

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

4.1.1. Karakteristik Limbah *Fly Ash*

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

Tabel 4.1. Karakteristik Fisik Limbah *Fly Ash*

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

(Sumber : Hasil Penelitian, 2005)

Tabel 4.2. Karakteristik Kimia Limbah *Fly Ash*

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

(Sumber : Hasil Penelitian, 2005)

4.1.2. Rancangan Campuran Keramik

Rancangan penambahan limbah *fly ash* dalam bahan-bahan keramik stoneware dibuat sesuai dengan berat dan banyaknya keramik yang dibuat, dengan berat 500g tiap keramik dan ukuran 10cmx10cmx1cm. Banyaknya sampel yang dibuat adalah 25 keramik.

Tabel 4.3. Rancangan Campuran Keramik

Formula	Bahan Mentah Keramik				
	Kaolin (20%) (gr)	Tanah Liat (20%) (gr)	<i>Fire Clay</i> (10%) (gr)	<i>Samot/Grog</i> (12%) (gr)	<i>Feldspar</i> (38%) (gr)
1 (0%)	500	500	250	300	950
2 (10%)	450	450	200	250	900
3 (20%)	400	400	150	200	850
4 (30%)	350	350	100	150	800
5 (40%)	300	300	50	100	750

(sumber : Hasil Penelitian, 2005)

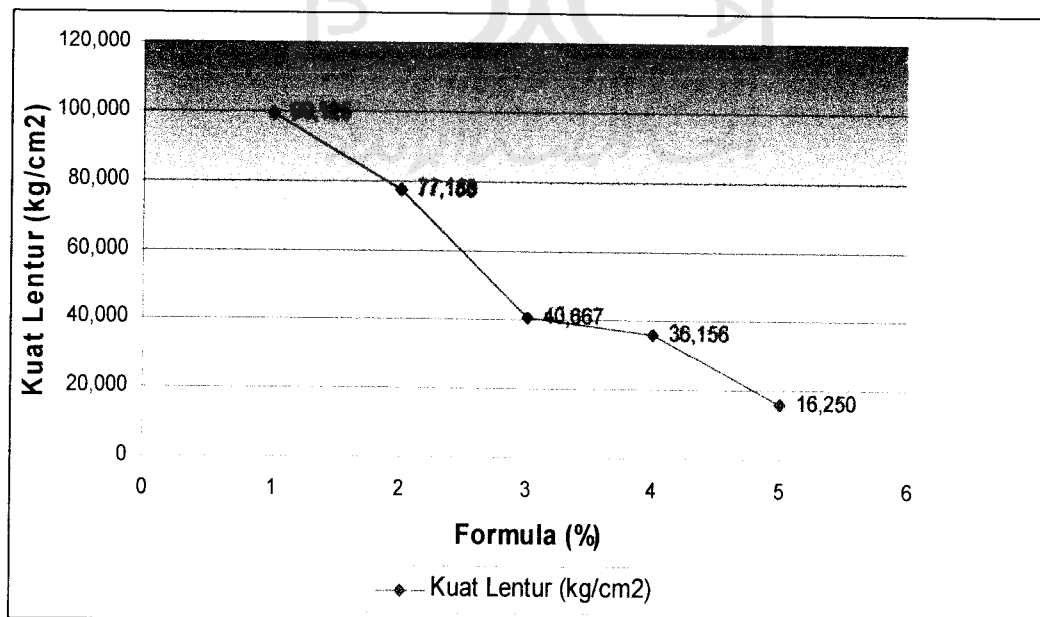
4.1.3. Uji Kuat Lentur

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

Tabel 4.4. Nilai Kuat Lentur Rata-rata Sampel Keramik

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

(Sumber : Hasil Penelitian, 2005)



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

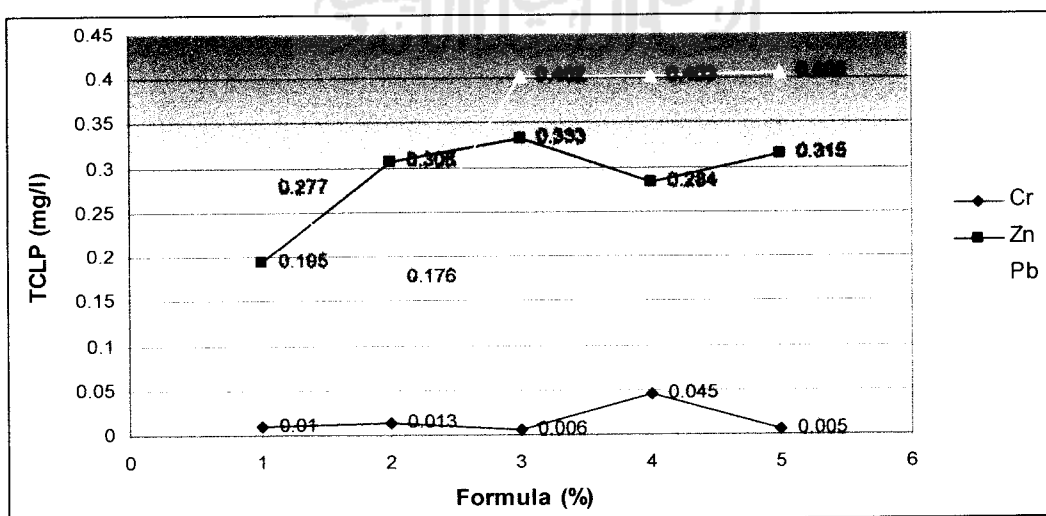
4.1.4. Uji *Leachate* Dengan Metode TCLP

Hasil pengujian lindi/*leachate* dengan metode *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) pada masing-masing formula ditunjukkan pada Tabel 4.5. dan Gambar 4.2.

Tabel 4.5. Hasil Rata-rata *leachate* Logam Berat Dalam keramik Limbah

No	Benda Uji	p ^H	<i>Leachate</i> Logam Berat (mg/l)		
			Cr	Zn	Pb
1	Formula 1 (0%)	4,86	0,01	0,195	0,277
2	Formula 2 (10%)	4,86	0,013	0,308	0,176
3	Formula 3 (20%)	4,82	0,006	0,333	0,402
4	Formula 4 (30%)	4,81	0,045	0,284	0,403
5	Formula 5 (40%)	4,81	0,0045	0,315	0,406
Standar TCLP (PP 18/1999)			5,0	50,0	5,0

(Sumber : Hasil Penelitian, 2005)



Gambar 4.2. Grafik TCLP Logam Berat (Cr, Zn dan Pb)

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

Keramik

Efisiensi immobilisasi logam berat Cr, Zn dan Pb menggunakan rumus

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

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

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

(Sumber : Hasil Penelitian, 2005)

4.2. Pembahasan

4.2.1. Karakteristik Limbah *Fly Ash*

Pada penelitian awal dilakukan pemeriksaan karakteristik fisik dan kimia limbah *fly ash* yang ditampilkan pada Tabel 4.1 dan 4.2. Pemeriksaan ini dilakukan untuk mengetahui syarat potensi limbah *fly ash* dalam pembuatan keramik dan kandungan logam berat dalam limbah *fly ash* sebelum disolidifikasi.

Dari hasil analisa yang dilakukan terhadap sifat fisik limbah *fly ash* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1, berat jenis 2.424 gr/ml, berat volume 0.0738 t/m³ dan modulus kehalusan sebesar 0.33 adalah berpotensi untuk pembuatan keramik.

Jika dilihat dari unsur-unsur yang terkandung seperti pada Tabel 4.2, maka limbah *fly ash* tergolong jenis limbah berbahaya dan beracun (limbah B3) menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No 18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Berbahaya dan Beracun yaitu Zn ($587,500 \pm 21,740 \mu\text{g/g}$), Pb ($39,991 \pm 1,086 \mu\text{g/g}$) dan Cr ($19,500 \pm 0,390 \mu\text{g/g}$).

Karakteristik kimia terutama senyawa SiO₂, Al₂O₃, CaO dan Fe₂O₃ adalah merupakan hal penting dalam pembuatan keramik karena dapat membentuk ikatan keramik dan memberikan kontribusi kuat (Surdia dan Saito, 1985). Adanya unsur SiO₂ atau silika dalam limbah *fly ash* industri tekstil pada pembuatan keramik, bermanfaat untuk mengurangi susut kering, retak saat pembakaran dan mempertinggi kualitas produk keramik. Aluminium atau Al₂O₃ berguna untuk mengontrol dan mengimbangi pelelehan serta memberikan kekuatan pada keramik. Kandungan CaO dapat menurunkan titik leleh pada saat

pembakaran dan mencegah lengkung. Sedangkan Fe_2O_3 atau oksida besi yang terkandung dalam limbah dapat memperbaiki proses pembakaran.

4.2.2. Rancangan Campuran Keramik

Dalam membuat sampel untuk penelitian ini dipergunakan bahan-bahan dasar pembuat keramik, yaitu: kaolin, tanah liat, *fire clay*, *samot/grog*, *feldspar* dan bahan bantu, yaitu air. Variasi komposisi dibuat berdasarkan jenis keramik yang dibuat, yaitu keramik dinding *stoneware* dengan komposisi kaolin 20%, tanah liat 20%, *fire clay* 10%, *samot/grog* 12% dan *feldspar* 38%, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.3. Rancangan campuran bahan keramik didasarkan pada berat dan banyaknya keramik yang dibuat, dengan berat 500g tiap keramik dan ukuran 10cmx10cmx1cm. Banyaknya sampel yang dibuat adalah 25 keramik.

Adapun penambahan limbah *fly ash* pada penelitian ini adalah 10%, 20%, 30% dan 40% pada tiap formula bahan keramik. Berdasarkan pada penelitian sebelumnya bahwa semakin banyak proporsi limbah berpengaruh pada kualitas yang dihasilkan, yaitu dihasilkan nilai kuat tekan pada produk seperti beton dan batu bata semakin rendah sehingga kualitas produk kurang baik, dan penambahan limbah terhadap campuran produk yaitu nilai kuat tekan optimum tercapai pada proporsi limbah 40%. Tabel 4.3. menunjukkan bahwa untuk formula 2, 3, 4 dan 5 dilakukan penambahan 10%, 20%, 30% dan 40% limbah *fly ash*.

4.2.3. Uji Kuat Lentur

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

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

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

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

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

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

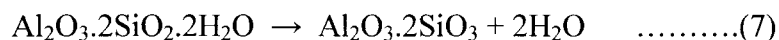
disebabkan butiran limbah *fly ash* yang lebih kecil dari ukuran tanah liat baik yang plastis maupun non plastis sehingga akan mengisi rongga anantara butiran tanah liat. Akibatnya akan menghalangi/mengurangi ikatan antara bahan keramik yang satu dengan yang lain. Selain itu disebabkan juga oleh kuantitas atau jumlah mineral (kaolin, tanah liat, *fire clay*, *samot/grog* dan *feldspar*) penyusun dari keramik tersebut akan berkurang dengan adanya substitusi limbah *fly ash* yang semakin besar.

4.2.4. Uji Lindi Dengan Metode TCLP

Uji *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) merupakan salah satu metode pengujian yang digunakan untuk limbah padat suatu industri. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui tingkat pelepasan logam berat mengingat bahan tambahan yang digunakan adalah limbah industri tekstil. Seperti diketahui dalam limbah padat industri tekstil mengandung logam berat yang berasal dari zat warna yang digunakan. Untuk maksud tersebut dilakukan uji *leachate* dengan metode TCLP terhadap produk keramik *stoneware* yang dihasilkan. Pada penelitian ini, analisis logam berat yang dianalisa yaitu Cr, Zn dan Pb.

Dari data hasil penelitian ini (Tabel 4.5. dan Gambar 4.4.) terlihat bahwa lindi (*leachate*) logam berat yaitu Cr, Zn dan Pb yang lepas dari keramik sangat kecil, berada dibawah ketentuan yang ditetapkan berdasarkan PP No 18 tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Berbahaya dan Beracun (B3). Hal ini disebabkan terjadi ikatan fisik dan kimia dalam sampel keramik.

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



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



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

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

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

dengan formula 5, 4, 3 dan terakhir formula 1 (0% limbah). Pada saat pencetakan, alat cetak yang digunakan tidak dicuci tapi hanya dilap saja dengan menggunakan kain. Ini ditunjukkan pada formula 1 (0% limbah) mengandung logam berat Cr, Zn dan Pb.

Selain itu dipengaruhi juga oleh larutan ekstraksi pada pengujian TCLP yang tidak sempurna pada proses penyaringan. Pada pengujian TCLP, untuk larutan ekstraksi sampel disaring dengan menggunakan kertas saring. Pada proses ini diperoleh hasil saringan yang tidak sama untuk setiap formula, dikarenakan masih ada padatan yang lolos saringan.

Dari hasil penelitian terlihat adanya logam-logam berat yaitu Cr, Zn dan Pb yang masih terlindi, 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.

Apabila hasil penelitian lindi dengan metode TCLP dibandingkan dengan baku mutu TCLP menurut PP 18 tahun 1999 semuanya jauh dibawah baku mutu. Dengan demikian pemanfaatan limbah *fly ash* industri tekstil untuk keramik layak dari aspek teknis (kuat lentur) maupun aspek kesehatan dan lingkungan.

4.2.5. Perbandingan Optimum Ditinjau dari Uji Kuat Lentur dan Uji TCLP

Dari hasil penelitian ini, uji kuat lentur pada Tabel 4.4, makin meningkatnya penambahan limbah *fly ash* dalam bahan-bahan keramik mempunyai nilai kuat lentur semakin rendah. Sedangkan pada uji lindi dengan metode TCLP pada Tabel 4.5, nilai lindi pada setiap variasi penambahan limbah *fly ash* memberikan perbedaan yang signifikan antara satu dengan yang lainnya. Berdasarkan pada penelitian pendahuluan dengan uji TCLP, makin meningkat penambahan limbah mempunyai nilai uji lindi dengan metode TCLP semakin tinggi. Oleh karena itu perbandingan optimum ditinjau dari uji kuat lentur dan uji lindi tidak sesuai sehingga penambahan komposisi limbah *fly ash* yang optimum dalam pembentukan keramik berdasarkan aspek teknis dan tingkat toksisitas dari hasil penelitian uji kuat lentur dan uji lindi dengan metode TCLP yaitu penambahan 10% limbah *fly ash*. Hal ini dikarenakan pada penambahan 10% limbah *fly ash* menghasilkan nilai kuat lentur terbesar yaitu 77,188 kg/cm² dan nilai lindi untuk Cr, Zn dan Pb sebesar 0,013 mg/l; 0,308 mg/l dan 0,176 mg/l berada dibawah nilai minimum yang ditetapkan.

Dari aspek kesehatan/tingkat toksisitas logam berat, komposisi penambahan 10%, 20%, 30% dan 40% limbah *fly ash* masih berada dibawah baku mutu TCLP berdasarkan PP 18 tahun 1999, sedangkan dari aspek teknis yaitu kuat lentur pada penambahan 40% limbah *fly ash* tidak memenuhi nilai perbandingan keramik yang dijual dipasaran.

Tabel 4.7. Perbandingan Optimum DiTinjau dari Uji Kuat Lentur dan Uji TCLP

Formula	Pengujian			
	Kuat Lentur (kg/cm ²)	TCLP (mg/l)		
		Cr	Zn	Pb
1 (0%)	99,125	0,01	0,195	0,277
2 (10%)	77,188	0,013	0,308	0,176
3 (20%)	40,667	0,006	0,333	0,402
4 (30%)	36,156	0,045	0,284	0,403
5 (40%)	16,250	0,0045	0,315	0,406
Standar	15	5,0	50,0	5,0

(Sumber : Hasil Penelitian, 2005)

