\Sigma(\Sigma Y) - \Sigma X.\Sigma Y}{n.\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2}$

Dimana :

X : Variabel bebas yaitu Putaran kontak

Y : Variabel terikat yaitu parameter crom.

2. Korelasi

$$r = \frac{n \cdot \Sigma XY - (\Sigma X)(\Sigma Y)}{\sqrt{(n(\Sigma X^2)) - (\Sigma X)^2 \cdot (n(\Sigma Y^2)) - (\Sigma Y)^2}}$$

Dimana :

$r = 1 \rightarrow$ Korelasi keduanya, variabel Positif (+)

$r = -1 \rightarrow$ Korelasi keduanya, variabel negatif (-)

$r = 0 \rightarrow$ Tidak ada korelasi

3. Perhitungan Penurunan Kadar Crom

$$E = \frac{C1 - C2}{C1} \times 100\%$$

Dimana :

E : Efisiensi proses penurunan kadar crom (%)

C1 : Keadaan awal Crom sebelum pengolahan

C2 : Keadaan akhir Crom setelah pengolahan

Analisis data dilakukan secara deskriptif, data yang diperoleh dalam penelitian akan ditampilkan dalam suatu tabel. Dan hasilnya akan disajikan dalam bentuk visualisasi tabel dan grafik.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Pengaruh Penambahan Kapur Terhadap Efisiensi Penurunan Kadar Krom.

Hasil penelitian pengolahan limbah krom dengan proses keramiksasi yang dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan – Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia Jogjakarta didapat konsentrasi Krom total dalam limbah awal dari Pabrik Penyamakan Kulit CV. Fajar Makmur adalah 8,290 ppm.

Tabel 4.1 Pengaruh Penambahan kapur Terhadap Efisiensi Penurunan Kadar Krom.

Dosis Penambahan Kapur (gram/100 ml)	Jenis Sampel	Konsentrasi Supernatan krom (ppm)	Rata-rata (ppm)	Efisiensi Penurunan kadar Krom (%)
3	1	3.821	3,820	53,92
	2	3.414		
	3	4.226		
6	1	2.358	2,141	74,17
	2	2.114		
	3	1.951		
9	1	0.976	1,003	87,90
	2	1.219		
	3	0.813		
12	1	0.481	0,458	94,48
	2	0.569		
	3	0.325		

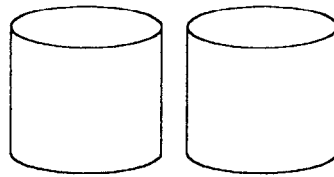
(Sumber : Data Primer,2004).

Pengujian tersebut dilakukan untuk mengetahui seberapa besar efisiensi penggunaan kapur Ca(OH)_2 yang bertindak sebagai adsorbant dalam proses keramik untuk immobilisasi limbah krom. Selain itu pengujian ini meliputi penentuan suhu dan komposisi limbah krom dengan bahan mineral lokal (bentonit, feldspar dan kaolin). Hasil Solidifikasi ini dapat dilihat dengan 3 bentuk parameter pengujian yaitu :

- a. Uji Kuat Tekan (KN/cm^2 atau Ton/m^2)
- b. Uji Susut Berat (%)
- c. Uji Lindi (ppm)

Kemampuan keramik dalam immobilisasi limbah krom diharapkan dapat mengikat dengan baik dan menjadi salah satu alternatif pengelolaan Bahan Berbahaya dan Beracun dan pengendalian limbah B3 dengan tujuan agar tidak terlepas ke lingkungan sehingga tidak membahayakan kelangsungan hidup makhluk hidup dan manusia serta terjadinya penurunan kualitas lingkungan (degradasi lingkungan).

Campuran mineral lokal (bentonit, feldspar dan kaolin) ditambahkan dengan lumpur limbah kromium hidroksida kemudian dicetak dengan menggunakan alat tekan Paul Weber dan cetakan terbuat dari *stainless steel* yang mana dicetak pada tekanan 50 KN. Monolit yang dijadikan penelitian ini hanya dibatasi dalam bentuk skala laboratorium berbentuk tabung dengan diameter 2,4 cm dan tinggi $1,8 \pm 0,2$ cm.

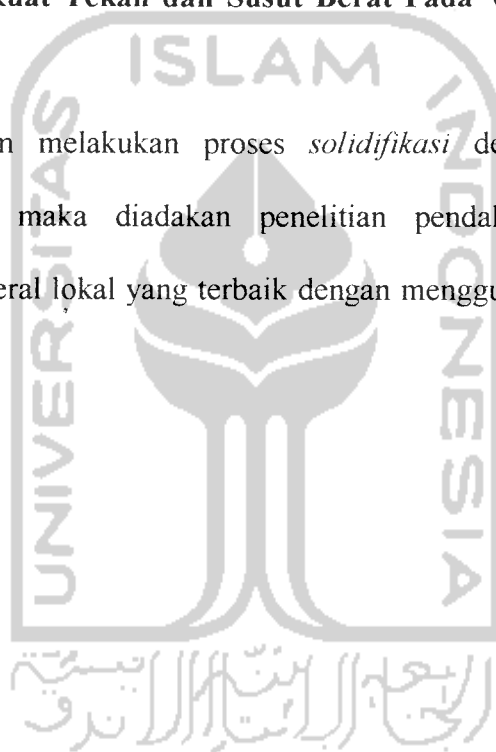


Gambar 4.3 Model monolit yang digunakan dalam penelitian

4.1.2 Hasil Kuat Tekan dan Susut Berat Pada Variasi Komposisi Mineral

Lokal

Sebelum melakukan proses *solidifikasi* dengan penambahan limbah lumpur krom maka diadakan penelitian pendahuluan untuk menentukan komposisi mineral lokal yang terbaik dengan menggunakan parameter kuat tekan dan susut berat.

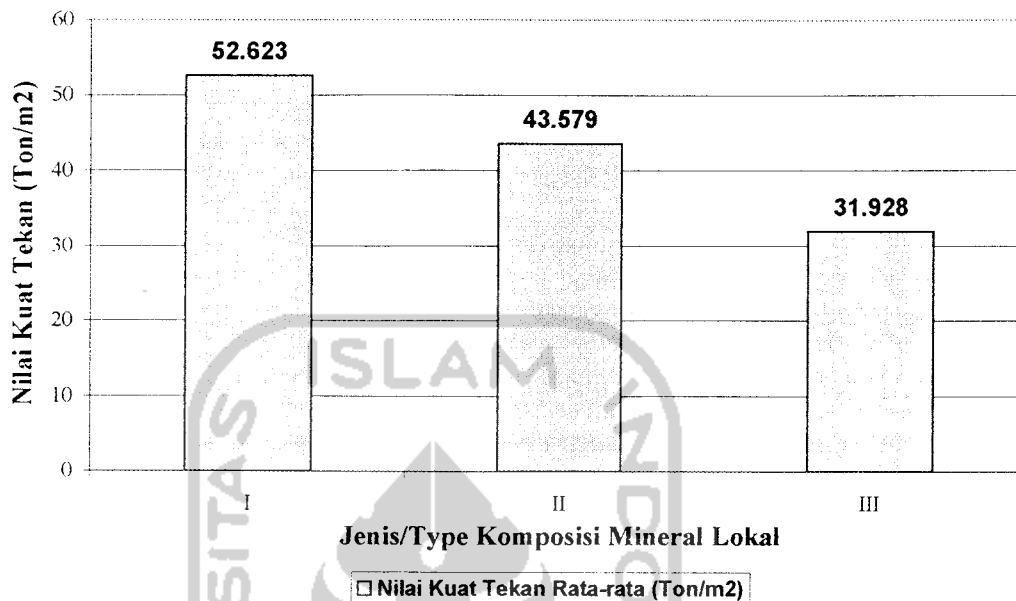


Tabel 4.2 Penentuan komposisi monolit yang terbaik pada suhu 1200°C

0	Mineral Lokal			Susut Berat (%)	Rata-Rata (%)	Kuat Tekan (KN/cm ²)	Rata-Rata (KN/cm ²)	Kuat Tekan (Ton/m ²)	Rata-Rata (Ton/m ²)
	Bentonit (%)	Feldspar (%)	Kaolin (%)						
1	15	25	60	13,056	13,138	4,863	5,158	49,589	52,623
				13,348		5,526		56,439	
				13,009		5,084		51,842	
2	25	60	15	16,078	16,194	3,979	4,274	40,574	43,579
				16,267		4,421		45,082	
				16,236		4,421		45,082	
3	60	15	25	20,444	20,193	3,315	3,131	33,804	31,928
				20,220		3,315		33,804	
				19,914		2,763		28,175	

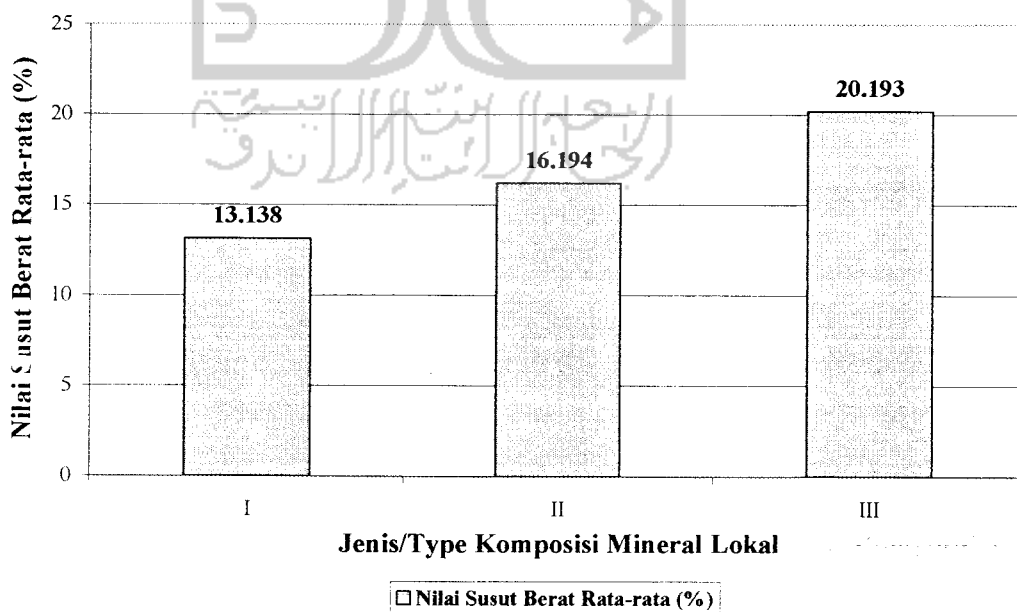
(Sumber : Data Primer, 2004)

Dari data di atas menunjukkan bahwa komposisi mineral lokal type I memiliki kuat tekan yang paling tinggi dan susut berat yang paling rendah. Dari data di atas didapatkan grafik sebagai berikut :

Grafik Nilai Kuat Tekan Rata-rata (Ton/m²)

Gambar 4.4 Korelasi Antara Nilai Kuat Tekan Terhadap Jenis Komposisi Mineral Lokal

Grafik Nilai Susut Berat Rata-rata



Gambar 4.5 Grafik Korelasi antara Nilai Susut Berat Terhadap Komposisi Mineral Lokal.

4.1.3 Pemberian Variasi Konsentrasi Lumpur Krom (%b/b) dan Suhu Pembakaran.

Sampel dalam bentuk monolit ditambahkan limbah lumpur krom sebesar 0 %, 5 %, 10 %, 15 % dan 20 % dalam (% b/b). Kemudian dipanaskan pada suhu 800°C, 900°C dan 1000°C. Setelah itu dilakukan uji kuat tekan, uji susut berat dan uji lindi dengan hasil sebagai berikut :

4.1.3.1 Pengaruh Lumpur Limbah Krom (%b/b) Terhadap Karakteristik Kuat Tekan Monolit Keramik Limbah.

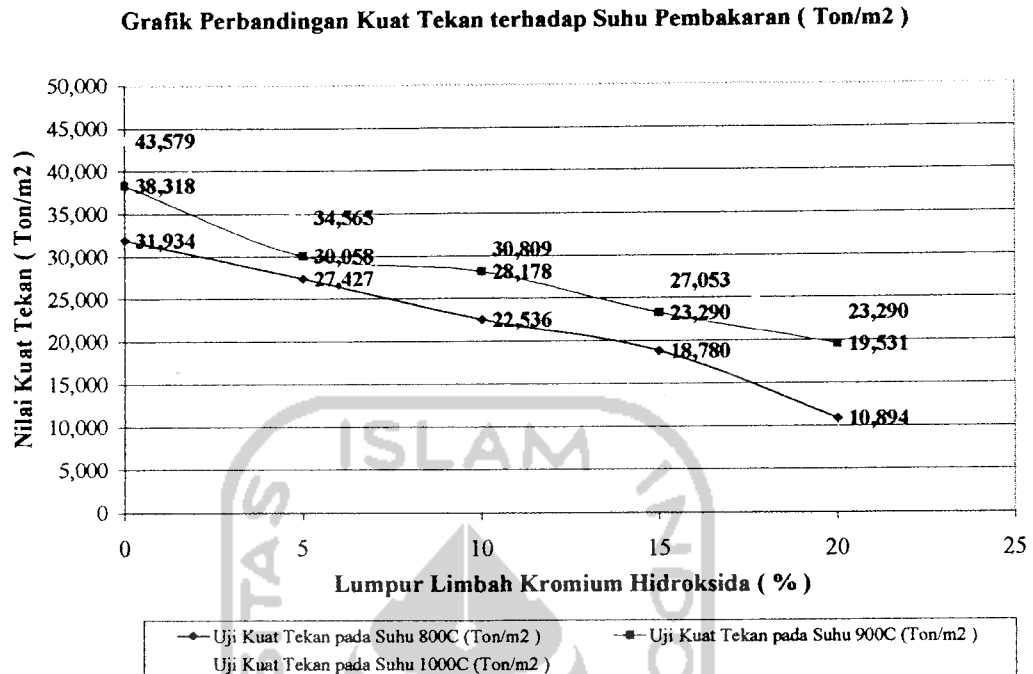
Penentuan pengaruh lumpur limbah krom terhadap karakteristik ketahanan tekan monolit keramik limbah hasil pembakaran pada suhu 800°C, 900°C dan 1000°C dapat dilihat pada tabel 4.3 :

Tabel 4.3 Pengaruh lumpur limbah krom terhadap karakteristik kuat tekan monolit keramik limbah (KN/cm²)

No	Lumpur Limbah Kromium Hidroksida (% b/b)	Kuat Tekan Rata-rata (KN/cm ²)		
		800°C	900°C	1000°C
1	0	3,132	3,758	4,274
2	5	2,690	2,948	3,390
3	10	2,210	2,763	3,021
4	15	1,842	2,284	2,653
5	20	1,068	1,915	2,284

(Sumber : Data Primer, 2004)

Dari data di atas didapatkan grafik sebagai berikut :



Gambar 4.7 Grafik perbandingan kuat tekan (Ton/m²) terhadap lumpur limbah krom.

4.1.3.2 Pengaruh Lumpur Limbah Krom (%b/b) Terhadap Karakteristik Susut Berat Monolit Keramik Limbah.

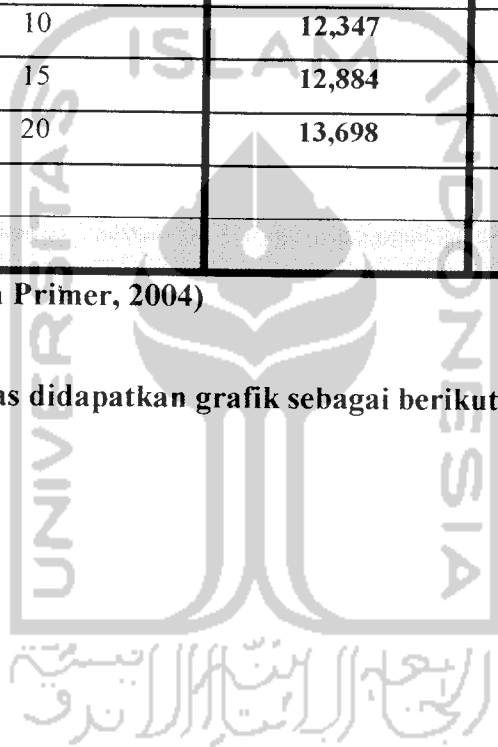
Penentuan pengaruh lumpur limbah krom terhadap karakteristik ketahanan tekan monolit keramik limbah hasil pembakaran pada suhu 800°C, 900°C dan 1000°C dapat dilihat pada tabel 4.5 :

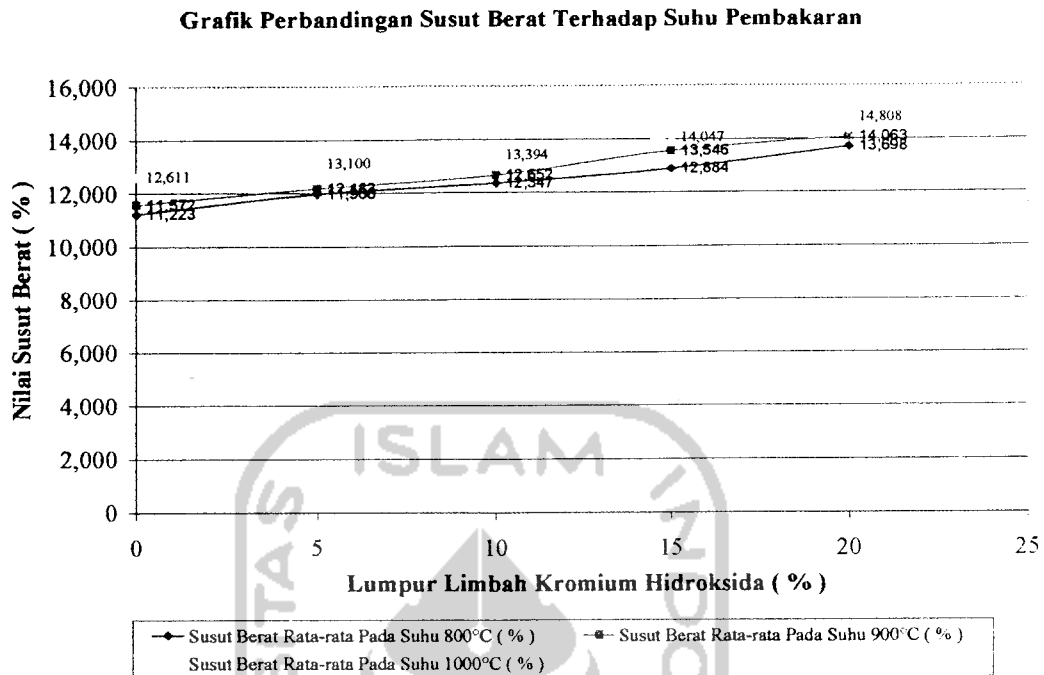
Tabel 4.5 Pengaruh lumpur limbah krom terhadap karakteristik susut berat monolit keramik limbah (%)

No	Lumpur Limbah Kromium Hidroksida (% b/b)	Susut Berat Rata-rata (%)		
		800°C	900°C	1000°C
1	0	11,223	11,572	12,611
2	5	11,966	12,183	13,100
3	10	12,347	12,652	13,394
4	15	12,884	13,546	14,047
5	20	13,698	14,063	14,808

(Sumber : Data Primer, 2004)

Dari data di atas didapatkan grafik sebagai berikut :





Gambar 4.8 Grafik perbandingan susut berat (%) terhadap lumpur limbah krom

4.1.3.3 Pengaruh lumpur limbah krom (%b/b) terhadap karakteristik pelindian monolit keramik limbah.

Penentuan pengaruh lumpur limbah krom terhadap karakteristik pelindian monolit keramik limbah hasil pembakaran pada suhu 800°C, 900°C dan 1000°C dapat dilihat pada tabel 4.6 :

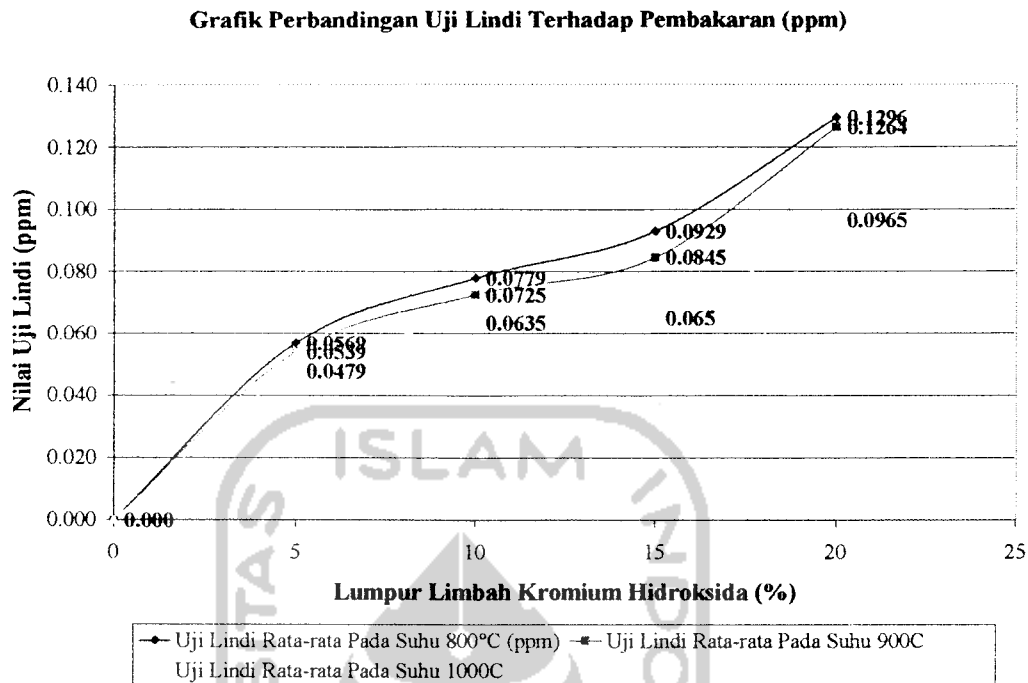
Tabel 4.6 Pengaruh lumpur limbah krom terhadap karakteristik pelindian monolit keramik limbah (ppm)

No	Lumpur Limbah Kromium Hidroksida (% b/b)	Uji Lindi Rata-rata (ppm)		
		800°C	900°C	1000°C
1	0	0.000	0.000	0.000
2	5	0.0569	0.0539	0.0479
3	10	0.0779	0.0725	0.0635
4	15	0.0929	0.0845	0.0650
5	20	0.1296	0.1264	0.0965

(Sumber : Data Primer, 2004)

Dari data di atas didapatkan grafik sebagai berikut :

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 رابحة بنت ابي سفيان



Gambar 4.9 Grafik perbandingan uji lindi (ppm) terhadap lumpur limbah krom

4.2 Pembahasan

4.2.1 Pengaruh penambahan kapur Maksimum

Pada penelitian Tugas Akhir ini digunakan dosis penambahan kalsium karbonat/kapur adalah 3 gram, 6 gram, 9 gram dan 12 gram, hal ini dikarenakan alasan pendekatan teknis yaitu dosis yang aplikatif atau yang dapat diterapkan di lapangan.

Pengaruh penambahan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) terhadap harga efisiensi penurunan kadar krom dapat dilihat dalam tabel 4.1 serta gambar 4.1 dan 4.2 yang menunjukkan bahwa semakin besar penambahan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ke dalam limbah krom, maka akan diperoleh harga efisiensi pemisahan yang semakin besar

pula. Hal ini memberikan informasi bahwa pembentukan endapan hidroksida logam krom semakin besar dengan adanya perubahan konsentrasi kalsium hidroksida yang ditambahkan.

Hal ini terjadi karena semakin besar konsentrasi Ca(OH)_2 dalam proses pengendapan, maka basa Ca(OH)_2 yang terjadi semakin besar dan kemungkinan terbentuknya endapan Cr(OH)_3 juga semakin besar pula. Semakin banyak krom yang terendapkan mengakibatkan semakin kecil konsentrasi krom dalam supernatan, sehingga efisiensi penurunan kadar krom yang diperoleh semakin besar. Dari tabel 4.1 dan gambar 4.1 dan 4.2 diperoleh informasi bahwa penambahan Ca(OH)_2 dengan dosis 12 gram mampu memberikan harga efisiensi pemisahan yang terbaik yaitu 96,08%. Sedangkan untuk mengendapkan limbah krom mencapai hingga 100% dibutuhkan kapur sebanyak =

$$\frac{12\text{gram}}{94,48\%} = \frac{x}{100\%} = x = 12,701\text{gram}.$$

Pada penelitian ini digunakan pengadukan cepat yaitu dengan putaran 100 rpm dengan waktu pengadukan selama 10 menit kemudian dilanjutkan dengan pengadukan lambat yaitu dengan putaran 50 rpm dengan waktu pengadukan selama 60 menit. Hal ini dikarenakan pada kecepatan pengadukan dengan 100 rpm akan memberikan kemungkinan terbentuknya Ca(OH)_2 yang semakin besar pula disebabkan kemungkinan terjadinya tumbukan antar molekul reaktan menjadi lebih besar sehingga akan memberikan efisiensi penurunan kadar krom yang tinggi. Hal ini juga dikemukakan dalam penelitian Nurimaniwathy, Tri Suyatno, Endro Kismolo-Puslitbang Teknologi Maju – BATAN.

4.2.2 Penentuan komposisi mineral lokal

Penentuan pengaruh komposisi mineral lokal untuk bahan keramik (bentonit, feldspar dan kaolin) terhadap karakteristik monolit keramik yang diperoleh dapat dilihat pada tabel.4.2 serta gambar 4.4 dan 4.5. Penelitian karakteristik monolit keramik ditekankan pada sifat kuat tekan dan sifat susut berat. Dari percobaan diperoleh data bahwa komposisi terbaik adalah untuk komposisi tipe I yaitu dengan komposisi mineral lokal yaitu bentonit 15%, feldspar 25% dan kaolin 60%. Monolit keramik yang diperoleh pada komposisi ini mampu memberikan susut berat terendah yaitu sebesar 13,138% dan memiliki kuat tekan tertinggi yaitu sebesar 5,158 KN/cm². Komposisi ini yang digunakan untuk percobaan selanjutnya dengan memvariasikan konsentrasi penambahan limbah lumpur krom.

4.2.3 Pengaruh penambahan lumpur limbah krom (%b/b) terhadap karakteristik kuat tekan monolit keramik limbah.

Dari tabel 4.3 diperoleh dengan menggunakan persamaan $f_{Monolit} = \frac{P}{A}$.

Contoh perhitungannya digunakan sampel A1 yang mana memiliki data beban maksimum (P) = 15 dengan diameter monolit adalah 2,4 cm sehingga akan

$$\text{didapat nilai kuat tekan} = f_{MonolitA1} = \frac{15}{\frac{1}{4}\pi D^2} = \frac{15}{0,25 * \pi * (2,4)^2} = 3,316 \text{KN} / \text{cm}^2$$

dimana untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada lampiran tabel L.4. Dari tabel 4.3 dapat diperoleh informasi bahwa dengan meningkatnya kadar lumpur limbah kromium hidroksida dalam suatu monolit maka dengan sendirinya

kekuatan dari monolit tersebut akan berkurang hal ini dikarenakan pori-pori dari monolit keramik lumpur limbah kromium hidroksida akan mudah terjadi *cracking monolith* akibat adanya pembakaran serta dengan bertambahnya kadar lumpur limbah kromium hidroksida maka kuantitas atau jumlah mineral lokal (bentonit, feldspar dan kaolin) penyusun dari keramik tersebut akan berkurang seiring dengan adanya kadar lumpur limbah kromium hidroksida yang semakin besar.

Pemanasan monolit pada suhu 800°C menunjukkan penambahan limbah krom sebanyak 5% yaitu sebesar $2,690 \text{ KN/cm}^2$ masih memberikan kuat tekan pada monolit dengan hasil yang baik karena kuat tekan pada penambahan limbah krom tersebut masih berada di atas nilai minimum hal ini mengacu pada peraturan *Internasional Atomic Energy Agency (IAEA)* yaitu sebesar $2,5 \text{ KN/cm}^2$ sedangkan pada penambahan limbah krom sebanyak 10% sampai dengan 20% menghasilkan kuat tekan yang telah berada di bawah nilai minimum sehingga akan menghasilkan monolit dengan kualitas yang kurang baik, hal ini dapat terlihat pada grafik 4.6. Sedangkan jika mengacu pada Keputusan KABEDAL Nomor Kep 03/BAPEDAL/09/1995 mengenai nilai minimum untuk kuat tekan dari proses solidifikasi adalah 10 Ton/m^2 akan didapat bahwa dari tabel 4.4 hasil uji kuat tekannya dapat memenuhi ketentuan dari keputusan KABEDAL karena nilai kuat tekannya diatas 10 Ton/m^2 , hal ini dapat terlihat dari gambar 4.7.

Pada pemanasan monolit pada suhu 900°C yang ditunjukkan pada tabel 4.3 menunjukkan penambahan limbah krom sebanyak 5% yaitu sebesar $2,948 \text{ KN/cm}^2$ sampai dengan 10% yaitu sebesar $2,763 \text{ KN/cm}^2$ masih memberikan kuat tekan pada monolit dengan hasil yang baik karena kuat tekan pada penambahan

limbah krom tersebut berada di atas nilai minimum yaitu $2,5 \text{ KN/cm}^2$ sedangkan pada penambahan limbah krom sebanyak 15% dan 20% menghasilkan kuat tekan sebesar $2,284 \text{ KN/cm}^2$ dan $1,915 \text{ KN/cm}^2$ yang mana nilai ini telah berada di bawah nilai minimum sehingga akan menghasilkan monolit yang kualitasnya kurang baik. Akan tetapi jika kita melihat gambar 4.7 akan didapat kualitas semua monolit yang baik hal ini dikarenakan nilai kuat tekan dikonversi menjadi dalam satuan ton/m^2 yang sesuai dengan Keputusan KABEPAL Nomor Kep 03/BAPEDAL/09/1995 mengenai nilai minimum untuk kuat tekan dari proses solidifikasi adalah 10 Ton/m^2 .

Pada pemanasan monolit pada suhu 1000°C dapat dilihat pada tabel 4.3 menunjukkan penambahan limbah krom sebanyak 5% yaitu sebesar $4,274 \text{ KN/cm}^2$ sampai dengan 15% yaitu sebesar $2,653 \text{ KN/cm}^2$ masih memberikan kuat tekan pada monolit dengan hasil yang baik karena kuat tekan pada penambahan limbah krom tersebut berada di atas nilai minimum yaitu $2,5 \text{ KN/cm}^2$ (sesuai dengan Peraturan IAEA) namun untuk keamanan maka penambahan limbah krom maksimal yang digunakan adalah 10% yang mempunyai kuat tekan sebesar $3,021 \text{ KN/cm}^2$ yang mana nilai ini jauh di atas nilai minimum yang ditentukan. Akan tetapi jika kita mengacu kepada Keputusan KABEPAL Nomor Kep 03/BAPEDAL/09/1995 mengenai nilai minimum untuk kuat tekan dari proses solidifikasi adalah 10 Ton/m^2 akan didapat bahwa dari tabel 4.4 hasil uji kuat tekannya semua monolit lumpur limbah krom dapat memenuhi ketentuan dari keputusan KABEDAL karena nilai kuat tekannya di atas 10 Ton/m^2 , hal ini dapat terlihat dari gambar 4.7.

Dari tabel 4.3 dan tabel 4.4 serta gambar 4.6 dan gambar 4.7 dapat diperoleh informasi bahwa variabel pemanasan berpengaruh langsung terhadap karakteristik kuat tekan dari monolit keramik limbah yang dihasilkan. Pada penambahan limbah lumpur krom yang sama, maka kenaikan suhu pembakaran akan meningkatkan harga kuat tekan monolit keramik.

Penambahan limbah lumpur krom sampai 10% masih memberikan harga ketahanan tekan monolit yang baik yaitu di atas nilai minimum yaitu $2,5 \text{ KN/cm}^2$ sesuai dengan Peraturan International Atomic Energy Agency (IAEA) kecuali pada suhu pembakaran 800°C yang menghasilkan kuat tekan $2,210 \text{ KN/cm}^2$, nilai ini berada di bawah nilai minimum yang ditetapkan yaitu sebesar $2,5 \text{ KN/cm}^2$ sedangkan jika kita mempergunakan Keputusan KABEPAL Nomor Kep 03/BAPEDAL/09/1995 mengenai nilai minimum untuk kuat tekan dari proses solidifikasi adalah 10 Ton/m^2 maka penambahan lumpur limbah krom mulai dari 5% sampai dengan 20% masih menghasilkan nilai kuat tekan yang berada di atas nilai minimal yang ditetapkan yaitu 10 Ton/m^2 .

Dari tabel 4.3 dan 4.4 serta gambar 4.6 dan 4.7 juga menunjukkan dengan meningkatnya penambahan limbah krom akan menghasilkan kuat tekan yang cenderung turun hal ini dikarenakan jumlah/kuantitas dari mineral lokal berkurang seiring dengan meningkatnya lumpur limbah krom sehingga nilai kuat tekan akan mengalami penurunan disebabkan semakin besarnya pori-pori pada monolit keramik yang terbentuk sehingga akan mudah terjadi kerusakan dari monolit tersebut/*cracking monolith*.

4.2.4 Pengaruh penambahan lumpur limbah krom (%b/b) terhadap karakteristik susut berat monolit keramik limbah.

Pada tabel 4.5 diperoleh dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$\text{SusutBerat} = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100\% . \text{Contoh perhitungannya dapat dilihat pada}$$

lampiran 1. Dari tabel 4.5 dapat diperoleh data mengenai uji susut berat dengan suhu pembakaran 800°C didapat bahwa dengan adanya penambahan lumpur limbah kromium hidroksida, maka nilai susut berat semakin tinggi hal ini dikarenakan semakin banyaknya oksida dan bahan anorganik yang terlepas. Nilai susut yang terkecil pada penambahan limbah krom sebanyak 5% yaitu sebesar 11,966% sedangkan susut berat terbesar berada pada penambahan limbah krom sebanyak 20% yaitu sebesar 13,698%.

Pada pembakaran suhu 900°C didapatkan nilai susut berat terkecil berada pada penambahan limbah krom sebanyak 5% yaitu sebesar 12,183% sedangkan nilai susut berat terbesar berada pada penambahan limbah krom sebanyak 20% yaitu sebesar 14,063%, hal ini dikarenakan dengan bertambahnya kandungan krom dalam suatu monolit maka susut berat dari monolit tersebut akan meningkat karena banyaknya kadar air dan kandungan zat organik yang terlepas.

Pada pemanasan dengan suhu 900°C ini tidak banyak terjadi perbedaan reaksi pada monolit dengan pemanasan pada suhu 800°C, sehingga karakteristik proses dan sifat-sifat kimia yang terjadi pada monolit tidak jauh berbeda.

Karakteristik susut berat monolit keramik limbah untuk pemanasan pada suhu 1000°C, nilai susut berat terkecil berada pada penambahan limbah krom sebanyak 5% yaitu sebesar 13,100% sedangkan nilai susut berat terbesar berada pada penambahan limbah krom sebanyak 20% yaitu sebesar 14,808%.

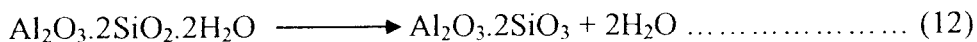
Dari data di atas juga diperoleh informasi bahwa dengan adanya peningkatan suhu pembakaran menyebabkan susut berat dari monolit keramik limbah akan meningkat hal ini dikarenakan dengan suhu yang semakin tinggi maka uap air yang terlepas akan semakin besar baik air fisis maupun air kimia.

Penentuan pengaruh konsentrasi limbah krom terhadap karakteristik susut berat monolit keramik limbah dengan pembakaran pada suhu 800°C, 900°C dan 1000°C, dapat dilihat pada tabel 4.5 serta dari gambar 4.8. Dari tabel 4.5 dapat diperoleh informasi bahwa variabel suhu pembakaran mempengaruhi langsung terhadap sifat susut berat monolit keramik limbah yang diperoleh. Untuk berbagai komposisi bobot konsentrasi limbah lumpur krom yang ditambahkan kedalam matrik keramik, maka harga susut berat akan meningkat dengan peningkatan suhu pembakaran. Hal ini terjadi karena semakin tinggi suhu pembakaran yang dilakukan akan menyebabkan meningkatnya penguapan dalam monolit keramik. Pada pembakaran sampai suhu 1000°C, masih terjadi peningkatan terjadinya pengurangan bobot monolit, hal ini kemungkinan terjadi karena pada suhu ini belum terjadi peleburan beberapa komponen penyusun keramik, sehingga masih terjadi penguapan sebagian bahan yang mudah menguap dan terjadinya pembakaran bahan-bahan organik pada suhu tinggi.

Dari data pada tabel 4.5 beserta dengan gambar 4.8 menunjukkan bahwa pemanasan monolit keramik limbah pada suhu 900°C memberikan pengaruh yaitu semakin besar konsentrasi penambahan jumlah limbah krom maka kualitas monolit keramik limbah secara keseluruhan baik dari segi kuat tekan, susut berat akan semakin rendah.

4.2.5 Pengaruh penambahan lumpur limbah krom (%b/b) terhadap karakteristik pelindian monolit keramik limbah.

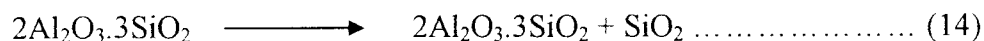
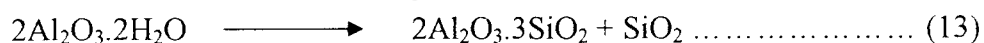
Pada tabel 4.6 untuk pembakaran monolit keramik limbah pada suhu 800°C dimana uji analisa pelindian dilakukan dengan perangkat Atomic Absorbent Spectrometer (AAS). Nilai lindi yang terbesar berada pada permukaan limbah krom dengan komposisi 20% yaitu sebesar 0,1296 ppm, sedangkan lindi terkecil berada pada penambahan limbah krom sebanyak 5% yaitu sebesar 0,0569 ppm. Dari data hasil penelitian ini menunjukkan bahwa lindi yang keluar dari monolit keramik limbah sangat kecil karena berada di bawah ketentuan yang berlaku kadar lindi maksimal yang diperbolehkan untuk unsur krom adalah 5 ppm hal ini berdasarkan Ka Bapedal No 04/BAPEDAL/09/95. Jika mengacu pada peraturan di atas maka monolit keramik limbah dari penyamakan kulit ini aman untuk digunakan. Nilai lindi pada setiap variasi penambahan limbah krom tidak memberikan perbedaan yang signifikan antara satu dengan lainnya karena pada pemanasan ini masih terjadi proses adsorpsi oleh mineral dan proses dehidroksilasi yang membentuk metakaolin. Disamping itu terjadi *inverse kuarsa* yang disertai dengan perubahan volume. Proses tersebut terjadi sebagai berikut :



Pada pembakaran monolit keramik limbah dengan suhu 900°C diperoleh nilai lindi yang terbesar berada pada penambahan limbah krom sebanyak 20% yaitu sebesar 0,1264 ppm, sedangkan nilai lindi terkecil berada pada penambahan limbah krom sebanyak 5% yaitu 0,0539 ppm. Hal ini dikarenakan dengan adanya penambahan lumpur limbah kromium hidroksida ke dalam monolit keramik limbah akan meningkatkan nilai kadar lindi.

Pada uji lindi untuk pembakaran monolit keramik limbah pada suhu 1000°C diperoleh nilai lindi yang terbesar berada pada penambahan limbah krom sebanyak 20% yaitu sebesar 0,0965 ppm, sedangkan lindi terkecil berada pada penambahan limbah krom sebanyak 5% yaitu 0,0479 ppm.

Pemanasan pada suhu 1000°C ini terjadi reaksi kristalisasi yaitu reaksi transformasi senyawa oksida membentuk senyawa-senyawa kristalin. Sampai tahap ini kaolin telah mengurai menjadi *alumina amorf* dan *silika amorf* sehingga memungkinkan terjadinya ketidakmurnian mineral sehingga menjadi bentuk yang mudah menghilang. Proses ini terjadi sebagai berikut :



Dilihat dari variasi penambahan limbah krom dan suhu nampak bahwa semakin banyak konsentrasi penambahan limbah krom maka semakin kecil kualitas monolit, sedangkan semakin tinggi suhu pemanasan monolit maka semakin baik kualitas monolit tersebut. Hal ini disebabkan semakin tinggi suhu

pemanasan maka akan terjadi perubahan fase SiO_2 yang akan melebur membentuk gelas sehingga semakin kuat dalam mengungkung limbah krom.

Dari hasil penelitian diketahui adanya limbah krom yang masih terlindi, terutama pada konsentrasi penambahan limbah krom yang tinggi, hal ini dikarenakan semakin tinggi penambahan limbah krom maka kebutuhan rongga-rongga dalam partikel mineral lokal akan semakin besar yang pada akhirnya akan mencapai kejenuhan. Pada keadaan tersebut partikel limbah tidak dapat terikat dengan sempurna baik secara fisik maupun secara kimia.

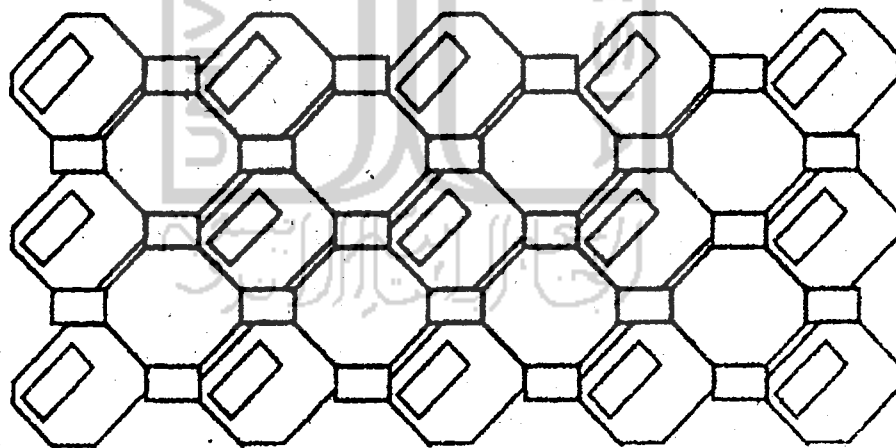
Secara fisik di dalam proses immobilisasi terjadi suatu perubahan struktur bahan, dari bentuk struktur antar partikel menjadi suatu bentuk yang homogenitas dengan bentuk kristal, hal ini terjadi karena adanya suatu proses pemanasan sehingga ikatan yang terjadi antara partikel dengan limbah krom akan semakin kuat.

Menurut Ichinose (1987), ikatan kimia yang terjadi antara partikel tersebut merupakan ikatan kovalen dan ikatan ionik. Dengan demikian secara kimia ikatan yang terbentuk dalam benda hasil pembakaran merupakan suatu ikatan kimia yang kuat. Ikatan yang terjadi terutama oleh adanya partikel SiO_2 sebagai unsur utama pembentuk gelas yang mana mineral-mineral lokal (bentonit, feldspar dan kaolin) mengandung partikel SiO_2 sehingga menunjukkan kemampuan pengungkungan yang sangat baik. Hal ini dikarenakan reaksi kimia yang terjadi diperkuat dengan adanya pemanasan pada suhu tinggi, sehingga selain terjadi reaksi kimia yang cepat juga terjadi suatu ikatan kimia yang kuat.

Pada penambahan limbah lumpur krom yang sama, maka kenaikan suhu pembakaran akan mengurangi angka pelindian dari monolit keramik limbah tersebut.

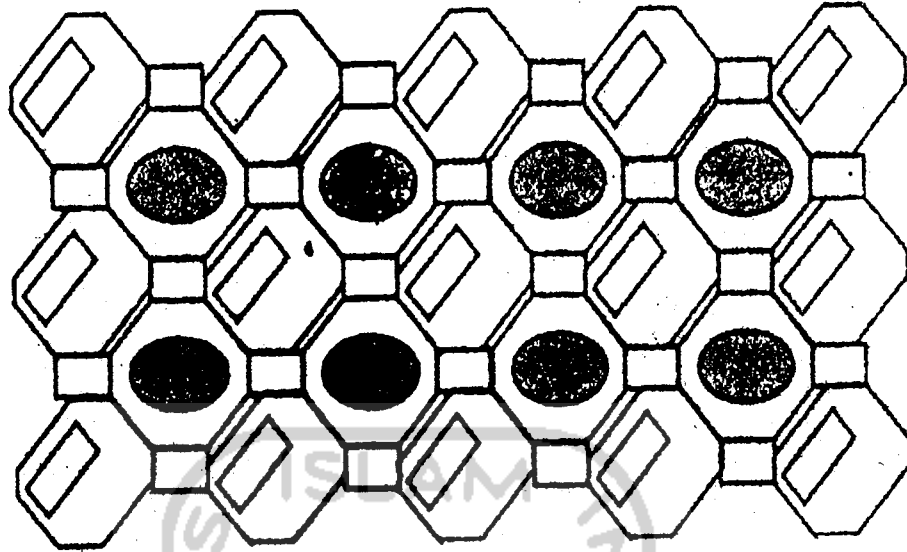
Partikel mineral lokal terutama SiO_2 akan melebur pada suhu 1000°C . Oleh karena itu antara partikel mineral lokal (bentonit, feldspar dan kaolin) dengan partikel limbah krom akan membentuk suatu kesatuan (berbentuk monolit) maka akan terjadi leburan partikel-partikel yang ada akan bercampur menjadi satu dan saling mengikat (terjadi homogenitas), hal ini juga pernah diungkapkan oleh Ichinose, 1987.

Di bawah ini merupakan pendekatan sketsa bentuk struktur saringan berongga dari partikel mineral lokal.



Gambar 4.10. Bentuk struktur saringan berongga.

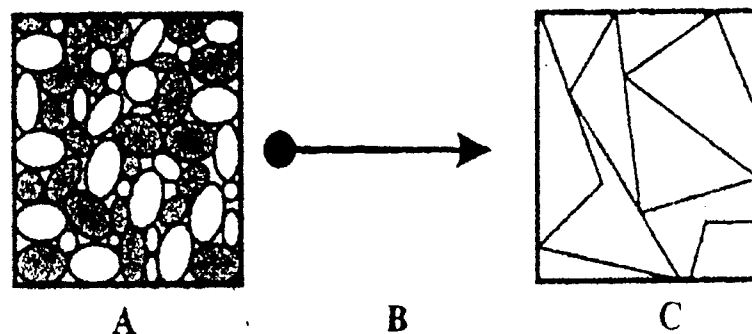
Dari gambar 4.10 memperlihatkan struktur mineral lokal alam dengan bagian-bagian yang masih kosong belum terisi oleh limbah krom.



Gambar 4.11. Bentuk struktur saringan berongga yang telah terisi oleh lumpur limbah krom.

Pada gambar 4.11 memperlihatkan struktur berongga yang telah terisi partikel lumpur limbah krom. Dengan demikian partikel lumpur limbah krom akan terjepit diantara partikel-partikel mineral lokal yaitu bentonit, feldspar dan kaolin yang mana memungkinkan partikel limbah krom sulit untuk terlepas kembali dari ikatan. (Ichinose, 1987).

Setelah proses pendinginan hasil solidifikasi (monolit) akan mengeras dan strukturnya telah berubah menjadi struktur kristal. Dalam sketsa dapat digambarkan sebagai berikut :



(Sumber : Ichinose, 1987)

Gambar 4.16. Perubahan susunan partikel dalam immobilisasi

Ketrerangan :

- A : Susunan partikel sebelum immobilisasi
 B : Proses immobilisasi
 C : Susunan partikel setelah immobilisasi



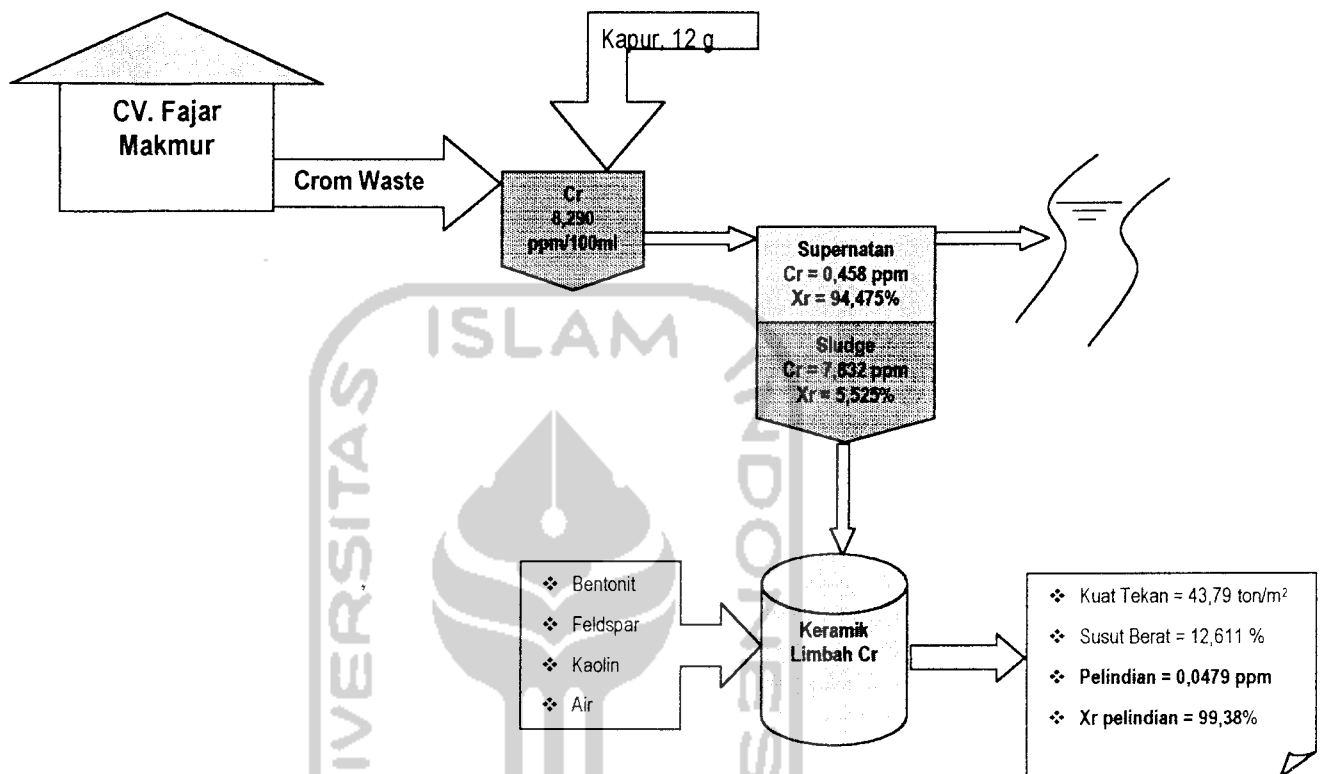
Partikel SiO_2 dalam mineral alam lokal



Partikel Krom

Dari sketsa terlihat jelas perbedaan susunan partikel dalam bahan sebelum dan sesudah immobilisasi. Dengan terjadinya leburan, maka struktur partikel berubah dalam bentuk yang hanya menempel menjadi bentuk yang telah menyatu dan terjadi proses kristalisasi sehingga sulit dipisahkan lagi, hal ini dikarenakan adanya pemanasan sehingga struktur monolit menjadi berbentuk kristal (Baraba,1999).

4.3 Alur Proses Pengolahan Persentase Removal Krom



Gambar 4.13 Alur Proses Pengolahan Persentase Removal Krom

4.4 Proses Alur Terjadinya Pelepasan Krom dalam Keramik

Proses alur pelepasan krom dengan varaisi 5% untuk pembakaran pada suhu 800°C dapat dihitung seperti di bawah ini :

- 1) Konsentrasi *sludge* = 7,832 mg/lit dalam 100 ml limbah cair krom.
- 2) Dosis penambahan kapur = 12 gram
- 3) Konsentrasi krom = 7,832 mg/lit * 0,1 lit = 0,7832 mg krom/12 gram kapur.

- 4) Konsentrasi krom murni = $\frac{0,7832\text{mgkrom}}{12\text{gram}} = 0,065\text{mg/1gram}$
- 5) Pada Variasi 5% digunakan 0,75 gram *sludge* krom sehingga konsentrasi krom yang masuk ke dalam keramik = $0,065 \text{ mg/1gram} * 0,75 \text{ gram} = 0,04875 \text{ mg}$.
- 6) Berat monolit keramik = 15 gram dan diambil cuplikan sebanyak 5 gram untuk proses pelindian.
- 7) Konsentrasi monolit keramik yang terlindi = 0,0569 ppm dalam 250 ml larutan.
- 8) Konsentrasi krom yang terlindi = $0,0569 \text{ mg/lt} * 0,25 \text{ lt} = 0,014225 \text{ mg crom./5gram cuplikan} = 0,002845 \text{ mg/gram}$
- 9) Konsentrasi krom yang keluar = $0,002845 \text{ mg/gram} * 15 \text{ gram monolit keramik} = 0,042675 \text{ mg krom yang keluar}$.
- 10) Efisiensi removal krom $E = \frac{C1 - C2}{C1} \times 100\% = \frac{0,04875 - 0,042675}{0,04875} \times 100\% = 12,46 \%$.
- 11) Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada lampiran.

4.5 Aplikasi Teknologi Keramik Limbah

Aplikasi teknologi keramik limbah untuk immobilisasi limbah B3 merupakan salah satu alternatif pengolahan limbah B3 dengan prinsip solidifikasi.

Aplikasi teknologi keramik untuk limbah krom dari penyamakan kulit jika mengacu pada data hasil penelitian di atas sangat memungkinkan untuk dikembangkan menjadi suatu barang yang memiliki nilai jual.

Karakteristik monolit keramik dari lumpur limbah krom memang belum memberikan hasil yang maksimum, hal ini dikarenakan suhu pembakaran yang maksimal dalam penelitian ini hanya dibatasi pada suhu 1000°C hal ini dikarenakan keterbatasan alat dan waktu penelitian. Dimana hasil uji monolit menunjukkan dengan meningkatnya suhu maka kualitas dari keramik akan semakin baik.

Monolit keramik limbah masih perlu ditingkatkan kualitas baik dari segi preparasi limbah krom, bahan keramiknya (bentonit, feldspar dan kaolin), juga dari segi teknologi pencampuran, pencetakan dan pembakaran sehingga diperoleh monolit keramik limbah yang memiliki kemampuan mengungkung limbah B3 secara permanent dengan melalui pengujian sifat fisis (uji tekan dan uji susut berat) dan sifat kimia (uji lindi) dari monolit tersebut.

Monolit keramik limbah perlu ditingkatkan kualitasnya dengan cara antara lain :

1. Dengan membuat cetakan sampel yang lebih bermanfaat dan memiliki nilai jual seperti berbentuk kotak yang kemungkinan dapat digunakan untuk lantai.
2. Dengan menambahkan zat aditif seperti bahan pelebur (Na_2CO_3 , K_2CO_3 , BaCO_3 , Pb_3O_4) sehingga kualitas dari monolit keramik limbah dapat memiliki sifat fisis dan kimia yang maksimal.

3. Dengan menambahkan bahan pewarna/glasir (senyawa cobalt, senyawa besi, senyawa nikel, senyawa chrom) agar produk dari monolit keramik lebih memiliki nilai keindahan (*art*).
4. Dengan meningkatkan suhu pembakaran sampai dengan 1400 - 1500°C sehingga akan didapat suatu monolit keramik limbah yang mana telah terjadi penggelasan/*vitrifikasi* yang mana pada akhirnya akan didapat kualitas monolit keramik yang jauh lebih baik.

Mengingat kondisi limbah B3 cair dari industri mempunyai karakteristik, jenis dan kuantitas/jumlah limbah B3 yang berbeda-beda untuk setiap proses yang dilakukan, maka apabila teknologi keramik limbah ini akan diterapkan masih memerlukan penelitian lebih lanjut akan tetapi jika teknologi keramik limbah ini digunakan untuk industri penyamakan kulit sangat mungkin untuk dilaksanakan dengan mengacu pada hasil penelitian di atas.

Secara garis besar, teknologi keramik limbah mengikuti proses kegiatan sebagai berikut :

1. Preparasi limbah
 - a. Karakterisasi limbah
 - b. Pengolahan limbah
 - c. Karakterisasi limbah lumpur hasil pengolahan tersebut.
2. Preparasi bahan keramik (mineral lokal yaitu bentonit, feldspar dan kaolin).
 - a. Pengerusan bahan keramik (bentonit, feldspar dan kaolin)

- b. Pengayakan bahan keramik sehingga diperoleh bahan yang homogenitas/ memiliki ukuran butiran yang sama (-100 / +200 mesh).
 - c. Aktivasi bahan keramik dengan suhu 300°C selama 60 menit.
3. Pencampuran limbah dengan bahan keramik dengan penambahan air $\pm 10 \%$ dari total sampel dengan tujuan sebagai perekat.
 4. Pencetakan
 5. Pemanasan/pembakaran
 6. Pendinginan
 7. Karakteristik produk (meliputi pengujian sifat fisis maupun sifat kimi a dari momolit keramik limbah tersebut).
 8. Pemasaran produk

4.5.1 Komposisi Keramik Limbah

Dari data hasil penelitian di atas, dipergunakan komposisi bahan keramik (mineral lokal) dengan komposisi penyusunnya : bentonit 15 %, feldspar 25 % dan kaolin 60 % serta lumpur limbah krom digunakan kurang lebih (10 – 15) % dengan penambahan air $\pm 10 \%$ sebagai bahan perekat. Yang mana dengan komposisi seperti yang ada di atas masih memberikan produk keramik limbah yang baik.

Harga Bahan Pokok

Bentonit	= Rp. 800/kg
Feldspar	= Rp. 1500/kg
Kaolin	= Rp. 1000/kg

Kebutuhan Bahan Untuk 1 Buah Keramik

Bentonit	= 67,5 gram x Rp.800,-	= Rp.54,-
Feldspar	= 112,5 gram x Rp.1500,-	= Rp.168,75,-
Kaolin	= 270 gram x Rp.1000,-	= <u>Rp. 270,-</u>
		Rp. 492,75,-

Kebutuhan Dana Untuk Bahan Baku/hari

Bentonit	= 67,5 kg x Rp.800/kg	= Rp. 54.000,-
Feldspar	= 112,5 kg x Rp.1500/kg	= Rp. 168.750,-
Kaolin	= 270 gr x Rp.1000/kg	= <u>Rp. 270.00,-</u>
		Rp. 492.750,-/hari

Kebutuhan dana untuk 1 bulan = 24 hari x Rp. 492.750,-/hari = Rp.11.826.000,-

Kebutuhan dana untuk 1 tahun = 288 x Rp.492.750,-/hari = Rp. 141.912.000,-

Kebutuhan bahan glasir/tahun = Rp. 1.800.000,-

Tenaga Kerja

Gaji 1 bulan = 3 orang x @ Rp. 500.000,- = Rp. 1.500.000,-

Gaji 1 tahun = 12 bulan x 1.500.000,- = Rp. 18.000.000,-

Bahan Bakar dan Energi

Bahan baker/elpiji = 3 bulan x Rp.2.500.000,- = Rp. 7.500.000,-

= 12 bulan x Rp.2.500.000,- = Rp.30.000.000,-

4.5.2.2 Perhitungan Modal dan Biaya Produksi**1. Modal Tetap (investasi)**

a. Harga alat cetak = 2 buah x @Rp.5.000.000,- =Rp. 10.000.000,-

b. Harga tungku = 2 buah x @Rp.25.000.000,-= Rp. 50.000.000,-

c. Unit preparasi = 1 buah x @RP. 7.000.000,- = Rp. 7.000.000,-

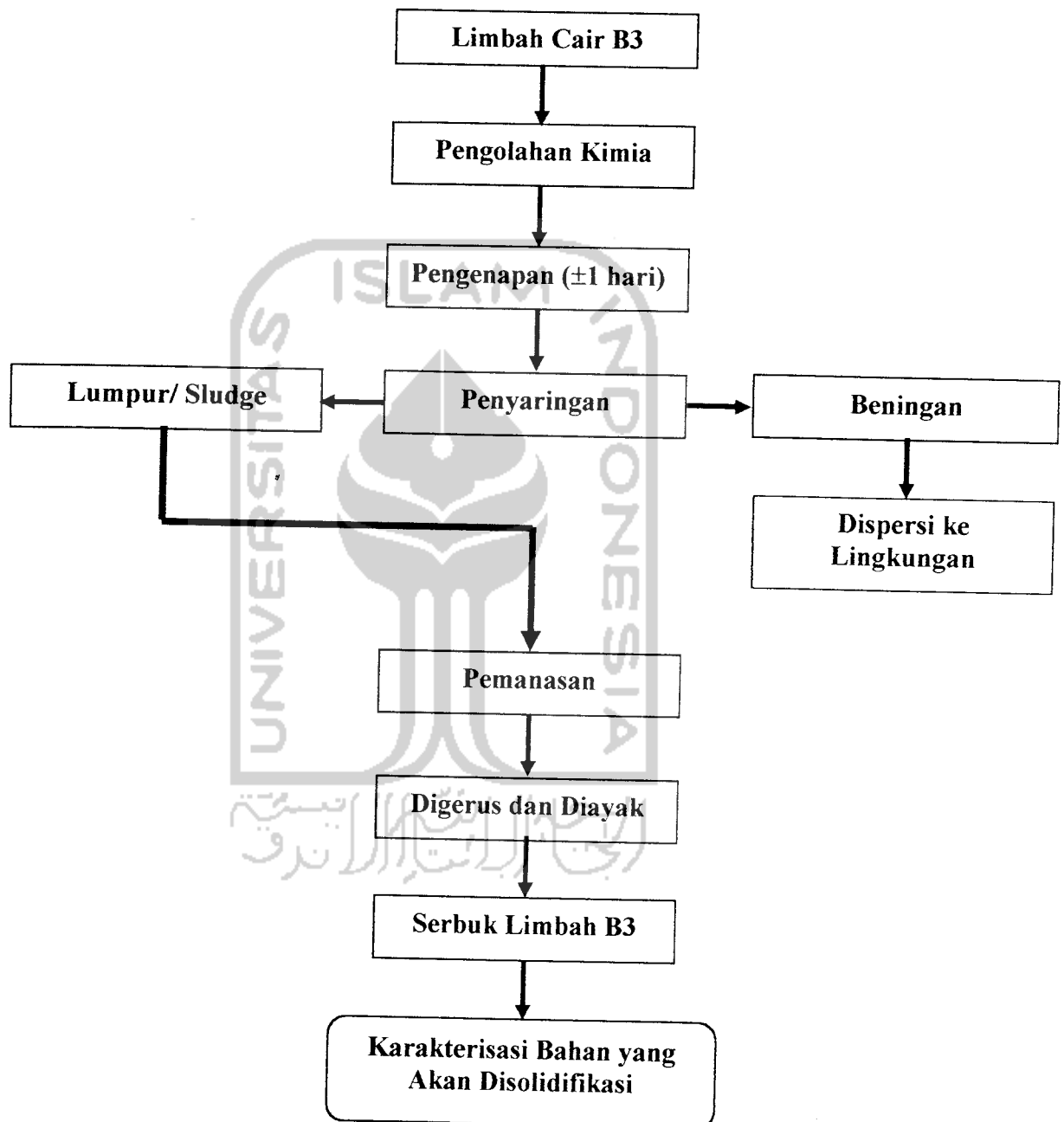
d. Unit Mixing = 1 buah x @Rp. 3.000.000,- = Rp. 3.000.000,-

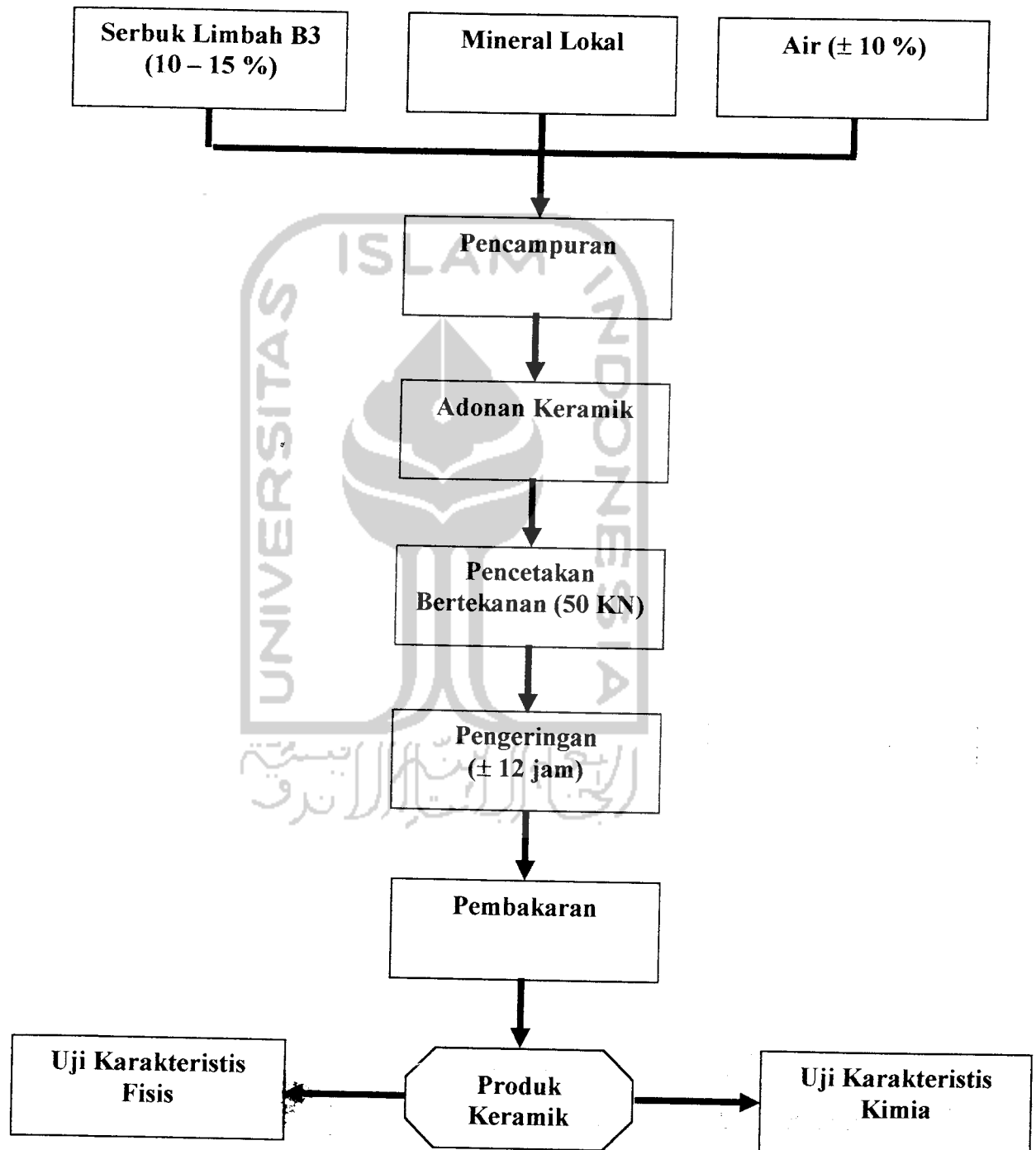
Rp. 70.000.000,-

2. Perhitungan Biaya Produksi/Tahun**a. Biaya tetap 1 tahun**

1) Bahan baku = Rp. 141.912.000,-

2) Bahan glasir = Rp. 1.800.000,-

METODE PREPARASI LIMBAH CAIR B3**Gambar 4.12. Skema Metode Preparasi Limbah Cair B3**

METODE PEMBUATAN KERAMIK LIMBAH UNTUK INDUSTRI**Gambar 6.2 Skema Metode Pembuatan Keramik Limbah Untuk Industri**

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan landasan teori disimpulkan sebagai berikut :

1. Kalsium karbonat (CaCO_3) dapat dipergunakan sebagai bahan adsorbant pada pengolahan limbah krom sebelum di buang ke lingkungan dengan Kondisi terbaik penambahan dosis Kalsium Karbonat (CaCO_3) dicapai pada dosis 12 gr dengan kecepatan pengadukan 100 rpm selama 10 menit dilanjutkan dengan pengadukan 50 rpm selama 60 menit. Pada kondisi ini diperoleh harga efisiensi pemisahan krom sebesar 96,080 %.
2. Immobilisasi limbah krom dengan bahan mineral lokal (bentonit, felspar dan kaolin) dapat mengungkung secara baik dengan komposisi mineral lokal Bentonit : Feldspar : Kaolin = 15 : 25 : 60 dikarenakan memiliki kuat tekan tertinggi yaitu 5,158 KN/cm² dan nilai susut berat terkecil yaitu 13,138 %.
3. Prosentase penambahan lumpur limbah krom yang optimal dalam pembentukan keramik guna mengungkung limbah krom ± 10 %, hal ini dikarenakan memiliki nilai kuat tekan = 30,809 Ton/m², susut berat = 13,394 % dan nilai pelindian = 0,0635 ppm. Semua nilai tersebut berada di atas nilai minimal yang ditetapkan.
4. Suhu/Pembakaran yang optimal dalam pembentukan monolit keramik guna mengungkung limbah krom adalah pada pemanasan 1000°C.

5.2 Saran

1. Diharapkan immobilisasi limbah krom dengan menggunakan bahan kapur sebagai adsorbant dan mineral lokal sebagai pengikat dengan teknologi keramik dapat dijadikan sebagai salah satu alternatif metode dalam pengolahan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3)
2. Disarankan untuk melakukan penelitian lebih lanjut terhadap immobilisasi limbah krom dengan bahan adsorbant yang berbeda dan penambahan zat aditif agar kualitas monolit semakin baik.
3. Perlu adanya kajian dan penelitian lebih lanjut dengan melakukan penelitian pada suhu pembakaran di atas 1000°C , karena kecenderungan hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi suhu pembakaran maka kualitas dari monolit keramik limbah semakin baik.
4. Diharapkan munculnya peneliti-peneliti yang baru dengan menggunakan bahan mineral lokal yang merupakan dari potensi daerah sehingga dapat mengoptimalkan sumber daya mineral yang ada pada daerah tersebut serta dapat mengurangi kuantitas jumlah limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) dengan menggunakan teknologi keramik.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, (1998), “Pengembangan Teknologi Maju Berbasis Sumber Daya Lokal”, Tim Laboratorium Teknologi Keramik, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.
- Anonim (2000), “Jurnal Keramik dan Gelas Indonesia”, Balai Besar Industri Keramik, Yogyakarta.
- Anonim, (2001), “Industri Penyamakan Kulit”, PT. Budi Makmur Jaya Murni, Yogyakarta.
- Anonim, (2002), “Pengelolaan Limbah Padat UP-IV Cilacap”, Lemigas, Jakarta.
- Anonim, (2003), “Seminar nasional Teknik Kimia”, UNDIP, Semarang.
- Achmad, H, (1992). “Kimia unsur dan radiokimia”, UI Press, Jakarta
- Alaets, G and Santika, SS, (1984), “Metode penelitian air”, Usaha nasional, Surabaya.
- Alloy, folochier, (1976) “Tannery and Polution”, Centre teqnique da cuir, France
- Astuti, A., (1997), “Pengetahuan Keramik”, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Baraba, W (1999), “Membangun Struktur Keramik Maju Indonesia Berbasis Sumber Daya Lokal”, Balai Besar penelitian & Pengembangan Industri Keramik, Bandung.
- Basuki, TK, (2002), “Diktat Kuliah Produksi Bersih”, Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

- Breck, W.G and Brown. R..C, (1997) "Chemistry for science and engineering",
Second edition, Mcgraw – Hill, Publishing Company, New Delhi.
- Benefield D.L and Judkins, Jr "Process chemistry for water and wastewater
treatment", Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, New jersey.
- Chang, Luke, (2000), "Industrial Mineralogy", Prentice hall, New jersey.
- Eckenfelder,Jr, Wesley, "Industrial water pollution control",McGraw-Hill Series
in Water Resources and Environmental Engineering.
- Edy Purnomo, (1985) "Teknologi penyamakan kulit", ATK, Yogyakarta.
- Ichinose, N, (1987), "Introduction to Fine Ceramics Applications on
Engineering", John Wiley and Sons LTD, New York.
- Kismolo, Endro, (2001) "Pengolahan limbah cair krom menggunakan Natrium
Hidroksida, Magnesium Oksida dan Natrium Karbonat", proseding
pertemuan dan presentasi penelitian dan pengelolaan perangkat nuklir,
P3TM BATAN, Yogyakarta.
- Kingery, W.D, (1975), "Introduction to Ceramics", A Wiley-interscience
Publication, John Wiley & Sons, New York.
- Linarsih, (2002), "Penambahan CaCO_3 dan NaOH pada pengolahan limbah krom
dengan sistem adsorpsi", STTL, Jogjakarta.
- Manahan, S.E, (1994), "Environmental Chemistry, 6th.ed.Lewis Publisher, USA.
- Nurimaniwathy, dkk, (2003), "Adsorpsi limbah krom menggunakan lempung
nanggulan hasil aktivasi kimia", proseding pertemuan dan presentasi
penelitian dan pengelolaan perangkat nuklir, P3TM BATAN, Yogyakarta.

Oetoyo, etal, (1981), “Pola Penanganan Limbah Industri Penyamakan Kulit Karet dan Plastik”, Yogyakarta.

Pallar. H, (1991), “Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat”, Rineke Cipta, Jakarta.

Petrucci, Ralph and Suminar (1999) “Kimia Dasar”, Erlangga, Jakarta.

Santoso, Singgih, (2001), “SPSS versi 10”, Elex Media Komputindo, Jakarta.

Scott, Keith, (2002), “Electrochemical processes for clean technology”, University of Newcastle, UK.

Soemirat, Juli, (1994), “Kesehatan Lingkungan”, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Sudjana, eggi dan Riyanto, (1999), “Penegakan Hukum Lingkungan dalam Perspektif etika bisnis di Indonesia”, Gramedia, Jakarta.

Tinsley, “Chemical Concepts in Pollutant Behavior”, Oregon State University, Carvallis.

Webar, Wbend. M, (1972), “Adsorption in heterogenes Aqua in Sistem”, Jaour AWWA.

[www. Ipteknet.com](http://www.Ipteknet.com)

www.Menlh.gov.id

www.uthscsa.edu/safety.com

www. Dml.or.id

LAMPIRAN L.1 Perhitungan Efisiensi Penurunan Kadar Krom dan Susut Berat

Berat

1.1 Perhitungan Efisiensi Penurunan Kadar Krom Dapat Dihitung Dengan Persamaan

$$E = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100\%$$

Dimana :

E : Efisiensi proses penurunan kadar crom (%)

C₁ : Keadaan awal Crom sebelum pengolahan

C₂ : Keadaan akhir Crom setelah pengolahan .

Untuk perhitungan efisiensi penurunan kadar krom pada penambahan dosis kapur sebanyak 3 gr. Dimana dari penelitian didapat nilai krom awal sebesar = 8,290 ppm dan krom akhir setelah penambahan kapur sebanyak 3 gr adalah 3, 820 ppm sehingga didapat efisiensinya :

$$E = \frac{8,290 - 3,820}{8,290} \times 100\% = 53,92\%$$

1.2 Perhitungan Susut Berat Dapat Dihitung Dengan Persamaan

$$\text{Susut Berat} = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100\%$$

Dimana :

W₀ : Berat awal monolit sebelum pembakaran

W₁ : Berat akhir monolit setelah pembakaran

Untuk perhitungan Susut Berat monolit untuk sampel limbah krom 0 % pada sampel I dengan pembakaran suhu 800°C selama 60 menit. Dimana dari penelitian didapat berat awal monolit sebelum pembakaran = 15,022 gr dan berat akhir monolit setelah pembakaran = 13,340 gr sehingga nilai susut beratnya :

$$\text{SusutBerat} = \frac{15,022 - 13,340}{15,022} \times 100\% = 11,197\%$$

1.3 Konversi Satuan Dari KN/cm² Menjadi Ton/m².

Konversi Satuan :

$$1 \text{ lb} : 0,45359 \text{ kg}$$

$$1 \text{ Bar} : 1 \times 10^5 \text{ Pa} = 1 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ ft} : 0,3048 \text{ m}$$

$$1 \text{ Ton} : 1000 \text{ kg}$$

$$1 \text{ m} : 100 \text{ cm}$$

$$1 \text{ lb} : 32,174 \text{ lb ft/det}^2 \text{ (Faktor proporsionalitas Newton).}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ N} &= \frac{1 \text{ kg m/det}^2 \times 1 \text{ lb}}{0,4536 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ ft}}{0,3048 \text{ m}} \\ &= 7,2330 \text{ lb ft/det}^2 \times (1 \text{ lbf} / (32,174 \text{ lb ft/det}^2)) \\ &= 0,22481 \text{ lb} \end{aligned}$$

Contoh Perhitungan :









Dalam perhitungan kali ini digunakan sampel penentuan monolit yang terbaik dengan kuat tekan = 5,158 KN/cm²

$$\begin{aligned} 5,158 \text{ KN/cm}^2 &= 5158 \text{ N/cm}^2 \times 0,22481 \text{ lb} \\ &= 1159,57 \text{ lb} \times 0,45359 \text{ kg / 1lb} \\ &= 525,97 \text{ kg / cm}^2 \\ &= 525,97 \text{ kg/cm}^2 \times 1 \text{ ton} / 1000 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$= 0,52597 \text{ ton/cm}^2 \times 100 \text{ cm} / 1 \text{ m}$$

$$= 52,596 \text{ ton/m}^2$$

1.4 Prosedur Pengujian Pelindian Dengan Metode TCLP Bagi Limbah Non Volatil

1. Timbang sampel 100 gram, haluskan sampel apabila mempunyai diameter lebih dari 9.5 mm (tidak lolos saringan standar 9,5 mm).
2. Lakukan pengujian pH
 - 1)  Timbang subsampel 5 gram (berasal dari sampel 100 gram)
 -  Tambahkan 96,5 ml air destilasi
 -  Tutup dengan kaca arloji dan aduk dengan magnetic stirer (pengaduk mekanik) selama 5 menit.
 -  Ukur pH
 - 1)  Bila pH langkah 1) lebih dari 5,0 tambahkan 3,5 ml Hcl 1,0 N
 -  Tutup dengan kaca arloji dan panaskan sampai 50°C selama 50 menit
 -  Biarkan larutan dingin
 -  Ukur pH
3. Bila hasil 2 1) dan 2 2) pH < 5,0 gunakan larutan ekstraksi 1, dan bila hasil 2 2) memiliki pH > 5,0 gunakan larutan ekstraksi 2.
 - 1) **Larutan ekstraksi 1 :**
Larutan HOAc sebanyak 5,7 ml dimasukkan ke dalam 500 ml H₂O tipe 1 (Aquadest), ditambahkan 64,3 ml NaOH 1,0 N. Kemudian diencerkan sampai volume 1 liter sehingga pH 4,93 ±0,05
 - 2) **Larutan ekstraksi 2 :**
Larutan sebanyak 5,7 ml HOAc dilarutkan ke dalam H₂O tipe 2 (Bidest) sampai volume 1 liter (pH 2,88 ± 0,05).

4. Ekstraksi sampel dalam larutan ekstraksi yang sesuai selama 18 jam pada suhu (19-25)°C dengan kecepatan putaran 30 ± 2 rpm.
5. Lakukan pencucian filter/kertas saring dengan asam lalu saring hasil ekstraksi di atas.
6. Analisa larutan ekstraksi.



LAMPIRAN 2

Lampiran. L. 2 Penentuan Komposisi Mineral Lokal Yang Terbaik Pada Suhu 1200°C Dengan Diameter Monolit = 2,4 cm

No	Mineral Lokal			Beban Maks (KN)	Kuat Tekan (KN/cm ²)	Rata-Rata (KN/cm ²)	Kuat Tekan (Ton/m ²)	Rata-Rata (Ton/m ²)
	Bentonit (%)	Feldspar (%)	Kaolin (%)					
1	15	25	60	21	4,863	5,158	49,589	52,623
				25	5,526		56,439	
				23	5,084		51,842	
2	25	60	15	18	3,979	4,274	40,574	43,579
				20	4,421		45,082	
				20	4,421		45,082	
				20	4,421		45,082	
3	60	15	25	15	3,315	3,131	33,804	31,928
				15	3,315		33,804	
				12,5	2,763		28,175	

(Sumber : Data Primer, 2004)

LAMPIRAN 3

Tabel L.3 Lampiran Susut Berat Dengan Pemanasan Pada Suhu 1200°C

No	Mineral Lokal			Uji Susut Berat			Rata-Rata
	Bentonit (%)	Feldspar (%)	Kaolin (%)	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Susut Berat (%)	
I	15	25	60	14,369	12,493	13,056	13,138
				15,403	13,347	13,348	
				14,858	12,925	13,009	
II	25	60	15	15,481	12,992	16,078	16,194
				15,295	12,807	16,267	
				15,262	12,784	16,236	
III	60	15	25	15,882	12,635	20,444	20,193
				15,885	12,673	20,220	
				15,788	12,644	19,914	

(Sumber : Data Primer, 2004)

LAMPIRAN 4

Tabel L.4 Lampiran Uji Kuat Tekan pada suhu 800°C dengan diameter monolit = 2,4 Cm

No	Lumpur Limbah Kromium Hidroksida (%)	Jenis Monolit	Kuat Desak Monolit (KN)	Kuat Tekan (KN/cm ²)	Rata-rata (KN/cm ²)	Kuat Tekan (Ton/m ²)	Rata-rata (Ton/m ²)
I	0	A1	15	3,316	3,132	33,814	31,934
		A2	15	3,316		33,814	
		A3	12,5	2,763		28,175	
II	5	B1	12,5	2,763	2,690	28,175	27,427
		B2	12	2,653		27,053	
		B3	12	2,653		27,053	
III	10	C1	10	2,210	2,210	22,536	22,536
		C2	10	2,210		22,536	
		C3	10	2,210		22,536	
IV	15	D1	8	1,768	1,842	18,029	18,780
		D2	8	1,768		18,029	
		D3	9	1,989		20,282	
V	20	E1	5	1,105	1,068	11,268	10,894
		E2	4,5	0,995		10,146	
		E3	5	1,105		11,268	

(Sumber : Data Primer, 2004)

LAMPIRAN 5

Tabel I.5 Lampiran Uji Kuat Tekan pada suhu 900°C dengan diameter monolit = 2,4 Cm

No	Lumpur Limbah Kromium Hidroksida (%)	Jenis Monolit	Kuat Desak Monolit (KN)	Kuat Tekan (KN/cm ²)	Rata-rata (KN/cm ²)	Kuat Tekan (Ton/m ²)	Rata-rata (Ton/m ²)
I	0	A1	17,5	3,868	3,758	39,443	38,318
		A2	16	3,537		36,067	
		A3	17,5	3,868		39,443	
II	5	B1	13	2,874	2,948	29,307	30,058
		B2	13	2,874		29,307	
		B3	14	3,095		31,560	
III	10	C1	12	2,653	2,763	27,053	28,178
		C2	12,5	2,763		28,175	
		C3	13	2,874		29,307	
IV	15	D1	10	2,210	2,284	22,536	23,290
		D2	11	2,432		24,799	
		D3	10	2,210		22,536	
V	20	E1	8	1,768	1,915	18,029	19,531
		E2	9	1,989		20,282	
		E3	9	1,989		20,282	

(Sumber : Data Primer, 2004)

LAMPIRAN 6

Tabel L.6 Lampiran Uji Kuat Tekan pada suhu 1000°C dengan diameter monolit = 2,4 Cm

No	Lumpur Limbah Kromium Hidroksida (%)	Jenis Monolit	Kuat Desak Monolit (KN)	Kuat Tekan (KN/cm ²)	Rata-rata (KN/cm ²)	Kuat Tekan (Ton/m ²)	Rata-rata (Ton/m ²)
I	0	A1	18	3,979	4,274	40,574	43,579
		A2	20	4,421		45,082	
		A3	20	4,421		45,082	
II	5	B1	15	3,316	3,390	33,814	34,565
		B2	15	3,316		33,814	
		B3	16	3,537		36,067	
III	10	C1	14	3,095	3,021	31,560	30,809
		C2	13	2,874		29,307	
		C3	14	3,095		31,560	
IV	15	D1	12	2,653	2,653	27,053	27,053
		D2	12	2,653		27,053	
		D3	12	2,653		27,053	
V	20	E1	11	2,432	2,284	24,799	23,290
		E2	10	2,210		22,536	
		E3	10	2,210		22,536	

(Sumber : Data Primer, 2004)

LAMPIRAN 7

Tabel L.7 Lampiran Susut Berat Dengan Pemanasan Pada Suhu 800°C.

No	Lumpur Limbah Kromium Hidroksida (%)	Berat Awal (W ₀) (gr)			Berat Akhir (W ₁) (gr)			Susut Berat (%)			Rata-Rata
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	
1	0	15,022	15,038	15,027	13,340	13,359	13,328	11,197	11,165	11,306	11,223
2	5	15,439	15,006	15,052	13,609	13,239	13,175	11,853	11,775	12,271	11,966
3	10	16,077	15,395	16,664	14,124	13,476	14,593	12,148	12,465	12,428	12,347
4	15	15,761	15,630	15,575	13,729	13,624	13,562	12,893	12,834	12,925	12,884
5	20	15,834	15,700	15,801	13,776	13,653	13,724	13,702	13,764	13,628	13,698

(Sumber : Data Primer, 2004).

LAMPIRAN 8

Tabel L.8 Lampiran Susut Berat Dengan Pemanasan Pada Suhu 900°C

No	Limbah Krom (%)	Berat Awal (gr)			Berat Akhir (gr)			Susut Berat (%)			Rata-Rata
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	
1	0	15,570	15,528	15,567	13,783	13,704	13,778	11,477	11,747	11,492	11,572
2	5	15,764	15,935	15,662	13,892	13,976	13,723	11,875	12,294	12,380	12,183
3	10	15,895	15,910	15,767	13,854	13,897	13,802	12,841	12,652	12,463	12,652
4	15	15,692	15,678	15,685	13,586	13,549	13,546	13,421	13,580	13,637	13,546
5	20	15,594	15,455	15,625	13,390	13,303	13,417	14,134	13,924	14,131	14,063

(Sumber : Data Primer, 2004).

LAMPIRAN 9

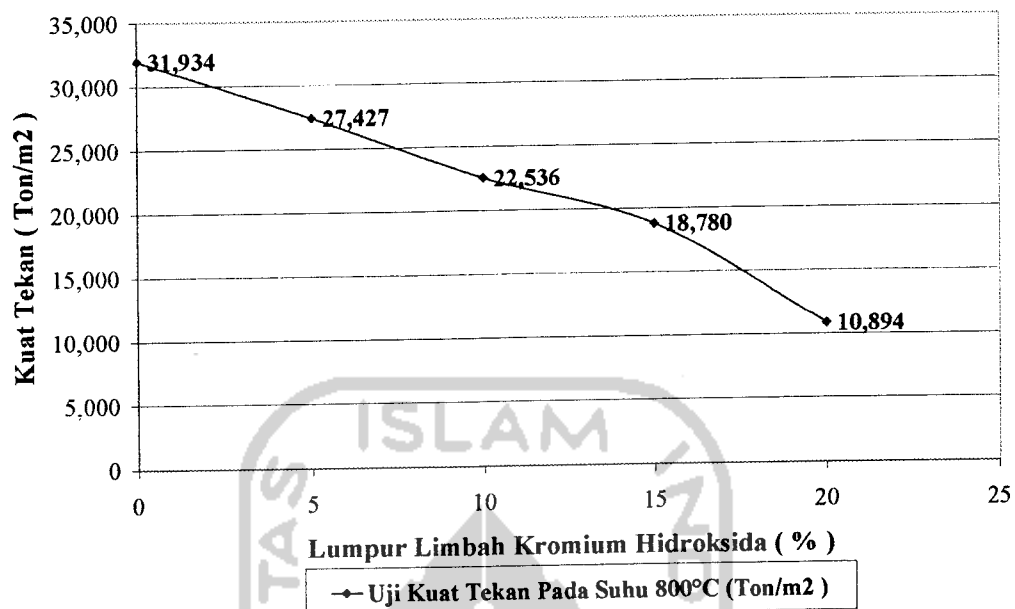
Tabel L.9 Lampiran Susut Berat Dengan Pemanasan Pada Suhu 1000°C

No	LumpurLimbah Kromium Hidroksida (%)	Berat Awal (gr)			Berat Akhir (gr)			Susut Berat (%)			Rata- Rata
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	
1	0	15,850	15,707	15,696	13,871	13,723	13,700	12,486	12,631	12,717	12,611
2	5	15,705	15,723	15,680	13,652	13,668	13,617	13,072	13,070	13,157	13,100
3	10	15,672	15,553	15,736	13,553	13,498	13,620	13,521	13,213	13,447	13,394
4	15	15,571	15,668	15,462	13,406	13,457	13,278	13,904	14,112	14,125	14,047
5	20	15,390	15,472	15,376	13,124	13,165	13,102	14,724	14,911	14,789	14,808

(Sumber : Data Primer, 2004).



Grafik Uji Kuat Tekan Rata-rata Pada Suhu 800°C (Ton/m²)



Gambar L.2 Grafik korelasi antara nilai kuat tekan terhadap lumpur limbah kromium hidroksida (Ton/m²) pada suhu 800°C.

LAMPIRAN 11

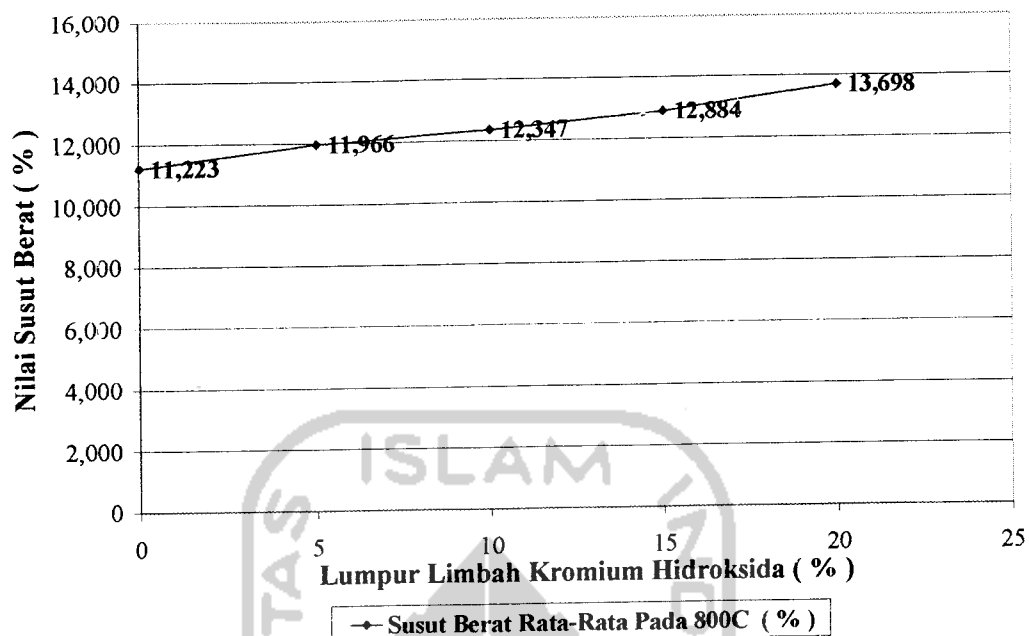
Tabel L.11 Lampiran Susut Berat Dengan Pemanasan Pada Suhu 800°C

Lumpur Limbah Krom (%)	Uji Susut Berat (%)			Rata-Rata (%)
	I	II	III	
0	11,197	11,165	11,306	11,223
5	11,853	11,775	12,271	11,966
10	12,148	12,465	12,428	12,347
15	12,893	12,834	12,925	12,884
20	13,702	13,764	13,628	13,698

(Sumber : Data Primer, 2004)

Dari data di atas didapatkan grafik sebagai berikut :

Grafik Susut Berat Rata-Rata Pada 800C (%)



Gambar 1.3 Grafik korelasi antara nilai susut berat terhadap lumpur limbah kromium hidroksida pada suhu 800°C.

LAMPIRAN 12

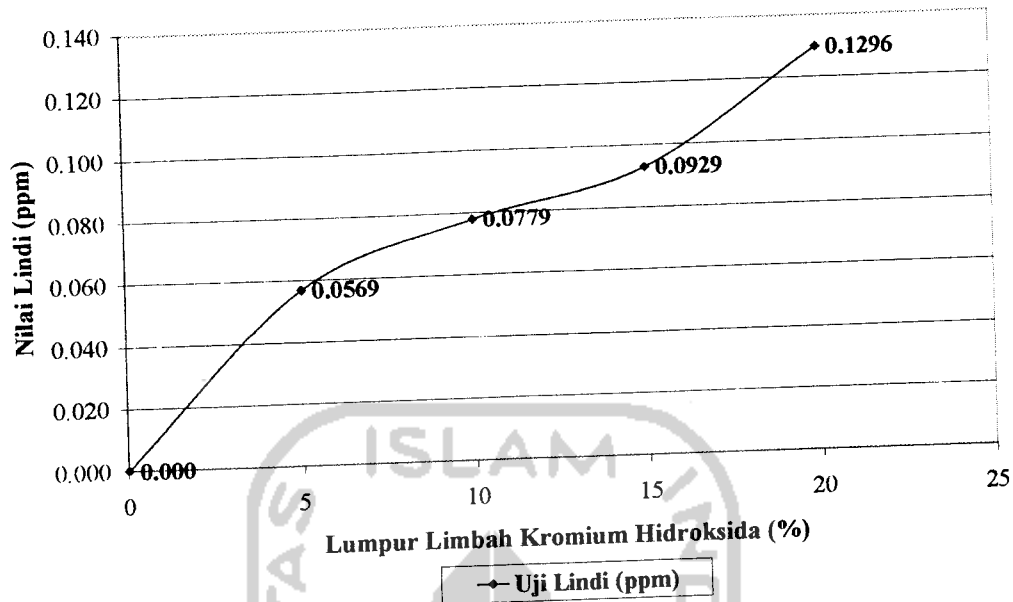
Tabel L.12 Lampiran Uji Lindi Dengan Pemanasan Pada Suhu 800°C

Lumpur Limbah Krom (%)	Uji Lindi (ppm)		Rata-Rata (ppm)
	I	II	
0	0.000	0.000	0.000
5	0.0767	0.0371	0.0569
10	0.0875	0.0683	0.0779
15	0.1091	0.0767	0.0929
20	0.1165	0.1427	0.1296

(Sumber : Data Primer, 2004).

Dari data di atas didapatkan grafik sebagai berikut :

Grafik Uji Lindi Pada Suhu 800C (ppm)



Gambar I.4 Grafik korelasi antara nilai lindi terhadap lumpur limbah kromium hidroksida pada suhu 800°C.

LAMPIRAN 13

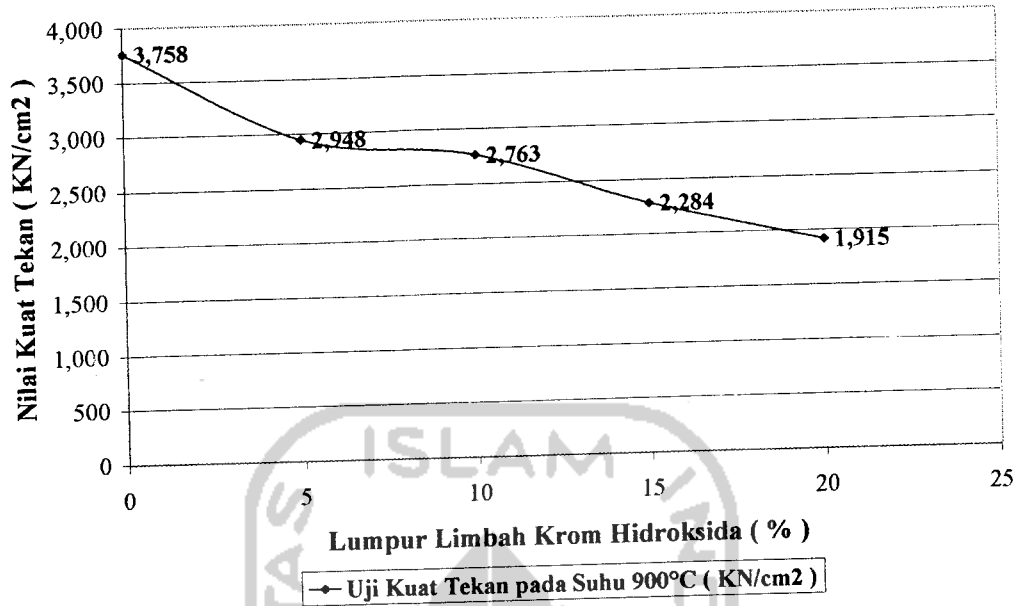
Tabel L.13 Lampiran Uji Kuat Tekan (KN/cm^2) atau (Ton/m^2) Pada Suhu 900°C

Lumpur Limbah Krom (%)	Kuat Tekan (KN/cm^2)			Rata-Rata (KN/cm^2)	Kuat Tekan (Ton/m^2)			Rata-Rata (Ton/m^2)
	I	II	III		I	II	III	
0	3,868	3,537	3,868	3,758	39,443	36,067	39,443	38,318
5	2,874	2,874	3,095	2,948	29,307	29,307	31,560	30,058
10	2,653	2,763	2,874	2,763	27,053	28,175	29,307	28,178
15	2,210	2,432	2,210	2,284	22,536	24,799	22,536	23,290
20	1,768	1,989	1,989	1,915	18,029	20,282	20,282	19,531

(Sumber : Data Primer, 2004)

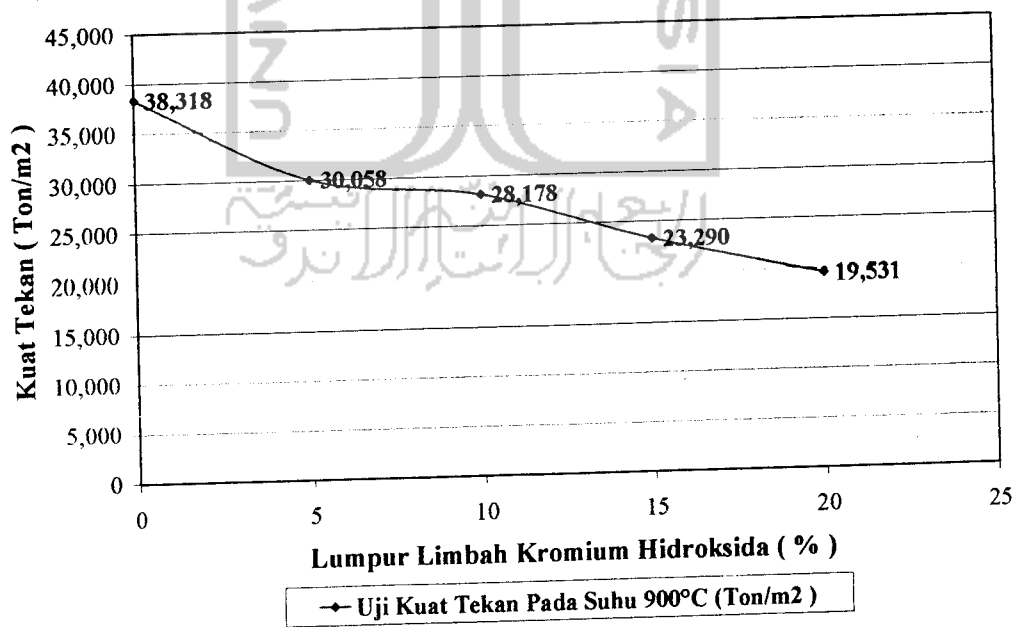
Dari data di atas didapatkan grafik sebagai berikut :

Grafik Uji Kuat Tekan Rata-rata pada Suhu 900°C (KN/cm²)



Gambar 1.5 Grafik korelasi antara nilai kuat tekan terhadap lumpur limbah kromium hidroksida (KN/cm²) pada suhu 900°C.

Grafik Uji Kuat Tekan Rata-rata Pada Suhu 900°C (Ton/m²)



Gambar 1.6 Grafik korelasi antara nilai kuat tekan terhadap lumpur limbah kromium hidroksida (Ton/m²) pada suhu 900°C.

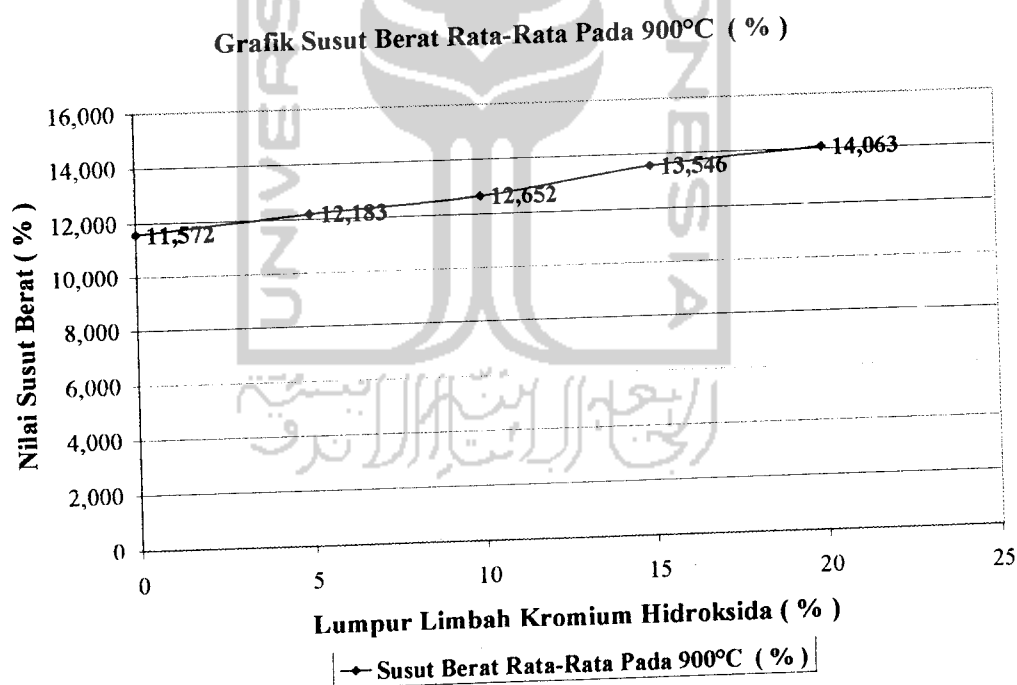
LAMPIRAN 14

Tabel L.14 Lampiran Susut Berat Dengan Pemanasan Pada Suhu 900°C

Lumpur Limbah Krom (%)	Susut Berat (%)			Rata-Rata (%)
	I	II	III	
0	11,477	11,747	11,492	11,572
5	11,875	12,294	12,380	12,183
10	12,841	12,652	12,463	12,652
15	13,421	13,580	13,637	13,546
20	14,134	13,924	14,131	14,063

(Sumber : Data Primer, 2004)

Dari data di atas didapatkan grafik sebagai berikut :



Gambar 1.7 Grafik korelasi antara nilai susut berat terhadap lumpur limbah kromium hidroksida pada suhu 900°C.

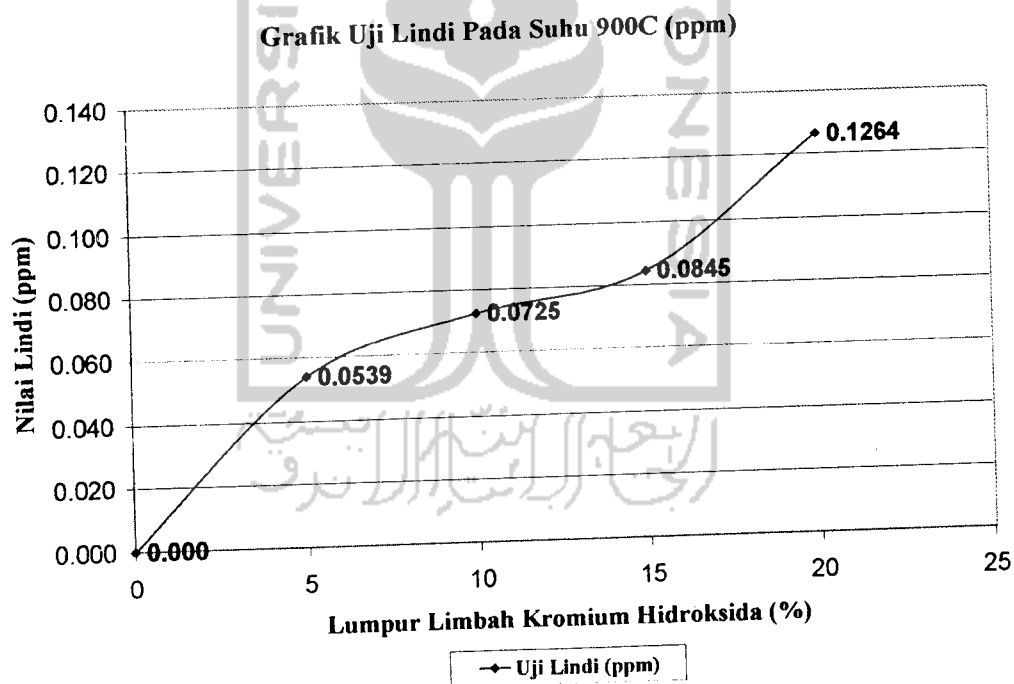
LAMPIRAN 15

Tabel L.15 Lampiran Uji Lindi Dengan Pemanasan Pada Suhu 900°C

Lumpur Limbah Krom (%)	Uji Lindi (ppm)		Rata-Rata (ppm)
	I	II	
0	0.000	0.000	0.000
5	0.0755	0.0323	0.0539
10	0.0551	0.0899	0.0725
15	0.1091	0.0599	0.0845
20	0.0831	0.1696	0.1264

(Sumber : Data Primer, 2004)

Dari data di atas didapatkan grafik sebagai berikut :



Gambar 1.8 Grafik korelasi antara nilai uji lindi terhadap lumpur limbah kromium hidroksida pada suhu 900°C.

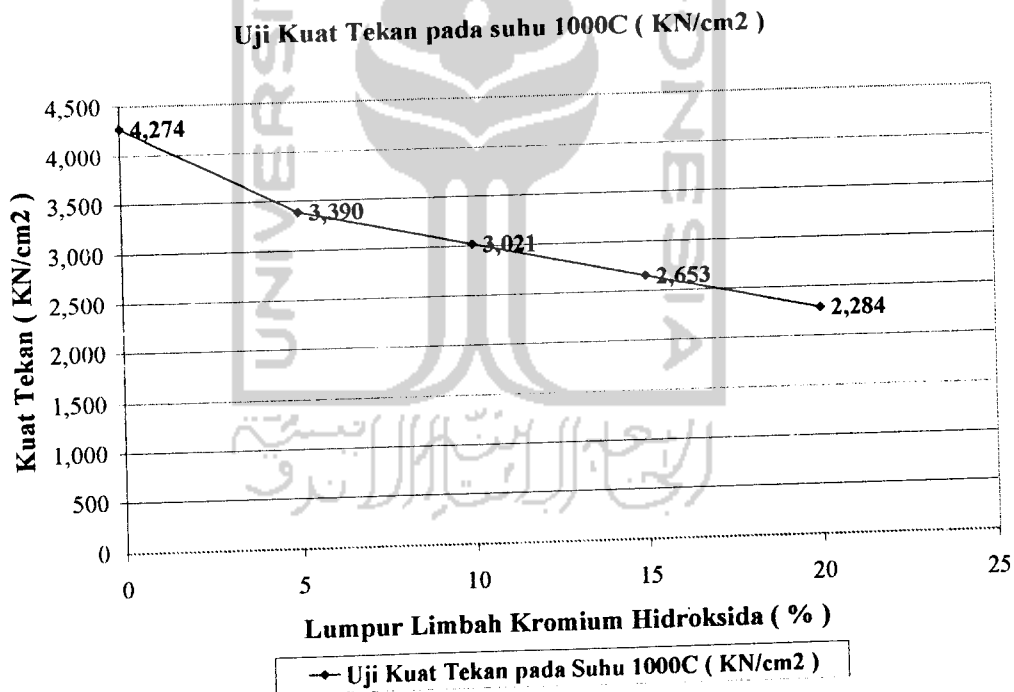
LAMPIRAN 16

Tabel L.16 Lampiran Uji Kuat Tekan (KN/cm^2) atau (Ton/m^2) Pada Suhu 1000°C

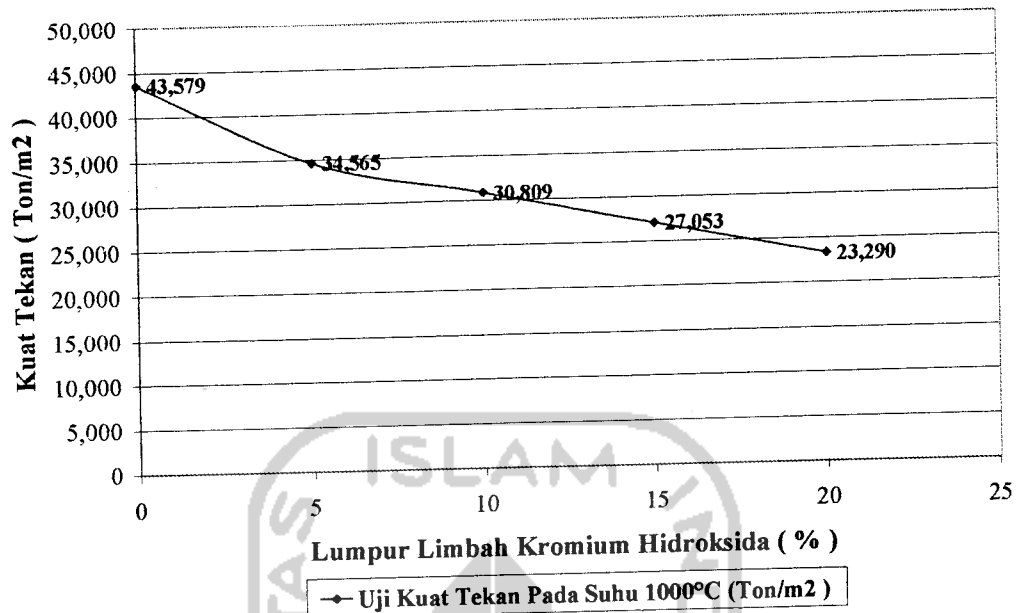
Lumpur Limbah Krom (%)	Kuat Tekan (KN/cm^2)			Rata-Rata (KN/cm^2)	Kuat Tekan (Ton/m^2)			Rata-Rata (Ton/m^2)
	I	II	III		I	II	III	
0	3,979	4,421	4,421	4,274	40,574	45,082	45,082	43,579
5	3,316	3,316	3,537	3,390	33,814	33,814	36,067	34,565
10	3,095	2,874	3,095	3,021	31,560	29,307	31,560	30,809
15	2,653	2,653	2,653	2,653	27,053	27,053	27,053	27,053
20	2,432	2,210	2,210	2,284	24,799	22,536	22,536	23,290

(Sumber : Data Primer, 2004)

Dari data di atas didapatkan grafik sebagai berikut :

Gambar 1.9 Grafik korelasi antara nilai kuat tekan terhadap lumpur limbah kromium hidroksida (KN/cm^2) pada suhu 1000°C

Grafik Uji Kuat Tekan Rata-rata Pada Suhu 1000°C (Ton/m²)



Gambar I.10 Grafik korelasi antara nilai kuat tekan terhadap lumpur limbah kromium hidroksida (Ton/m²) pada suhu 1000°C.

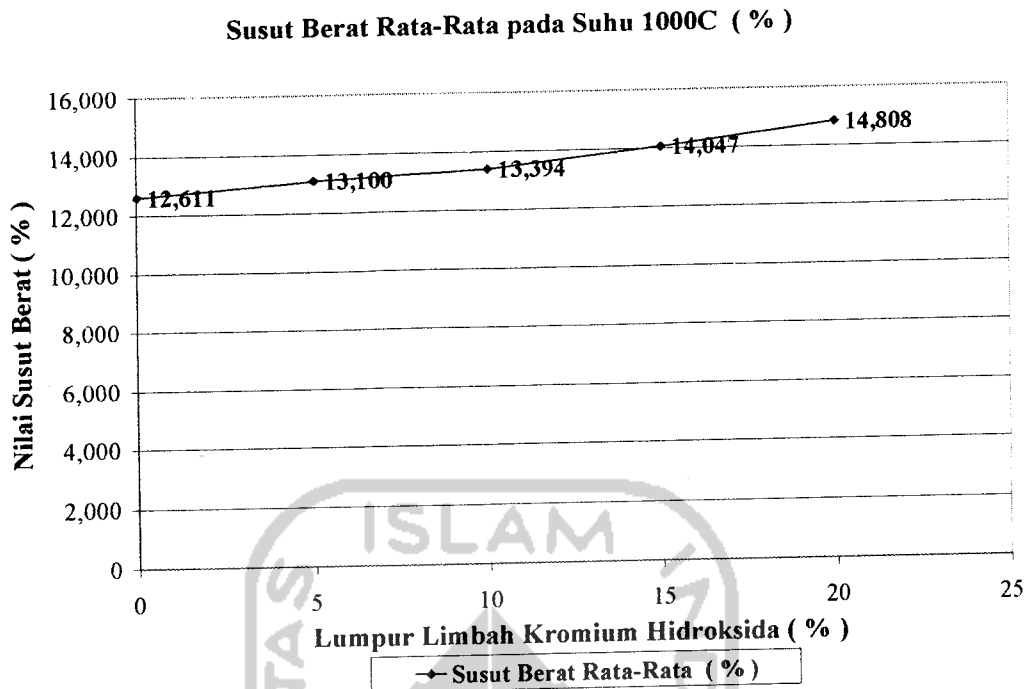
LAMPIRAN 17

Tabel L.17 Lampiran Susut Berat Dengan Pemanasan Pada Suhu 1000°C

Lumpur Limbah Krom (%)	Susut Berat (%)			Rata-Rata (%)
	I	II	III	
0	12,486	12,631	12,717	12,611
5	13,072	13,070	13,157	13,100
10	13,521	13,213	13,447	13,394
15	13,904	14,112	14,125	14,047
20	14,724	14,911	14,789	14,808

(Sumber : Data Primer, 2004)

Dari data di atas didapatkan grafik sebagai berikut :



Gambar I.11 Grafik korelasi antara nilai susut berat terhadap lumpur limbah kromium hidroksida pada suhu 1000°C.

LAMPIRAN 18

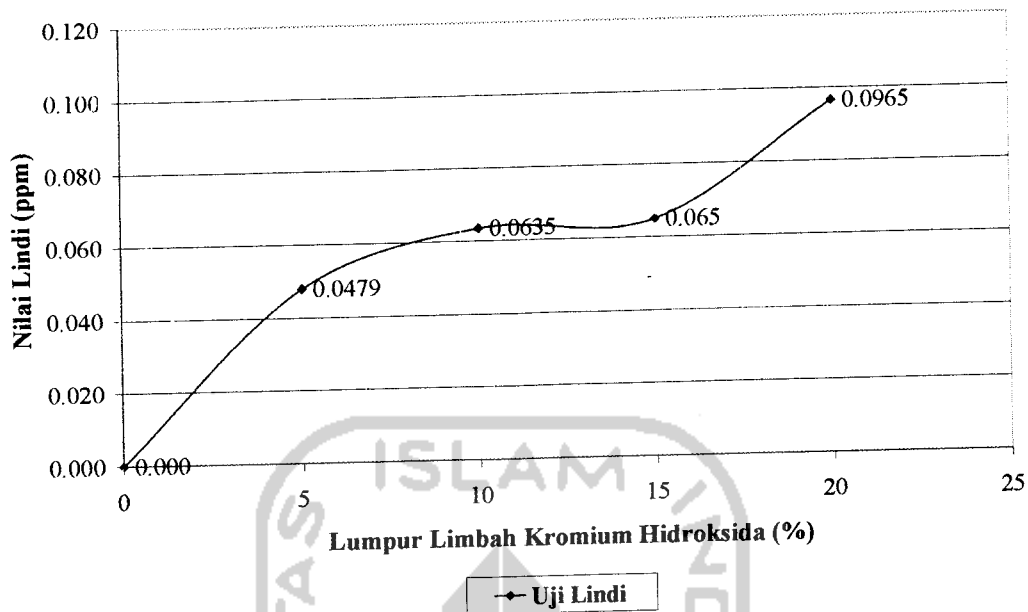
Tabel L.18 Lampiran Uji Lindi Dengan Pemanasan Pada Suhu 1000°C

Lumpur Limbah Krom (%)	Uji Lindi (ppm)		Rata-Rata (ppm)
	I	II	
0	0.000	0.000	0.000
5	0.0491	0.0467	0.0479
10	0.1049	0.0221	0.0635
15	0.0265	0.1035	0.0650
20	0.1535	0.0395	0.0965

(Sumber : Data Primer, 2004)

Dari data di atas didapatkan grafik sebagai berikut :

Grafik Uji Lindi Pada Suhu 1000C (ppm)



Gambar I.12 Grafik korelasi antara nilai lindi terhadap lumpur limbah kromium hidroksida pada suhu 1000°C.



LAMPIRAN 19

Descriptives

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Suhu (Celcius)	15	800.00	1000.00	900.0000	84.5154
Lumpur Krom (%)	15	.00	20.00	10.0000	7.3193
Nilai Uji Kuat Tekan (Ton/m2)	15	10.89	43.58	27.3495	8.1869
Valid N (listwise)	15				

Correlations

Correlations

		Suhu (Celcius)	Lumpur Krom (%)	Nilai Uji Kuat Tekan (Ton/m2)
Suhu (Celcius)	Pearson Correlation	1.000	.000	.493*
	Sig. (1-tailed)	.	.500	.031
	N	15	15	15
Lumpur Krom (%)	Pearson Correlation	.000	1.000	-.853**
	Sig. (1-tailed)	.500	.	.000
	N	15	15	15
Nilai Uji Kuat Tekan (Ton/m2)	Pearson Correlation	.493*	-.853**	1.000
	Sig. (1-tailed)	.031	.000	.
	N	15	15	15

*. Correlation is significant at the 0.05 level (1-tailed).

** . Correlation is significant at the 0.01 level (1-tailed).

Analisis :

1. Besar hubungan antara variabel nilai uji kuat tekan dengan suhu yang dihitung dengan koefisien korelasi adalah 0,493, sedangkan variabel nilai uji kuat tekan dengan lumpur krom adalah -0,853. Secara teoritis, karena korelasi antara nilai uji kuat tekan dan suhu lebih besar, maka variabel suhu lebih berpengaruh terhadap nilai uji kuat tekan dibandingkan variabel lumpur krom.
2. Terjadi korelasi yang cukup kuat antara variabel lumpur krom dengan suhu yaitu 0,500. Hal ini menandakan adanya multikolinieritas atau korelasi di antara variabel bebas.

3. Tingkat signifikansi koefisien korelasi satu sisi dari output (diukur dari probabilitas) menghasilkan angka 0,000 atau praktis 0. Oleh karena probabilitas jauh di bawah 0,05, maka korelasi di antara variabel nilai uji kuat tekan dengan suhu dan lumpur krom sangat nyata.

Regression

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Lumpur Krom (%), Suhu (Celcius) ^a		Enter

- a. All requested variables entered.
b. Dependent Variable: Nilai Uji Kuat Tekan (Ton/m²)

Analisis :

1. Tabel VARIABLES ENTERED menunjukkan bahwa tidak ada variabel yang dikeluarkan (removed), atau dengan kata lain kedua variabel bebas dimasukkan dalam perhitungan regresi.

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.985 ^a	.971	.966	1.5119

- a. Predictors: (Constant), Lumpur Krom (%), Suhu (Celcius)
b. Dependent Variable: Nilai Uji Kuat Tekan (Ton/m²)

Analisis :

1. Angka R square adalah 0,971. Hal ini berarti 97,1 % nilai uji kuat tekan dapat dijelaskan oleh variabel suhu dan lumpur krom yang ditambahkan. Sedangkan sisanya (100%-97,1% = 2,9 %) dijelaskan oleh sebab-sebab yang lain.
2. Standard Error of Estimate adalah 1,5119 ton/m². Dari analisis sebelumnya, bahwa standar deviasi nilai uji kuat tekan adalah 8,1869 ton/m², yang jauh lebih besar dari standard error of estimate yang hanya 1,5119 ton/m².

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	910.918	2	455.459	199.251	.000 ^a
	Residual	27.430	12	2.286		
	Total	938.348	14			

a. Predictors: (Constant), Lumpur Krom (%), Suhu (Celcius)

b. Dependent Variable: Nilai Uji Kuat Tekan (Ton/m2)

Analisis :

1. Dari uji ANOVA atau F test, didapat F hitung adalah 199,251 dengan tingkat signifikansi 0,000. Oleh karena probabilitas (0,000) jauh lebih kecil dari 0,05, maka model regresi ini dapat dipakai untuk memprediksi nilai uji kuat tekan.

LAMPIRAN 20**Descriptives**

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Suhu (Celcius)	15	800.00	1000.00	900.0000	84.5154
Lumpur Krom (%)	15	.00	20.00	10.0000	7.3193
Susut berat (%)	15	11.22	14.81	12.9396	1.0013
Valid N (listwise)	15				

Correlations

Correlations

		Suhu (Celcius)	Lumpur Krom (%)	Susut Berat (%)
Suhu (Celcius)	Pearson Correlation	1.000	.000	.493*
	Sig. (1-tailed)	.	.500	.031
	N	15	15	15
Lumpur Krom (%)	Pearson Correlation	.000	1.000	.855**
	Sig. (1-tailed)	.500	.	.000
	N	15	15	15
Susut Berat (%)	Pearson Correlation	.493*	.855**	1.000
	Sig. (1-tailed)	.031	.000	.
	N	15	15	15

*. Correlation is significant at the 0.05 level (1-tailed).

** Correlation is significant at the 0.01 level (1-tailed).

Analisis :

1. Besar hubungan antara variabel 'susut berat dengan suhu yang dihitung dengan koefisien korelasi adalah 0,493, sedangkan variabel susut berat dengan lumpur krom adalah 0,855. Secara teoritis, karena korelasi antara susut berat dan lumpur krom lebih besar, maka variabel lumpur krom lebih berpengaruh terhadap susut berat dibandingkan variabel suhu.
2. Terjadi korelasi yang cukup kuat antara variabel lumpur krom dengan suhu yaitu 0,500. Hal ini menandakan adanya multikolinieritas atau korelasi di antara variabel bebas.
3. Tingkat signifikansi koefisien korelasi satu sisi dari output (diukur dari probabilitas) menghasilkan angka 0,000 atau praktis 0. Oleh karena probabilitas jauh di bawah 0,05, maka korelasi di antara variabel susut berat dengan suhu dan lumpur krom sangat nyata.

Regression

Variables Entered/Removed^d

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Lumpur Krom (%), Suhu (Celcius) ^a		Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: Susut Berat (%)

Analisis :

1. Tabel VARIABLES ENTERED menunjukkan bahwa tidak ada variabel yang dikeluarkan (removed), atau dengan kata lain kedua variabel bebas dimasukkan dalam perhitungan regresi.

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.987 ^a	.975	.971	.1714

a. Predictors: (Constant), Lumpur Krom (%), Suhu (Celcius)

b. Dependent Variable: Susut Berat (%)

Analisis :

1. Angka R square adalah 0,975. Hal ini berarti 97,5 % susut berat dapat dijelaskan oleh variabel suhu dan lumpur krom yang ditambahkan. Sedangkan sisanya (100%-97,5% = 2,5 %) dijelaskan oleh sebab-sebab yang lain.
2. Standard Error of Estimate adalah 0,1714 %. Dari analisis sebelumnya, bahwa standar deviasi susut berat adalah 1,0013 %, yang jauh lebih besar dari standard error of estimate yang hanya 0,1714 %.

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	13.684	2	6.842	232.993	.000 ^a
	Residual	.352	12	2.937E-02		
	Total	14.037	14			

a. Predictors: (Constant), Lumpur Krom (%), Suhu (Celcius)

b. Dependent Variable: Susut Berat (%)

Analisis :

1. Dari uji ANOVA atau F test, didapat F hitung adalah 232,993 dengan tingkat signifikansi 0,000. Oleh karena probabilitas (0,000) jauh lebih kecil dari 0,05, maka model regresi ini dapat dipakai untuk memprediksi nilai susut berat.

LAMPIRAN 21

Descriptives

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Suhu (Celcius)	15	800.0000	1000.0000	900.0000	84.515425
Lumpur Krom (%)	15	.0000	20.0000	10.000000	7.319251
Uji lindi (ppm)	15	.0000	.1296	6.45E-02	4.09455E-02
Valid N (listwise)	15				

Correlations

Correlations

		Suhu (Celcius)	Lumpur Krom (%)	Uji Lindi (ppm)
Suhu (Celcius)	Pearson Correlation	1.000	.000	-.174
	Sig. (1-tailed)	.	.500	.267
	N	15	15	15
Lumpur Krom (%)	Pearson Correlation	.000	1.000	.940**
	Sig. (1-tailed)	.500	.	.000
	N	15	15	15
Uji Lindi (ppm)	Pearson Correlation	-.174	.940**	1.000
	Sig. (1-tailed)	.267	.000	.
	N	15	15	15

** . Correlation is significant at the 0.01 level (1-tailed).

Analisis :

1. Besar hubungan antara variabel uji lindi dengan suhu yang dihitung dengan koefisien korelasi adalah $-0,174$, sedangkan variabel uji lindi dengan lumpur krom adalah $0,940$. Secara teoritis, karena korelasi antara uji lindi dan lumpur krom lebih besar, maka variabel lumpur krom lebih berpengaruh terhadap susut berat dibandingkan variabel suhu.
2. Terjadi korelasi yang cukup kuat antara variabel lumpur krom dengan suhu yaitu $0,500$. Hal ini menandakan adanya multikolinieritas atau korelasi di antara variabel bebas.
3. Tingkat signifikansi koefisien korelasi satu sisi dari output (diukur dari probabilitas) menghasilkan angka $0,000$ atau praktis 0 . Oleh karena probabilitas jauh di bawah $0,05$, maka korelasi di antara variabel susut berat dengan suhu dan lumpur krom sangat nyata.

Regression

Variables Entered/Removed^b

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Lumpur Krom (%), Suhu (Celcius) ^a		Enter

- a. All requested variables entered.
b. Dependent Variable: Uji Lindi (ppm)

Analisis :

1. Tabel VARIABLES ENTERED menunjukkan bahwa tidak ada variabel yang dikeluarkan (removed), atau dengan kata lain kedua variabel bebas dimasukkan dalam perhitungan regresi.

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.956 ^a	.914	.899	1.29877E-02

- a. Predictors: (Constant), Lumpur Krom (%), Suhu (Celcius)
b. Dependent Variable: Uji Lindi (ppm)

Analisis :

1. Angka R square adalah 0,914. Hal ini berarti 91,4 % susut berat dapat dijelaskan oleh variabel suhu dan lumpur krom yang ditambahkan. Sedangkan sisanya (100%-91,4% = 8,6 %) dijelaskan oleh sebab-sebab yang lain.
2. Standard Error of Estimate adalah 0,01298 %. Dari analisis sebelumnya, bahwa standar deviasi nilai uji lindi adalah 0,04094 %, yang jauh lebih besar dari standard error of estimate yang hanya 0,01298 %.

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2.145E-02	2	1.072E-02	63.574	.000 ^a
	Residual	2.024E-03	12	1.687E-04		
	Total	2.347E-02	14			

a. Predictors: (Constant), Lumpur Krom (%), Suhu (Celcius)

b. Dependent Variable: Uji Lindi (ppm)

Analisis :

1. Dari uji ANOVA atau F test, didapat F hitung adalah 63,574 dengan tingkat signifikansi 0,000. Oleh karena probabilitas (0,000) jauh lebih kecil dari 0,05, maka model regresi ini dapat dipakai untuk memprediksi nilai uji lindi



LAMPIRAN 20
Tabel 1.20 Lampiran konsentrasi Pelepasan Krom

Berat Total Monolit (gram)	Dosis Krom (%b/b)	Suhu pembakaran (°C)	C sludge (mg/lb)	Limbah cair krom (ml)	C leach (mg/lb)	[C] input (mg)	Lamban Analisis (ml)	[C] output (mg)	% Ni
15	0	800	7.832	100	0	0	250	0	12,82
15	5	800	7.832	100	0,0569	0,0490	250	0,0427	10,32
15	10	800	7.832	100	0,0779	0,0979	250	0,0581	52,55
15	15	800	7.832	100	0,0929	0,1469	250	0,0697	50,36
15	20	800	7.832	100	0,1296	0,1958	250	0,0972	17,42
15	0	900	7.832	100	0	0	250	0	44,46
15	5	900	7.832	100	0,0539	0,0490	250	0,0544	56,84
15	10	900	7.832	100	0,0725	0,0979	250	0,0634	51,58
15	15	900	7.832	100	0,0845	0,1469	250	0,0948	26,61
15	20	900	7.832	100	0,1264	0,1958	250	0	51,35
15	0	1000	7.832	100	0	0	250	0,0359	66,80
15	5	1000	7.832	100	0,0479	0,0490	250	0,0476	63,04
15	10	1000	7.832	100	0,0635	0,0979	250	0,0488	
15	15	1000	7.832	100	0,0650	0,1469	250	0,0724	
15	20	1000	7.832	100	0,0965	0,1958	250		