

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Penelitian

##### 4.1.1 Karakteristik Limbah Katalis

Pemeriksaan yang dilakukan terhadap limbah katalis meliputi aspek fisik dan kimia seperti yang di tampilkan pada tabel 4.1 dan 4.2 di bawah ini :

Tabel 4.1 Karakteristik Fisik Limbah Katalis

No	Parameter	Hasil Penelitian
1	Berat Jenis	2.445 gr/ml
2	Modulus Kehalusan	0.643
3	Berat Volume	0.32 gr/cm <sup>3</sup>

Tabel 4.2 Karakteristik Kimia Limbah Katalis

No	Parameter	Hasil Penelitian	P.P No. 85 Thn. 1999
1	Pb	35.250 mg/l	5,0 mg/l
2	Cr	18.627 mg/l	5,0 mg/l
3	Cu	16.734mg/l	10,0 mg/l
4	Zn	19.379 mg/l	50,0 mg/l
5	Ni	12750 mg/l ± 250,00 mg/l	-

#### 4.1.2 Rancangan Campuran Keramik

Dalam pembuatan keramik *stoneware* dengan penambahan limbah katalis, dibuat sesuai dengan kebutuhan. Keramik yang akan dibuat memiliki dimensi 10x10x1 cm dengan berat 500 mg setiap keramiknya.. Banyaknya sampel adalah 125 buah. Penambahan katalis hanya berpengaruh terhadap jumlah kaolin. Pada penelitian ini, katalis berfungsi sebagai pengganti kaolin.

Tabel 4.3 Rancangan Campuran Keramik (untuk 1 buah keramik)

Formula	Bahan Mentah Keramik					
	Katalis (gr)	Kaolin (20%) (gr)	Tanah Liat (20%) (gr)	<i>Fire Clay</i> (10%) (gr)	<i>Samoot</i> (12%) (gr)	<i>Felspar</i> (38%) (gr)
F1 (0%)	0	100	100	50	60	190
F2 (5%)	25	75	100	50	60	190
F3 (10%)	50	50	100	50	60	190
F4 (15%)	75	25	100	50	60	190
F5 (20%)	100	0	100	50	60	190

(Sumber : Hasil Penelitian, 2005)

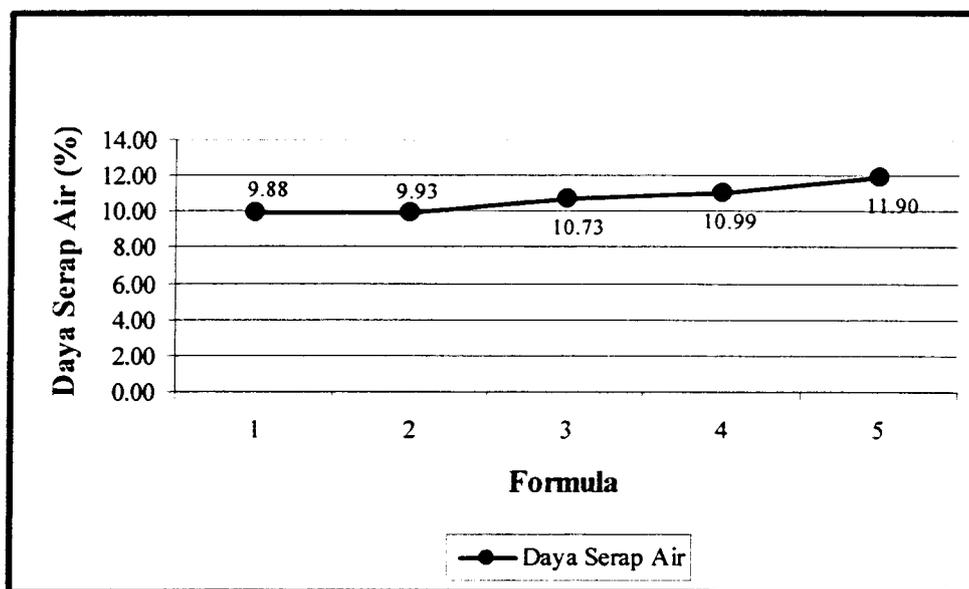
### 4.1.3 Uji Daya Serap Air

Dari hasil uji daya serap air yang telah dilakukan, maka diperoleh data-data seperti yang ditampilkan pada tabel 4.4 di bawah ini :

Table 4.4 Hasil Uji Daya Serap Air

No	Formula	Daya Serap Air (%)
1	F1	9.88
2	F2	9.93
3	F3	10.73
4	F4	10.99
5	F5	11.90

(Sumber : Hasil Penelitian, 2005)



Gambar 4.1 Hasil Uji Daya Serap Air

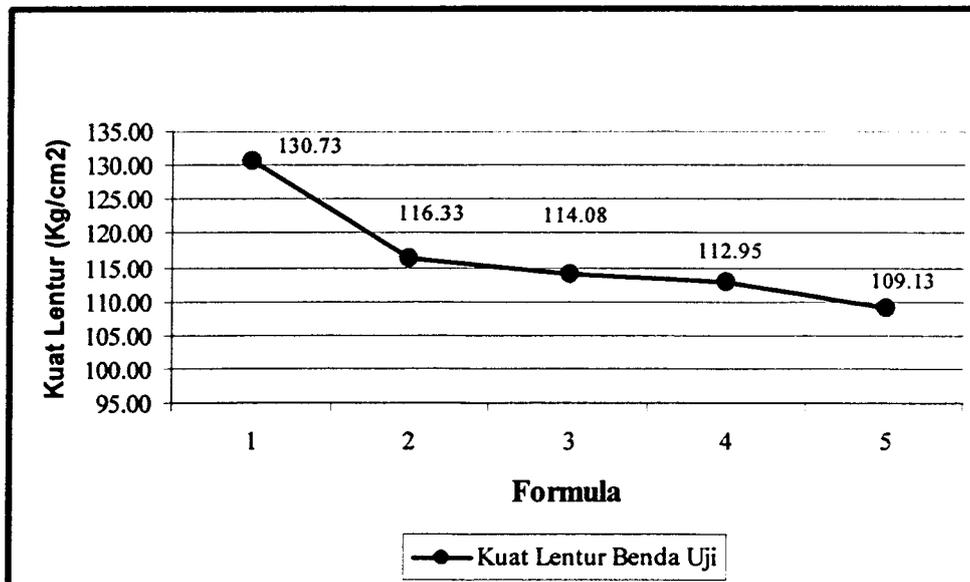
#### 4.1.4 Uji Kuat Lentur

Dari hasil uji kuat lentur yang telah dilakukan, diperoleh hasil kuat lentur pada masing-masing formula, seperti yang ditampilkan pada table 4.5 dibawah ini

Tabel 4.5 Nilai Kuat lentur Rata-Rata Sampel Keramik

No	Formula	Kuat Lentur (kg/cm <sup>2</sup> )	Pembanding Kuat Lentur (kg/cm <sup>2</sup> )		
			Keramik Dinding "Mulia"	Keramik Dinding "Diamond"	Keramik Dinding "KIA"
1	F1	130.73	29,25	31,69	21,94
2	F2	116.33			
3	F3	114.08			
4	F4	112.95			
5	F5	109.13			

(Sumber : Hasil Penelitian, 2005)



Gambar 4.2 Hasil Uji Kuat Lentur

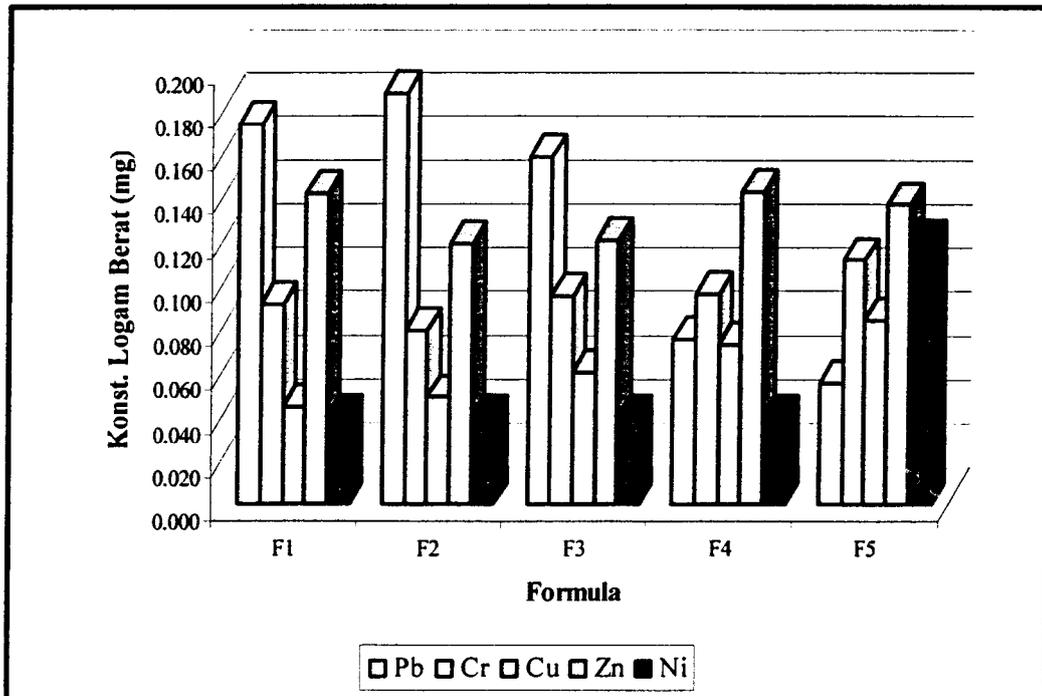
#### 4.1.5 Uji *Leachete* Dengan Metode TCLP

Dari hasil uji TCLP yang telah dilakukan, diperoleh kandungan logam berat seperti ditampilkan pada table 4.6 dan gambar 4.3 di bawah ini :

Tabel 4.6 Hasil Rata-rata *Leachate* Logam Berat Dalam Keramik.

No	Benda Uji	pH	Kandungan Logam Berat (mg/l)				
			Pb	Zn	Cr	Cu	Ni
1	F1	4.92	0.174	0.142	0.092	0.045	0.040
2	F2	4.95	0.189	0.119	0.080	0.049	0.040
3	F3	4.96	0.159	0.121	0.096	0.061	0.040
4	F4	4.96	0.076	0.143	0.096	0.073	0.040
5	F5	4.97	0.056	0.137	0.112	0.085	0.120
Standart TCLP(P.P 85/1999)							

(Sumber : Hasil Penelitian, 2005)



Gambar 4.3 Hasil Uji TCLP Logam Berat (Pb, Cr, Cu, Zn, Ni)

#### 4.1.6 Komposisi Logam Berat Masuk (*Input*) dan Logam Berat Keluar (*output*) Pada Keramik

Dari hasil Penelitian yang telah dilakukan, diperoleh perbedaan konsentrasi masuk (*input*) dengan konsentrasi yang keluar (*output*) dari keramik yang cukup signifikan, seperti yang ditampilkan pada table 4.7. Pada perbandingan massa logam berat ini, sampel awal (tanpa katalis) dianggap nol. Hal ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar keterikatan logam berat setelah proses solidifikasi. Untuk perhitungannya dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.7 Komposisi Logam Masuk dan Keluar

No	Formula	Parameter	Massa Logam Berat (mg)	
			Masuk	Keluar
1	F1	Pb	-	-
2		Cr	-	-
3		Zn	-	-
4		Cu	-	-
5		Ni	-	-
6	F2	Pb	88.126	9.426
7		Cr	46.568	3.981
8		Zn	48.448	5.968
9		Cu	41.853	2.458
10		Ni	31875	0.040
11	F3	Pb	176.252	7.952
12		Cr	93.135	4.780
13		Zn	96.895	6.055
14		Cu	86.370	3.040
15		Ni	63750	0.040
16	F4	Pb	264.377	5.667
17		Cr	139.703	4.810
18		Zn	145.343	7.168
19		Cu	125.505	3.665
20		Ni	95625	0.040
21	F5	Pb	352.503	4.174
22		Cr	186.270	5.595
23		Zn	193.790	6.896
24		Cu	167.340	4.236
25		Ni	127500	0.120

(Sumber : Hasil Penelitian, 2005)

#### 4.1.7 Efisiensi Immobilisasi Logam-logam Berat (Pb, Cr, Zn, Cu dan Ni)

##### Dalam Keramik

Efisiensi immobilisasi logam Pb, Cr, Zn, Ni dan Cu pada keramik dapat ditentukan dengan menggunakan rumus :

$$E = (A1 - A2) / (A1) \times 100 \% \dots\dots\dots(10)$$

Dimana :

- E = Efisiensi immobilisasi logam berat
- A1 = Konsentrasi logam berat awal
- A2 = Konsentrasi logam berat akhir

Tabel 4.8 Efisiensi Immobilisasi Logam Berat

No	Formula	Logam Berat (%)				
		Pb	Cr	Cu	Zn	Ni
1	1 (0%)	-	-	-	-	-
2	2 (5%)	89.304	91.451	94.125	87.681	99.999
3	3 (10%)	95.488	94.868	96.367	93.751	99.999
4	4 (15%)	97.857	96.557	97.080	95.068	99.999
5	5 (20%)	98.816	96.996	97.496	96.456	99.999

(Sumber : Hasil Penelitian, 2005)

#### 4.1.8 Biaya Pembuatan Keramik Tiap Biji Untuk Setiap Formula

Dalam pembuatan sample keramik, dibutuhkan biaya seperti tercantum pada table 4.9. Disini akan terlihat berapa biaya yang dibutuhkan mulai dari keramik tanpa katalis hingga keramik dengan pencampuran katalis 20%.

Tabel 4.9 Rincian Biaya Pembuatan Keramik Tiap Biji.

No	Jenis Barang/Jasa	Harga (Rp)	Jumlah Sampel	Jumlah Bahan (gr)					Harga (Rp)				
				F1	F2	F3	F4	F5	F1	F2	F3	F4	F5
1	Pemb.Cetakan												
	- Gips	15000	125						120	120	120	120	120
	- Tenaga	15000	125						120	120	120	120	120
2	Bahan												
	- Feldspar	3000/kg		190	190	190	190	190	570	570	570	570	570
	- Tanah Liat	2500/kg		100	100	100	100	100	250	250	250	250	250
	- Fire clay	4000/kg		50	50	50	50	50	200	200	200	200	200
	- Samot	3500/kg		60	60	60	60	60	210	210	210	210	210
	- Kaolin	3000/kg		100	75	50	25	0	300	225	150	75	0
	- Katalis	2000/kg		0	25	50	75	100	0	50	100	150	200
3	Tenaga												
	- Pengol.bahan	20000	125						160	160	160	160	160
	- Pembentukan	60000	125						480	480	480	480	480
	- Finishing	20000	125						160	160	160	160	160
4	Pembakaran	220000	125						1760	1760	1760	1760	1760
Harga Total									4330	4305	4280	4225	4230

(Sumber : Penelitian, 2005)

Dari tabel 4.9 di atas, dapat ditarik kesimpulan bahwa pembuatan keramik dengan campuran katalis memberikan nilai ekonomis yang lebih dari yang tanpa katalis jika kita lihat dari segi biaya pembuatan keramik tiap bijinnya.

## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Karakteristik Limbah Katalis

Sebelum dilakukan proses pembuatan keramik untuk solidifikasi logam berat, maka tahapan awal yang perlu dilakukan adalah melakukan pemeriksaan fisik dan kimia dari limbah katalis yang akan digunakan. Setelah dilakukan pemeriksaan, diperoleh karakteristik fisik dan kimia seperti yang di tampilkan pada table 4.1 dan 4.2. Tujuan dari pemeriksaan ini adalah untuk mengetahui kandungan logam berat yang terdapat pada limbah katalis yang nantinya akan digunakan untuk pembuatan keramik.

Setelah dilakukan pemeriksaan karakteristik fisik pada limbah katalis, diperoleh hasil untuk berat volume :  $0.32 \text{ gr/cm}^3$  , berat jenis :  $2.445 \text{ gr/ml}$  dan modulus kehalusan :  $0.643$  sangat berpotensi untuk pembuatan keramik.

Hasil uji kimia menunjukkan kandungan logam berat yang terdapat pada limbah katalis cukup tinggi. Ini dikarenakan kandungan logam berat (Pb, Cr, Zn, Ni dan Cu) yang terdapat pada limbah katalis jauh di atas standart baku mutu yang telah ditetapkan melalui P.P No 85 Tahun 1999 tentang standart baku mutu logam berat. Hal ini dapat dilihat pada table 4.2. Dengan kata lain limbah katalis sangat berbahaya dan mesti diolah sebelum dibuang ke alam.

Dalam limbah katalis ini juga terdapat senyawa  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . senyawa ini merupakan salah satu factor yang penting dalam pembentukan keramik, karena dapat membentuk iktan keramik dan meberikan kontribusi yang kuat dalam proses solidifikasi (Surdia dan Saito, 1985). Unsur  $\text{SiO}_2$  atau yang lebih dikenal dengan silika sangat berperan dalam mengurangi susut kering dan

retak-retak pada keramik. Hal ini membuat ikatan pada keramik menjadi lebih kuat, sehingga mempertinggi kualitas keramik yang dihasilkan. Sedangkan Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) berperan dalam mengimbangi pelelehan pada keramik disaat dilakukannya pembakaran dengan suhu yang cukup tinggi ( $1200^\circ\text{C}$ ), sehingga pada saat pembakaran dengan suhu yang tinggi, keramik menjadi lebih kuat. Senyawa lain yang tak kalah pentingnya adalah  $\text{CaO}$  yang berperan menurunkan titik leleh pada saat pembakaran dan mencegah terjadinya lengkung pada keramik yang nantinya akan mengakibatkan keramik menjadi patah. Peran senyawa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dapat memperbaiki proses pembakaran. Hal ini menjadikan senyawa-senyawa diatas menjadi komponen yang sangat penting dalam keramik agar dapat menghasilkan keramik dengan mutu dan kualitas yang baik.

#### **4.2.2 Rancangan Campuran Keramik**

Dalam pembuatan keramik, digunakan campuran bahan-bahan dasar pembuat keramik seperti *fire clay*, *samot/grog*, tanah liat, kaolin dan *feldspar*. Bahab-bahan dasar ini dicampurkan dengan katalis dan bahan tambahan air agar campuran menjadi plastis dan dapat di bentuk dengan mudah. Komposisi bahan-bahan keramik ini ditentukan oleh jenis keramik yang akan dibuat. Pada penelitian ini keramik yang dibuat adalah keramik dinding jenis *stoneware*. Untuk keramik jenis ini komposisinya adala ; kaolin 20%, tanah liat 20%, *fire clay* 10%, *samot/grog* 12% dan *feldspar* 38%, seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.3. Campuran ini didasarkan pada jumlah dan bentuk keramik yang akan dibuat. Pada

penelitian ini keramik yang dibuat berukuran : (10 x 10 x 1) cm dengan berat 500 gr. Jumlah keramik yang dibuat sebanyak 125 keramik.

Penambahan limbah katalis pada penelitian ini untuk satu buah keramik adalah : 5%, 10%, 15% dan 20%. Di sini, limbah katalis berperan sebagai pengganti kaolin. Sehingga penambahan katalis akan seiring dengan pengurangan jumlah kaolin yang digunakan. Penetapan katalis sebagai pengganti kaolin didasarkan pada kemiripan unsur-unsur yang terkandung dalam kaolin dengan unsur-unsur yang terkandung dalam katalis.

Dari hasil-hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penambahan campuran limbah akan seiring dengan penurunan kuat lentur pada benda yang dihasilkan. Hal ini juga berlaku pada penelitian ini. Dimana sampel keramik yang mengandung katalis dengan konsentrasi yang tinggi mempunyai kuat lentur yang lebih rendah dibandingkan dengan keramik yang konsentrasi katalis lebih sedikit. Meskipun demikian, kuat lentur yang dihasilkan masih jauh diatas keramik yang dijual di pasaran, seperti pada table 4.3.

#### **4.2.3 Uji Daya serap Air**

Salah satu faktor untuk menentukan bagus tidaknya suatu keramik adalah tingkat daya resap keramik terhadap air. Untuk menguji daya serap air dilakukan dengan mengurangi berat kering dengan berat basah (setelah direndam 24 jam) keramik (Pers. 9). Hasil yang diperoleh bahwa terjadi kenaikan tingkat daya serap air dari keramik yang tanpa katalis (9,88%) hingga keramik dengan katalis 20% (11,90%) seperti yang ditampilkan pada tabel 4.4. Hal ini terjadi karena

kemampuan daya ikat katalis untuk mengikat bahan-bahan yang lain sedikit lebih rendah dibandingkan dengan kaolin. Sehingga kerapatan keramik yang dihasilkan juga lebih kecil. Ini berdampak pada permukaan keramik menjadi lebih berpori (*porous*) sehingga air lebih mudah masuk ke badan keramik. Agar dihasilkan keramik yang lebih bagus kemampuan daya serap airnya harus kecil. Karena semakin kecil kemampuan keramik untuk menyerap air, mutunya akan semakin bagus pula.

#### 4.2.4 Uji Kuat Lentur

Uji kuat lentur dilakukan untuk mengetahui kemampuan keramik menahan beban yang berada di atasnya. Setelah dilakukan pengujian kuat lentur terhadap sampel keramik diperoleh keramik tanpa katalis mempunyai kuat lentur 130.73 kg/cm<sup>2</sup> hingga penambahan katalis 20% mempunyai kuat lentur sebesar 109.13 kg/cm<sup>2</sup>. Penambahan limbah katalis tidak memiliki dampak penurunan kuat lentur yang signifikan. Hal ini terbukti, dengan penambahan katalis hingga 20%, kuat lentur yang dihasilkan masih jauh di atas keramik pembanding yang ada di pasaran yaitu keramik Mulia, KIA dan Diamond sebesar 29,25 kg/cm<sup>2</sup>, 31,69 kg/cm<sup>2</sup>, 21,94 kg/cm<sup>2</sup> (Tabel 4.5). Selain itu, ketebalan sampel keramik yang dibuat (1 cm) jauh di atas keramik pembanding (0,2 cm). Sampel keramik dibuat lebih tebal karena dalam pencetakan dibuat secara manual. Ini juga dimaksudkan mencegah terjadinya lengkung/pecah pada saat pembakaran. Berbeda dengan keramik yang dijual di pasaran yang pencetakan dengan menggunakan mesin *press*. Kerapatan

yang dihasilkan juga akan lebih baik sehingga dengan ketebalan yang relatif kecilpun dapat menghasilkan kuat lentur yang relatif kuat,

Pada pembuatan keramik, pembakaran sangat berpengaruh pada proses vitrifikasi, yaitu proses terjadinya peleburan bagian-bagian dari mineral tertentu (Feldspar/ $\text{Ca Al}_2 \text{SiO}_8$  dan Amorthite Albite/ $\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$ ) dari bahan keramik (Vlack, 1981). Apabila suhu pembakaran tinggi sesuai dengan jenis keramik yang akan dibuat, maka partikel-partikel yang berada dalam keramik akan saling mengikat antara satu dengan yang lainnya (ikatan keramik) sehingga setelah proses pembakaran akan menghasilkan keramik yang kuat.

Sifat dan kandungan baha-bahan penyusun keramik sangat berpengaruh terhadap kuat lentur keramik. Pada bahan dasar keramik, terdapat bahan-bahan yang bersifat plastis seperti kaolin dan *fire clay*. *Fire clay* merupakan tanah liat tahan api yang memberikan efek tahan api terhadap keramik. Sehingga pada saat pembakaran dengan suhu tinggi, keramik tidak akan pecah. Sedangkan untuk tanah liat non plastis seperti *feldspar* dan *samot/grog* merupakan bahan campuran untuk memperoleh hasil yang memuaskan. *Feldspar* mengandung mineral yang dapat memberikan sampai 25% *flux* (pelebur) pada badan keramik, bila *mase* keramik dibakar, *feldsparnya* meleleh (melebur) dan membentuk leburan yang menyebabkan partikel tanah dan bahan lainnya melekat satu sama lainnya, sehingga memberikan kekuatan dan kekukuhan pada badan keramik. *Samot/grog* berperan untuk mengurangi berat susut yang terjadi saat pembakaran. Karena *samot/grog* dapat berperan sebagai pelindung bagi bahan-bahan penyusun yang lain yang dapat menyusut secara tiba-tiba akibat proses pembakaran. Karena

partikel *samot/grog* yang lebih besar dari tanah liat, maka badan menjadi lebih porous, yang memungkinkan cairan dengan mudah terhisap ke permukaan benda selama pengeringan dan permulaan pembakaran, ini memungkinkan penguapan lebih lambat dan mengurangi kesempatan benda pecah/retak selama pembakaran.

Senyawa lain yang berperan dalam pembentukan keramik adalah  $\text{SiO}_2$  yang terdapat pada limbah katalis.  $\text{SiO}_2$  berperan untuk mengurangi susut kering, keretakan dan mempertinggi kualitas keramik. Alumina atau  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , berguna untuk mengontrol dan mengimbangi pelelehan serta memberikan kekuatan pada keramik. Sedangkan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  atau oksida besi yang ada dalam limbah katalis dapat memperbaiki proses pembakaran dan memberi warna pada keramik.

Dari hasil yang ditunjukkan pada tabel 4.5 dapat dilihat bahwa seiring dengan penambahan katalis, maka kuat lentur yang dihasilkan juga semakin rendah. Hal ini disebabkan karena butiran katalis lebih kecil dari butiran unsur-unsur penyusun keramik. Sehingga pada pembakaran, katalis akan mengisi rongga-rongga ikatan antara unsur penyusun keramik yang lain. Akibatnya akan menghalangi/mengurangi ikatan antara bahan keramik yang satu dengan yang lain. Selain itu disebabkan juga oleh penurunan kuantitas atau jumlah mineral (kaolin) seiring dengan penambahan katalis yang semakin besar. Hal ini akan berdampak pada menurunnya nilai kuat lentur keramik yang dihasilkan.

#### 4.2.5 Uji Lindi Dengan Metode TCLP

Untuk mengetahui kadar logam berat yang terdapat pada limbah padat hasil industri, salah satu metode yang sering digunakan adalah metode TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*). Dengan metode ini dapat diketahui berapa besar kemungkinan logam berat yang terlepas dalam kondisi asam. Dalam penelitian ini dilakukan uji *lache* terhadap sampel keramik yang mengandung limbah katalis. Logam berat yang diuji adalah Pb, Cr, Cu, Zn, Ni. Hasil dari analisa yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 4.6.

Dari hasil analisa yang diperoleh terhadap kandungan logam berat (Pb, Cr, Cu, Zn, Ni) yang terlepas sangat kecil, jauh dibawah stabsdard baku mutu yang ditetapkan (P.P No 85 Tahun 199) tentang Pengelolaan Limbah Berbahaya dan Beracun (B3). Hal ini dikarenakan terjadinya ikatan fisik dan kimia pada komposisi pembuat keramik.

Kekuatan ikatan pada tanah, sangat tergantung pada tekstur tanah tersebut. Dengan kata lain, semakin halus tekstur tanah makin tinggi pula kemampuannya untuk mengikat unsur lain dan logam berat. Oleh karena itu tanah yang bertekstur liat mempunyai kemampuan untuk mengikat logam berat lebih tinggi dari tanah berpasir (Babich dan Stotzki, 1978). Sampel keramik yang digunakan tersusun dari bahan-bahan plastis (kaolin, *fire clay*) dan bahan-bahan non plastis (plastis (*feldspar*, *samot/grog*)). Kemudian bahan-bahan ini dicampur dengan limbah katalis RCC-15, limbah hasil penyulingan minyak bumi PT. PERTAMINA UP VI Balongan, Indramayu. Dengan campuran bahan-bahan pembuat keramik di atas membuat logam berat yang terkandung dalam limbah

katalis dapat terikat secara sempurna. Pengikatan ini menyebabkan perubahan struktur bahan dari bentuk struktur antar partikel menjadi suatu bentuk yang homogenitas (ikatan fisik). Proses selanjutnya adalah pemanasan dengan suhu tinggi (1200<sup>0</sup>C). Adanya pemanasan/pembakaran ini membuat ikatan yang terjadi antara bahan-bahan penyusun keramik dengan limbah katalis semakin kuat. Hal ini karena suhu pembakaran berpengaruh pada proses vitrifikasi, yaitu proses terjadinya peleburan bagian-bagian dari mineral tertentu dari bahan keramik (Vlack, 1981). Mineral-mineral yang melebur terutama adalah ; SiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Karena pada suhu tinggi mineral-mineral yang terkandung pada bahan penyusun keramik (tanah liat, kaolin, *fire clay*, *samot* dan *feldspar*) akan terikat dengan mineral-mineral yang terkandung dalam katalis membentuk suatu ikatan yang kuat. Ikatan yang terjadi pada proses ini adalah ikatan kimia, karena kedua oksida tersebut (SiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) pada proses pembakaran mengalami proses reaksi kimia membentuk ikatan keramik.



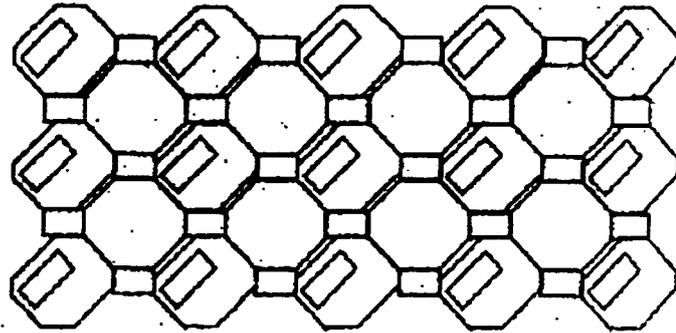
Selain terjadi ikatan pada senyawa di atas, pada proses pembakaran juga terjadi ikatan logam berat (Pb, Cr, Cu, Zn, Ni) dengan gas oksigen (O<sub>2</sub>) yang dihasilkan pada proses pembakaran. Proses ini membentuk senyawa-senyawa oksida logam, sehingga pengikatan yang terjadi dalam proses pembakaran lebih sempurna.

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  $\text{SiO}_2$  sebagai unsur utama pembentuk gelas yang mana mineral-mineral lokal (feldspar dan kaolin) mengandung partikel  $\text{SiO}_2$  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.

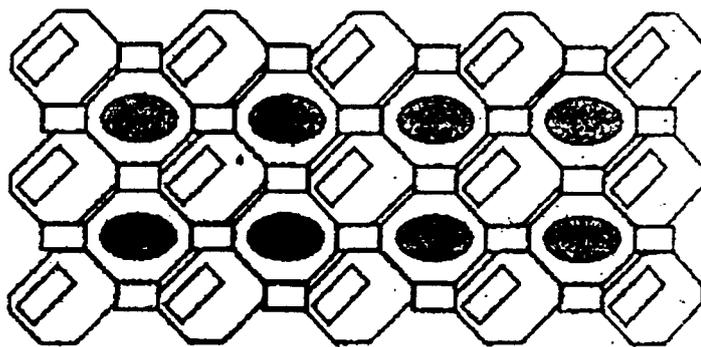
Pada penambahan limbah katalis yang sama, maka kenaikan suhu pembakaran akan mengurangi angka pelindian dari monolit keramik limbah tersebut. Partikel mineral lokal terutama  $\text{SiO}_2$  akan melebur pada suhu  $1000^\circ\text{C}$ . Oleh karena itu antara partikel mineral lokal (feldspar dan kaolin) dengan partikel logam limbah katalis 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 4.4 Struktur Rongga Feldspar

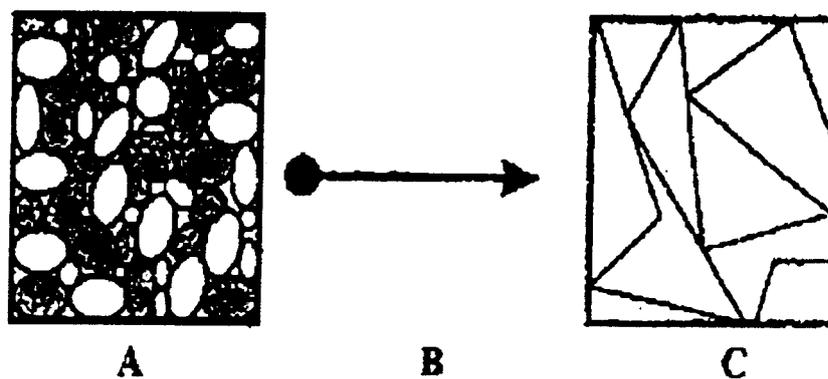
Dari gambar 4.4 memperlihatkan struktur mineral lokal alam dengan bagian-bagian yang masih kosong belum terisi oleh logam berat (Cr, Cu, Pb, Zn dan Ni) yang berasal dari limbah katalis.



Gambar 4.5 Struktur Rongga Feldspar Yang Telah Terisi Logam Berat Yang Berasal Dari Limbah Katalis

Pada gambar 4.5 memperlihatkan struktur rongga yang telah terisi partikel logam berat limbah katalis. Dengan demikian partikel logam berat akan terjepit diantara partikel-partikel mineral lokal yaitu, feldspar dan kaolin yang mana memungkinkan partikel logam limbah katalis 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 :



Gambar 4.6 Perubahan Susunan Partikel dalam Immobilisasi (Ichinose, 1987)

Keterangan :

- A = Susunan Partikel sebelum Immobilisasi
- B = Proses Immobilisasi
- C = Susunan Partikel Setelah immobilisasi



Partikel SiO<sub>2</sub> dalam Mineral Lokal



Partikel Logam Berat

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.

Dari uji *leachete*/lindi yang dilakukan dapat dilihat bahwa logam yang terkandung dalam keramik menjadi lebih stabil. Hal ini menunjukkan bahwa proses solidifikasi yang terjadi pada keramik cukup berhasil hal ini ditandai dengan rendahnya logam berat yang terlepas setelah dilakukan uji TCLP terhadap sampel keramik (Tabel 4.6). Logam berat yang terlepas jauh di bawah standart baku mutu yang ditetapkan pemerintah melalui PP No 85 Tahun 199 tentang Pengelolaan Limbah Berbahaya dan Beracun (B3). Ini berarti dengan proses solidifikasi dengan menggunakan keramik dapat mengikat logam berat yang terdapat dalam katalis, sehingga logam berat lebih stabil dan aman untuk lingkungan sedangkan keramiknya dapat dimanfaatkan menjadi sesuatu yang lebih berguna.

Pada hasil uji TCLP yang dilakukan, terjadi perbedaan diantara setiap variasi penambahan limbah katalis (formula). Banyak faktor yang menyebabkan

hasilnya menjadi fluktuatif dan tidak seragam. Salah satu diantaranya adalah pencampuran bahan yang tidak merata. Hal ini dikarenakan pencampuran dan pengadukan bahan dilakukan secara manual. Bahkan hingga pencetakan keramik juga dilakukan secara manual. Hal ini menyebabkan campuran bahan keramik menjadi tidak homogen dan pada saat pencetakan kekuatannya menjadi tidak merata. Keadaan ini menyebabkan ketika dilakukan uji TCLP menjadikan logam yang terlepas memiliki konsentrasi yang berbeda-beda.

Kemungkinan yang lain adalah terdapatnya logam berat pada bahan-bahan pembentuk keramik. Hal ini mungkin saja terjadi mengingat bahan-bahan yang digunakan adalah tanah liat yang berasal dari alam. Sehingga pada hasil uji TCLP tanpa penambahan limbah katalis terdapat logam berat (Pb, Cr, Cu, Zn dan Ni).

Dari hasil yang diperoleh masih ada beberapa logam berat yang terlepas pada saat dilakukan uji TCLP. Hal ini disebabkan pada proses solidifikasi sebagai keramik dengan pembakaran yang tinggi, partikel bahan-bahan keramik yang digunakan tidak terikat sempurna dengan limbah baik secara fisik maupun secara kimia.

Jika dibandingkan dengan standar baku mutu TCLP P.P No 85 Tahun 1999, hasil yang diperoleh berada di bawah standar. Dengan demikian dapat ditarik kesimpulan bahwa solidifikasi logam berat dengan menggunakan media keramik layak jika ditinjau dari aspek kuat lentur, daya serap air maupun dari aspek lingkungan yang ditimbulkan.

#### **4.2.6 Perbandingan Optimum Ditinjau Dari Uji Kuat Lentur , Daya Serap Air dan TCLP.**

Jika kita lihat dari hasil uji kuat lentur yang telah dilakukan, terjadi penurunan nilai kuat lentur seiring dengan penambahan komposisi katalis pada keramik (Tabel 4.5). Pada uji kuat daya serap air, terjadi penurunan kualitas. Dimana semakin banyak jumlah katalis daya serap keramik menjadi semakin tinggi dan hal ini menandakan terjadinya penurunan kualitas seiring dengan penambahan katalis. Sedangkan pada hasil uji TCLP, meskipun hasilnya cenderung fluktuatif tetapi ada kecenderungan peningkatan konsentrasi seiring dengan penambahan limbah katalis ke dalam komposisi keramik. Dari data diatas, dapat ditarik kesimpulan bahwa perbandingan optimum antara kuat lentur dan uji TCLP tidak sejalan. Karena seiring penambahan limbah katalis terjadi penurunan kuat lentur, sedangkan di sisi lain terjadi peningkatan konsentrasi logam berat pada hasil uji TCLP.

Apabila dibandingkan antara hasil uji TCLP, kuat lentur dan daya serap air diperoleh formula yang memiliki kualitas yang lebih baik adalah formula 2 (penambahan katalis 5%). Ini dikarenakan nilai kuat lentur yang dihasilkan dengan penambahan katalis lebih baik dibanding formula yang lain (dengan penambahan katalis) dan nilai konsentrasi uji TCLP yang dihasilkan juga sedikit lebih baik dengan konsentrasi ; Pb 0.174 mg, Zn 0.142 mg, Cr 0.092 mg, Cu 0.045 mg, Ni 0.040 mg.

Dari aspek kesehatan, kandungan logam berat yang dihasilkan juga relatif aman, karena berada di bawah standar baku mutu yang ditetapkan pemerintah.

Jika kita tinjau dari aspek teknis, kuat lentur yang dihasilkan juga jauh di atas kuat lentur keramik pembanding yang dijual di pasaran.

Tabel 4.10 Perbandingan Optimum DiTinjau dari Uji Kuat Lentur dan Uji TCLP

Formula	Kuat Lentur (kg/cm <sup>2</sup> )	Daya Serap Air (%)	Pengujian				
			TCLP (mg/l)				
			Pb	Zn	Cr	Cu	Ni
F1	130.73	9.88	0.174	0.142	0.092	0.045	0.040
F2	116.33	9.93	0.189	0.119	0.080	0.049	0.040
F3	114.08	10.73	0.159	0.121	0.096	0.061	0.040
F4	112.95	10.99	0.076	0.143	0.096	0.073	0.040
F5	109.13	11.90	0.056	0.137	0.112	0.085	0.120