

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

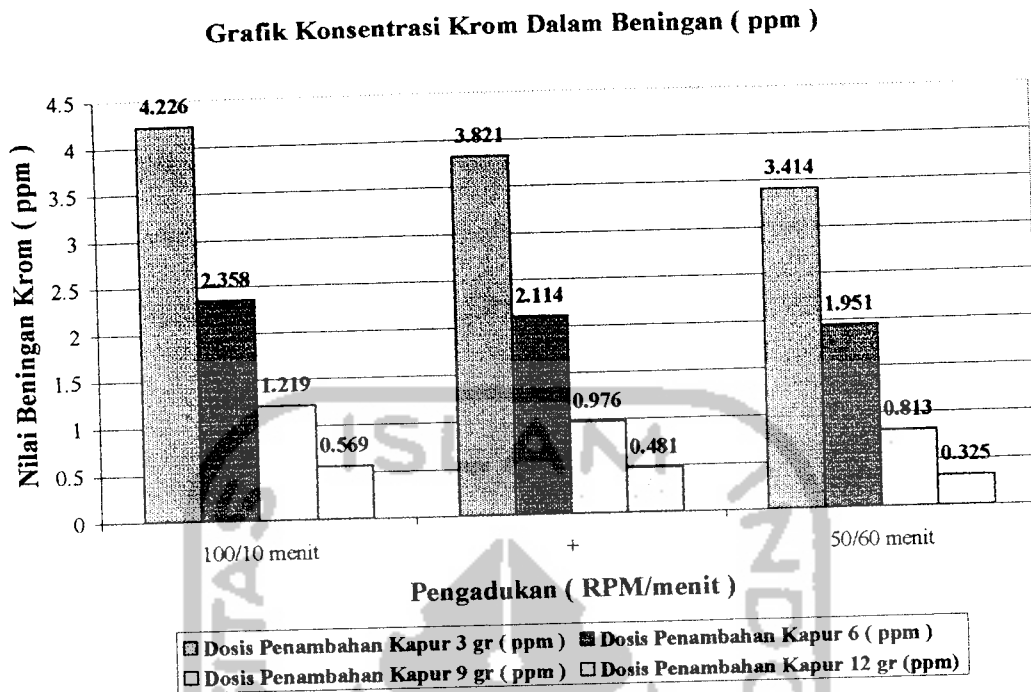
4.1.1 Pengaruh Penambahan Kapur Terhadap Efisiensi Penurunan Kadar Krom.

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.

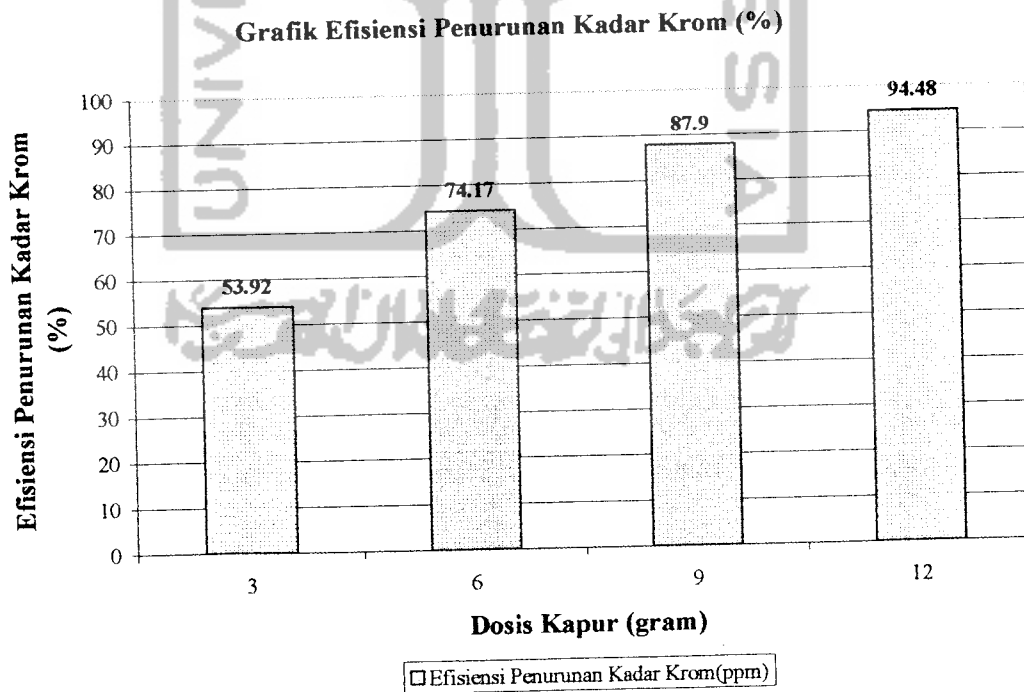
Tabel 4.1 Pengaruh Penambahan kapur Terhadap Efisiensi Penurunan Kadar Krom.

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).



Gambar 4.1 Grafik korelasi antara Nilai Beningan Krom Terhadap Pengadukan



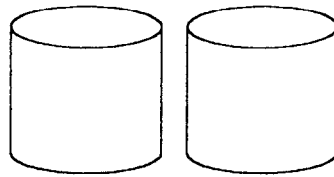
Gambar 4.2 Grafik Korelasi antara Efisiensi Terhadap Dosis Kapur.

Pengujian tersebut dilakukan untuk mengetahui seberapa besar efisiensi penggunaan kapur $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 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).

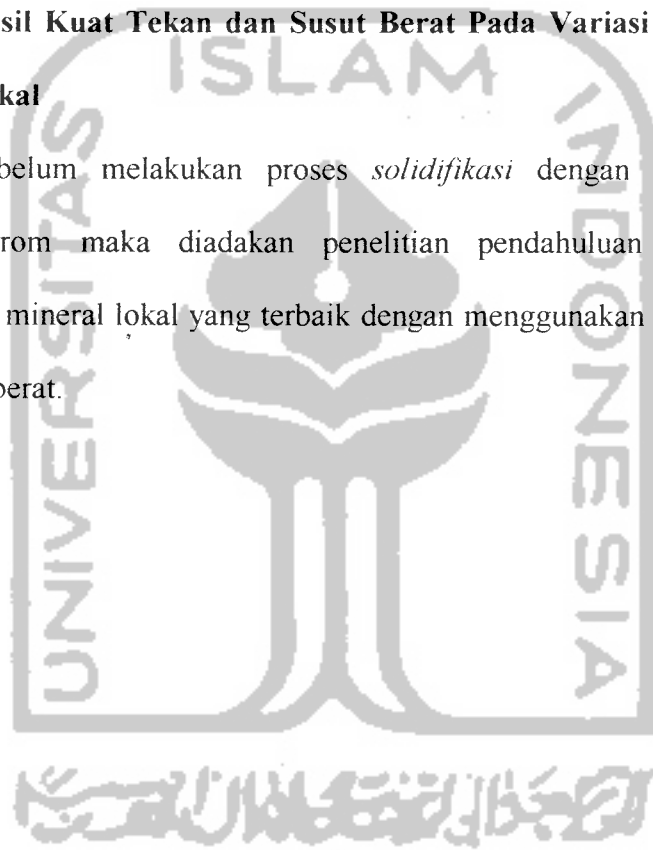
Campuran mineral lokal (bentonit, feldspar dan kaolin) ditambahkan dengan lumpur limbah kromium hidroksida kemudian dicetak dengan menggunakan alat tekan Paul Weber dan cetakan terbuat dari *stainless steel* yang mana dicetak pada tekanan 50 KN. Monolit yang dijadikan penelitian ini hanya dibatasi dalam 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.

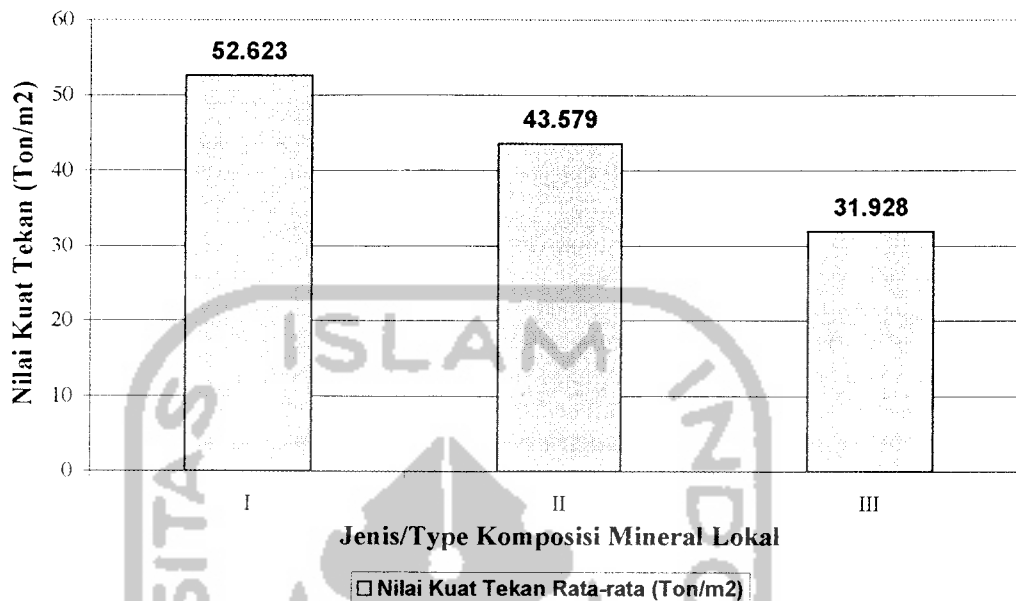


Tabel 4.2 Penentuan komposisi monolit yang terbaik pada suhu 1200°C

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	

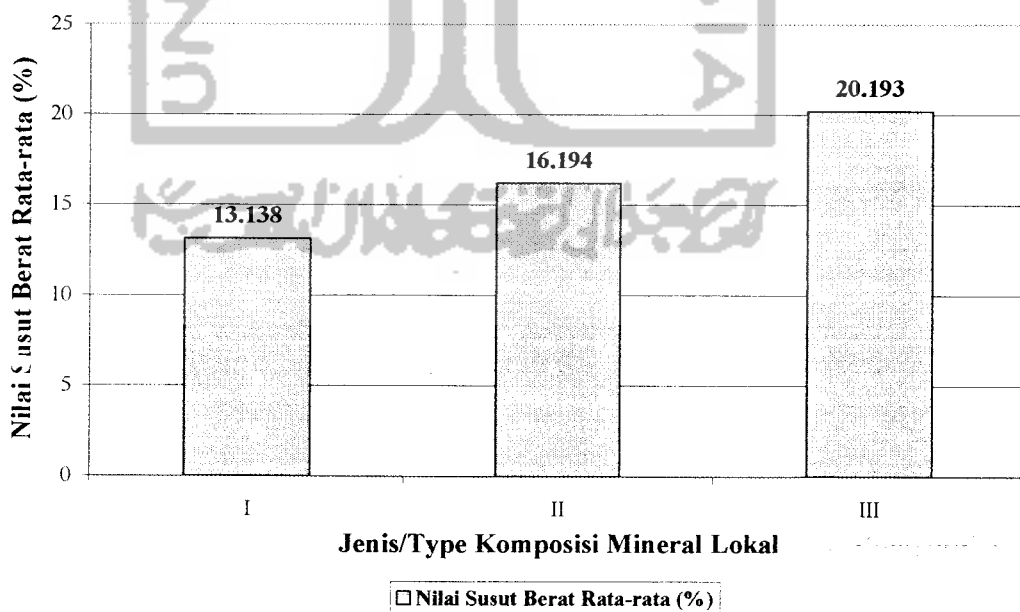
(Sumber : Data Primer, 2004)

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 :

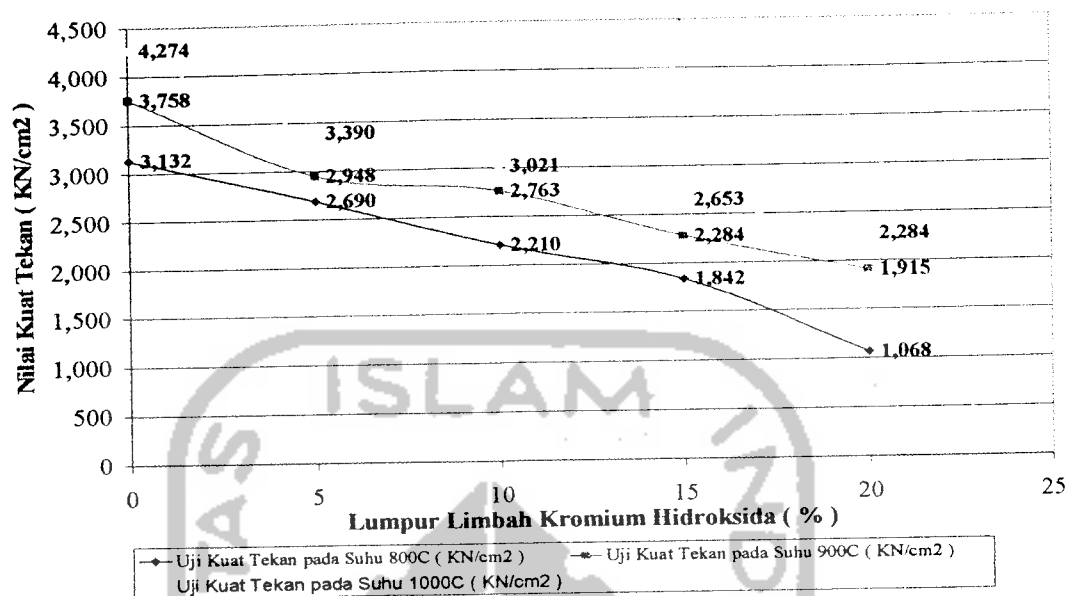
Tabel 4.3 Pengaruh lumpur limbah krom terhadap karakteristik kuat tekan monolit keramik limbah (KN/cm²)

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 :

Grafik Perbandingan Kuat Tekan terhadap Suhu Pembakaran (KN/cm²)



Gambar 4.6 Grafik perbandingan kuat tekan (KN/cm²) terhadap lumpur limbah krom.

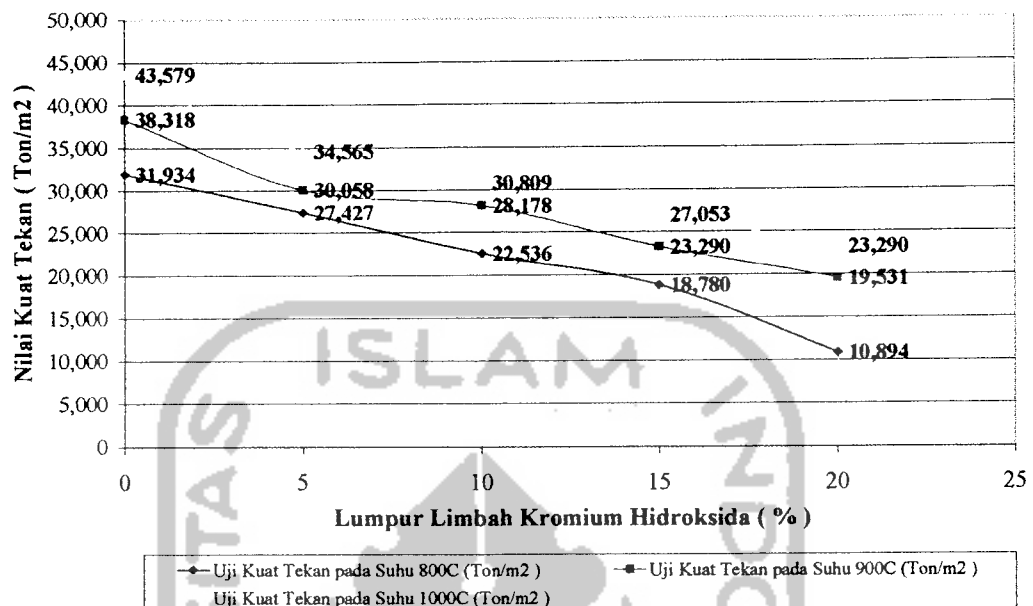
Tabel 4.4 Pengaruh lumpur limbah krom terhadap karakteristik kuat tekan monolit keramik limbah (Ton/m²)

No	Lumpur Limbah Kromium Hidroksida (% b/b)	Kuat Tekan Rata-rata (Ton /m ²)		
		800°C	900°C	1000°C
1	0	31,934	38,318	43,579
2	5	27,427	30,058	34,565
3	10	22,536	28,178	30,809
4	15	18,780	23,290	27,053
5	20	10,894	19,531	23,290

(Sumber : Data Primer, 2004)

Dari data di atas didapatkan grafik sebagai berikut :

Grafik Perbandingan Kuat Tekan terhadap Suhu Pembakaran (Ton/m²)



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.

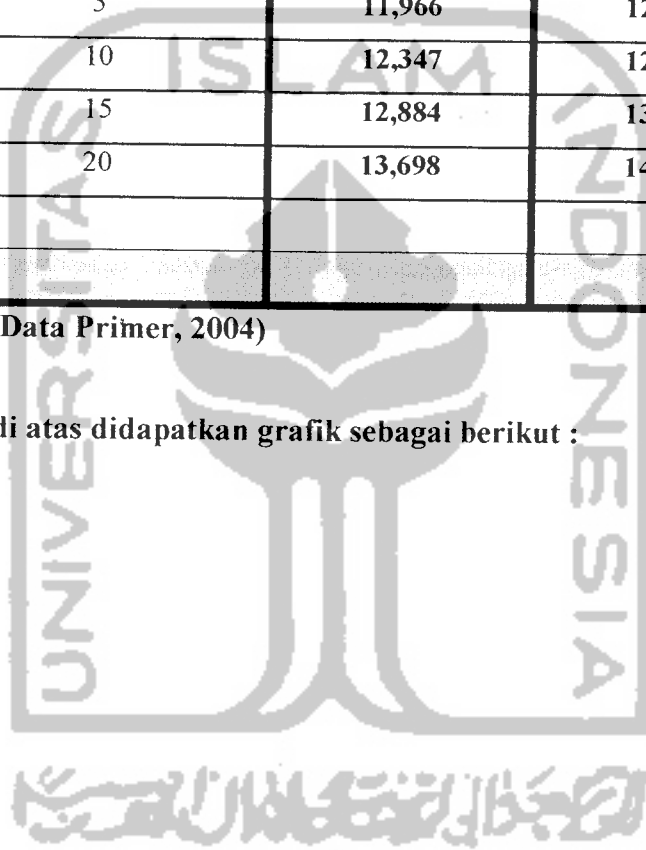
Penentuan pengaruh lumpur limbah krom terhadap karakteristik ketahanan tekan monolit keramik limbah hasil pembakaran pada suhu 800°C, 900°C dan 1000°C dapat dilihat pada tabel 4.5 :

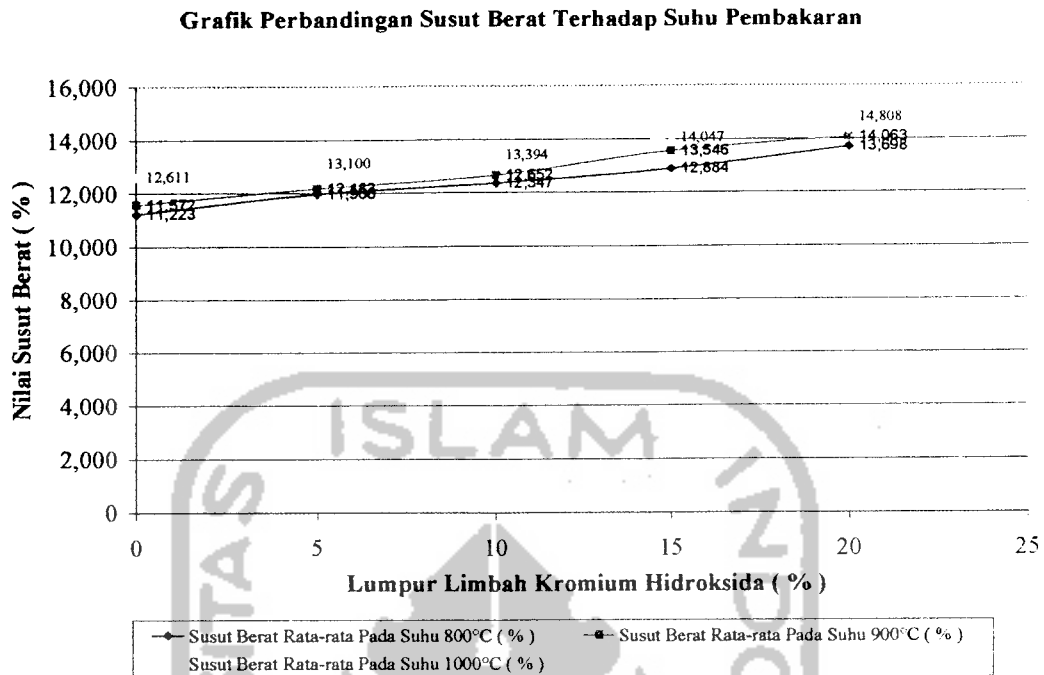
Tabel 4.5 Pengaruh lumpur limbah krom terhadap karakteristik susut berat monolit keramik limbah (%)

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.

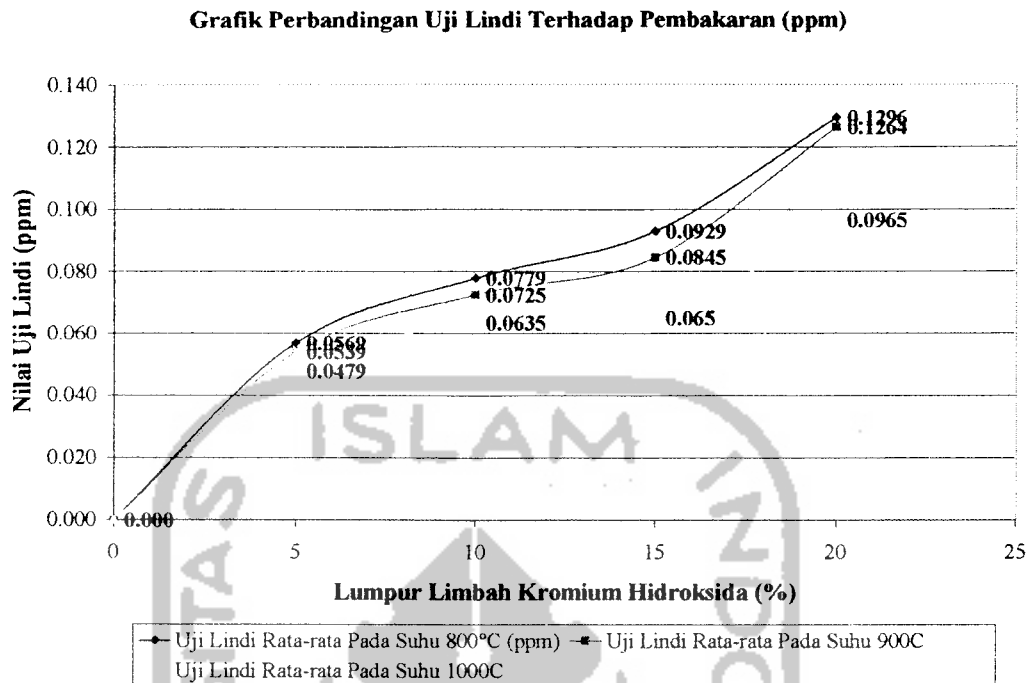
Penentuan pengaruh lumpur limbah krom terhadap karakteristik pelindian monolit keramik limbah hasil pembakaran pada suhu 800°C, 900°C dan 1000°C dapat dilihat pada tabel 4.6 :

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 :



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 di atas 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%.

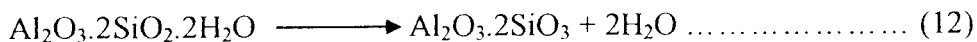
Dari data di atas juga diperoleh informasi bahwa dengan adanya peningkatan suhu pembakaran menyebabkan susut berat dari monolit keramik limbah akan meningkat hal ini dikarenakan dengan suhu yang semakin tinggi maka uap air yang terlepas akan semakin besar baik air fisis maupun air kimia.

Penentuan pengaruh konsentrasi limbah krom terhadap karakteristik susut berat monolit keramik limbah dengan pembakaran pada suhu 800°C , 90°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.

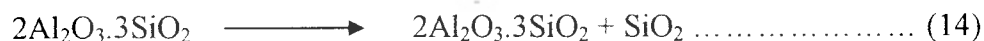
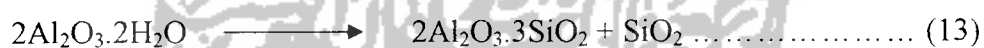
Pada tabel 4.6 untuk pembakaran monolit keramik limbah pada suhu 800°C dimana uji analisa pelindian dilakukan dengan perangkat Atomic Absorbent Spectrometer (AAS). Nilai lindi yang terbesar berada pada permukaan limbah krom dengan komposisi 20% yaitu sebesar 0,1296 ppm, sedangkan lindi terkecil berada 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.

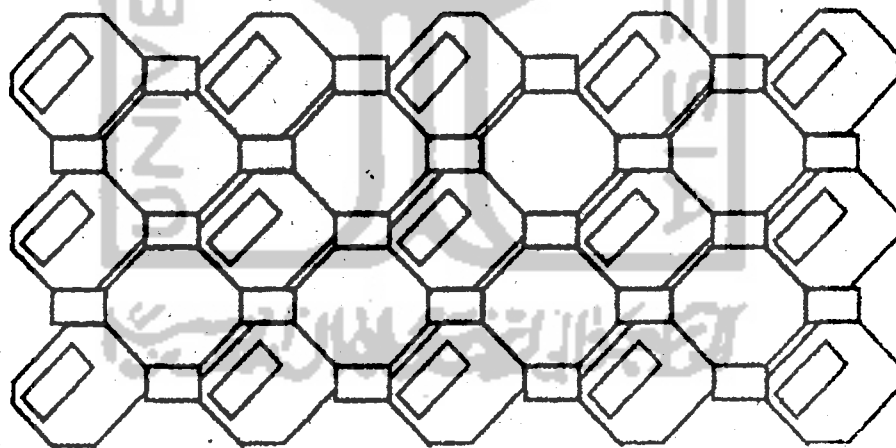
Secara fisik di dalam proses immobilisasi terjadi suatu perubahan struktur bahan, dari bentuk struktur antar partikel menjadi suatu bentuk yang homogenitas dengan bentuk kristal, hal ini terjadi karena adanya suatu proses pemanasan sehingga ikatan yang terjadi antara partikel dengan limbah krom akan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

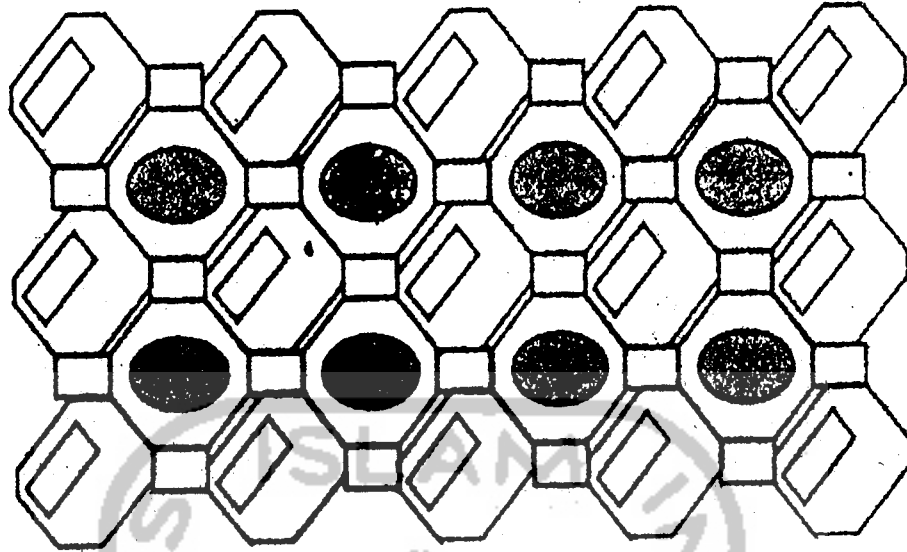
Partikel mineral lokal terutama SiO_2 akan melebur pada suhu 1000°C . Oleh karena itu antara partikel mineral lokal (bentonit, feldspar dan kaolin) dengan partikel limbah krom akan membentuk suatu kesatuan (berbentuk monolit) maka akan terjadi leburan partikel-partikel yang ada akan bercampur menjadi 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.

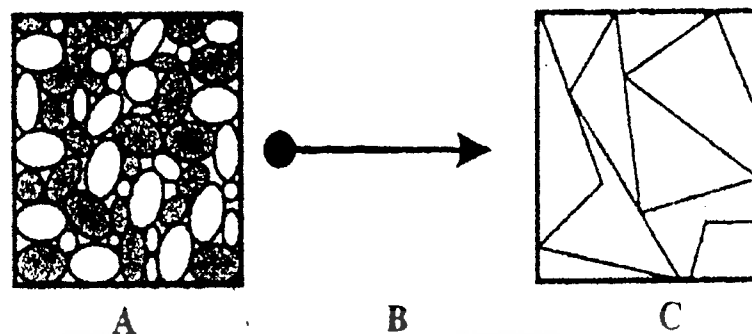
Dari gambar 4.10 memperlihatkan struktur mineral lokal alam dengan bagian-bagian yang masih kosong belum terisi oleh limbah krom.



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 :

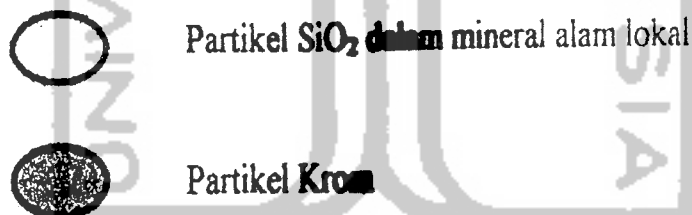


(Sumber : Ichinose, 1987)

Gambar 4.16. Perubahan susunan partikel dalam immobilisasi

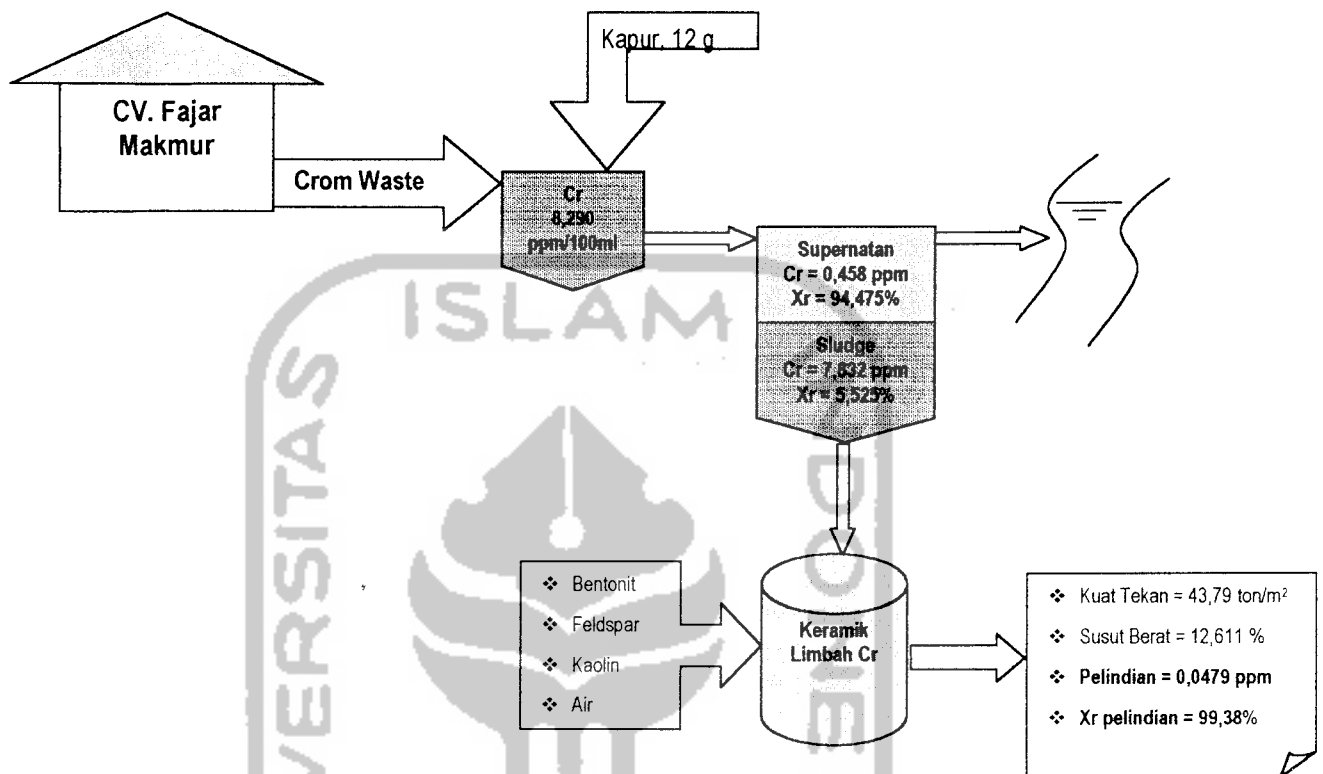
Ketrerangan :

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



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 variasi 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.

4.5.2 Penggunaan Dalam Industri

Dari data hasil penelitian di atas maka dapat dikembangkan untuk menjadi suatu barang yang memiliki nilai jual/ekonomis dengan cara membuat suatu industri keramik dengan perhitungan sebagai berikut :

Volume Lumpur limbah krom = 50 kg/hari

$$\begin{aligned} \text{Jumlah produksi/hari} &= \frac{\text{Volumelumpurkrom}}{\text{beratkomposisikrom}} = \frac{50\text{kg/hari}}{0,05\text{kg}} \\ &= 1000 \text{ buah/hari} \\ \text{Berat keramik lantai} &= 500 \text{ gram} \\ \text{Kebutuhan bahan/hari} &= 1000 \times 500 \text{ gram} \\ &= 500000 \text{ gram} = 500 \text{ kg/hari} \\ \text{Kebutuhan bahan pertahun} &= 500 \text{ kg/hari} \times 288 \text{ hari/tahun} \\ &= 144.000 \text{ kg/tahun} \\ \text{Kapasitas produksi pertahun} &= 1000 \text{ buah/hari} \times 288 \text{ hari/tahun} \\ &= 288.000 \text{ buah/tahun} \end{aligned}$$

Komposisi Bahan

$$\begin{aligned} \text{Lumpur krom} &= 10\% \times 500 \text{ gram} = 50 \text{ gram} \\ \text{Bentonit} &= 15\% \times 450 \text{ gram} = 67,5 \text{ gram} \\ \text{Feldspar} &= 25\% \times 450 \text{ gram} = 112,5 \text{ gram} \\ \text{Kaolin} &= 60\% \times 450 \text{ gram} = 270 \text{ gram} \end{aligned}$$

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,-	= Rp. 270,-
		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,-

3) Bahan bakar = Rp. 30.000.000,-

Rp. 173.712.000,-

b. Biaya tidak tetap

1) Gaji I tahun = Rp. 18.000.000,-

2) Pemeliharaan alat = 20% x Rp. 70.000.000,- = Rp. 14.000.000,-

3) Penyusutan alat = 15% x Rp. 70.000.000,- = Rp. 10.500.000,-

4) Bunga umum = 10% x Rp. 18.000.000,- = Rp. 1.800.000,-

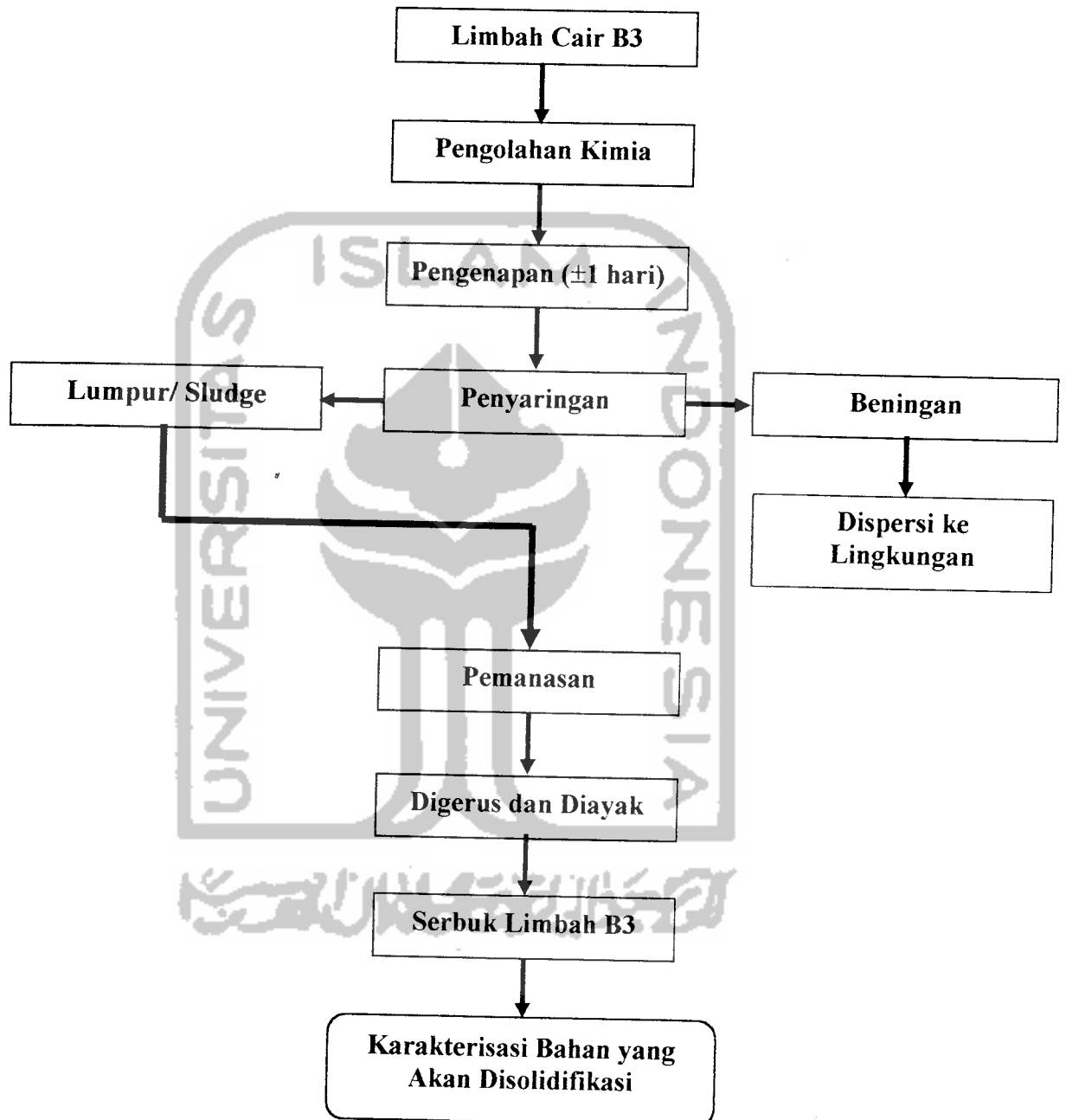
Rp. 40.800.000,-

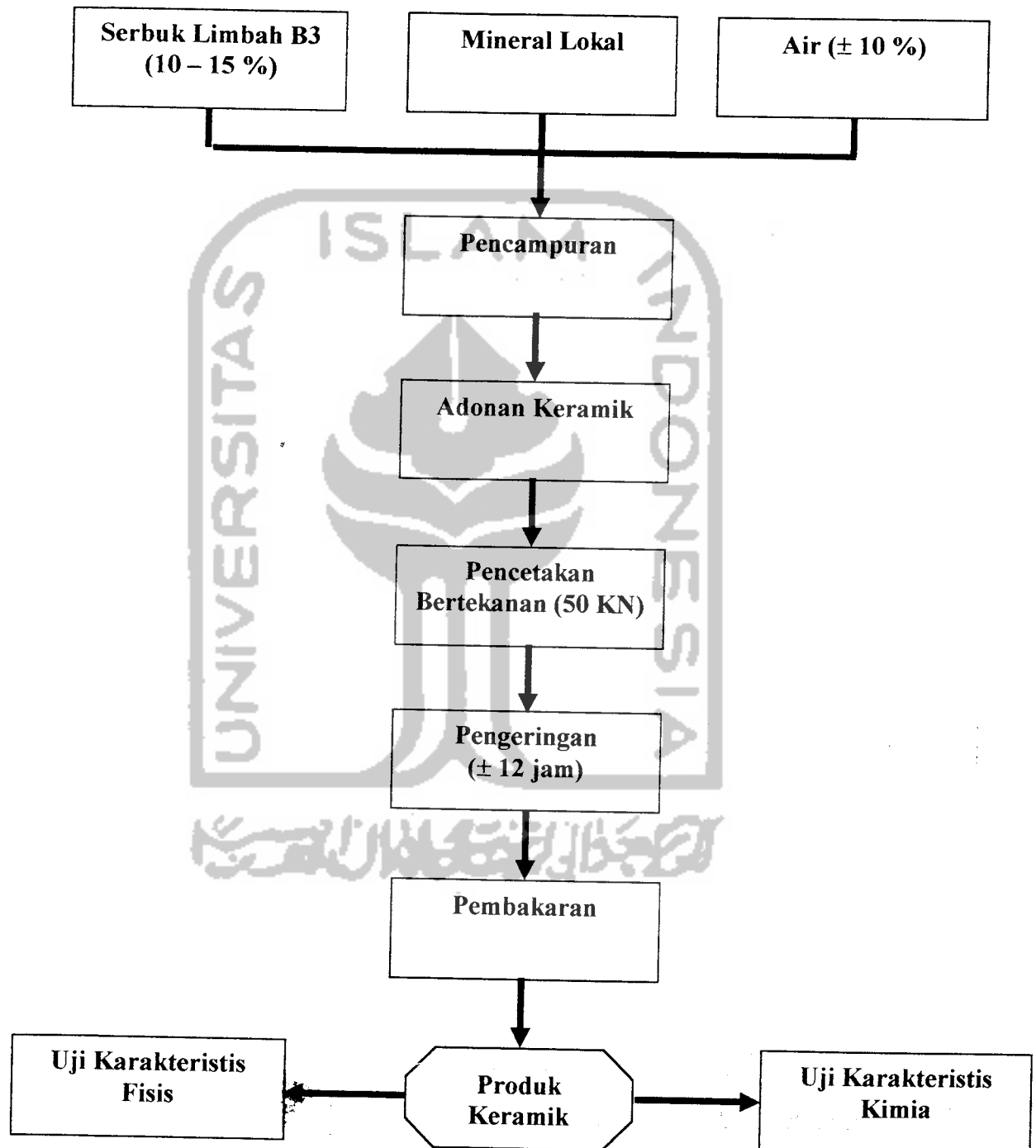
c. Total biaya = Rp. 173.712.000,- + Rp. 40.800.000,-

= Rp. 214.512.000,-

4.5.2.3 Perhitungan Ekonomi Harga Pokok 1 buah Keramik Lantai =

$$\frac{\text{Totalbiayaproduksi}}{\text{produksipertahun}} = \frac{\text{Rp.284.512.000,-}}{288.000\text{buah}} = \text{Rp. 987,88,-} \approx \text{Rp.1000,-}$$

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**