

STABILISASI LOGAM BERAT DALAM *SLUDGE* DAN EFEKTIFITAS PENGGUNAANNYA PADA PEMBUATAN BATAKO

STABILIZATION OF HEAVY METAL IN *SLUDGE* AND ITS UTILIZATION EFFECTIVITY ON BRICK PRODUCTION

Lieke Riadi, Fenita Rosaria, Rocky Soetanto dan Melissa Azelea
Jurusan Teknik Kimia Universitas Surabaya
email: lieke@ubaya.ac.id

Abstrak

Sludge yang mengandung logam berat berbahaya bagi lingkungan karena berpotensi mencemari air tanah dari proses *leaching*. Sehingga logam berat dalam *sludge* perlu distabilkan dengan menggunakan *stabilizing agent* tertentu. *Sludge* yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari instalasi pengolahan limbah industri yang mengandung Cu, Fe, Ni, dan Zn. Tiga *stabilizing agent* dicoba untuk menstabilkan logam berat dalam lumpur yaitu CAO, *brown sugar*, dan *sodium sulfide*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *brown sugar* mampu menstabilkan Fe sampai 82%, sedangkan CAO mempunyai efektifitas yang tinggi bila digunakan untuk menstabilkan Cu dan Zn. CAO juga menunjukkan persentase pengikatan Ni yang paling tinggi dibandingkan dengan *brown sugar* dan *sodium sulfide*. CAO mampu menstabilkan 95% Cu, 67% Ni, dan 98% Zn. Dosis *stabilizing agent* yang digunakan tidak mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kemampuan *stabilizing agent* dalam mengikat logam berat. *Sludge* yang sudah distabilkan dapat dimanfaatkan sebagai campuran batako dengan konsentrasi maksimum 10% b/b yang ditentukan dari hasil uji kuat tekan batako.

Kata kunci: logam berat, *sludge* industri, *stabilizing agent*, batako

Abstract

Sludge, which contains heavy metals, may pose hazard to the environment due to possibility of groundwater contamination from heavy metal leaching. Heavy metals in *sludge* can be stabilized using certain stabilizing agents. This study utilizes *sludge* from industrial wastewater treatment plant. Three stabilizing agents (CAO, brown sugar and sodium sulfide) are used in this study to stabilize heavy metals (Cu, Fe, Ni, and Zn) contained in *sludge*. The result of the study shows that brown sugar can be used to stabilize Fe up to 82%. CAO is the most effective stabilizing agent for Cu and Zn. CAO also shows the highest capacity to bind Ni compared to brown sugar and sodium sulfide. CAO can stabilize 95% Cu, 67% Ni, and 98% Zn. The concentration of stabilizing agent does not affect significantly to the effectiveness of stabilizing agents in binding heavy metals. The stabilized *sludge* can be used as raw material to produce brick as a mixture of cement and sand. The maximum *sludge* concentration that can be added as sand replacement is 10% w/w based on the result of compressive strength test.

Keywords: heavy metals, industrial *sludge*, stabilizing agent, brick

1. PENDAHULUAN

Metode pengolahan *sludge* limbah industri yang biasa digunakan adalah *dewatering*, yang dilanjutkan dengan pembuangan akhir. Keterbatasan metode ini adalah kemungkinan terjadinya kontaminasi logam berat, karena logam berat dalam *sludge* sulit hilang/berkurang, dapat terakumulasi, dan membentuk lindi yang dapat mencemari air tanah. Karena itu *sludge* perlu diolah dengan cara lain yang lebih efektif

Metode lain untuk pengolahan logam berat dalam *sludge* adalah stabilisasi, solidifikasi, dan gabung-

an stabilisasi dan solidifikasi (S/S). Stabilisasi adalah pengolahan untuk membatasi atau mengurangi kemungkinan terlepasnya bahan berbahaya dari limbah (Wentz, 1995). Pengurangan kelarutan bahan berbahaya a.l. dengan penambahan bahan kimia untuk mengikat logam berat, sehingga mencegah pelepasan ke lingkungan. Beberapa bahan kimia (NaOH, EDTA, Na₂S dan *thiourea*) dapat digunakan sebagai *stabilizing agent* untuk mengikat Cd dan Pb dari *fly ash* (Zhao *et al.*, 2002). *Sodium sulfide*, kapur, dan *chelating agent* (reaksi antara *polyamine* atau *polyethle-neimine* dan *carbon disulfide*) juga dapat menstabilkan logam berat Pb, Cd, Zn, Cr,

Hg dan Cu (Huang dan Lo, 2004; Bankowski, 2004; Jianguo *et al.*, 2004).

Solidifikasi adalah proses pemadatan limbah dengan agen pengikat atau polimer. Park (2000) menunjukkan bahwa materi semen OPC (*ordinary portland cement*), CKD (*clinker kiln dust*) dan QSA (*quick setting agent*) cukup efektif untuk menstabilkan logam berat. Hasil solidifikasi *sludge* limbah domestik kering atau pasca insinerasi menunjukkan *sludge* dan abu *sludge* cukup efektif untuk bahan baku batu bata dan keramik (Thay and Show, 1997; Wiebusch dan Seyfried, 1997; Okuno dan Takahashi, 1997).

Metode kombinasi S/S memberikan keuntungan tingkat stabilitas logam berat yang lebih baik dan potensi *sludge* sebagai bahan baku untuk batako, batu bata atau campuran semen, karena logam berat sudah distabilkan (Lu *et al.*, 2004).

Penelitian ini menggunakan metode S/S untuk menstabilkan logam berat dalam *sludge* limbah industri dan menguji keefektifan *sludge* sebagai bahan baku pembuatan batako dengan OPC.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan jenis dan dosis optimum *stabilizing agent* yang paling efektif untuk mengikat logam berat pada *sludge*, dan untuk mengkaji keefektifan *sludge* sebagai bahan campuran batako. *Sludge* yang sudah stabil digunakan untuk campuran batako. Faktor penentuannya adalah campuran optimum *sludge* yang sudah stabil, semen, dan bahan lain yang digunakan, misal pasir. Hasilnya diuji kuat tekan guna penentuan keefektifan campuran *sludge* dalam batako.

2. METODOLOGI

Preparasi *Sludge*

Sludge berasal dari instalasi pengolahan limbah industri sebuah pabrik sepeda. *Sludge* dikeringkan pada 100°C selama 24 jam. Sebanyak 10 g sampel kering dicampur dengan 350 ml akuades dalam erlenmeyer 500 ml. Campuran dikocok dengan *shaker* berkecepatan 100 rpm selama 24 jam. Kandungan logam Fe, Ni, Cu, dan Zn diukur masing-masing pada panjang gelombang 510 445, 560, dan 565 nm dengan spektrofotometer

Penentuan *stabilizing agent* yang efektif

Jenis *stabilizing agent* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *brown sugar*, *sodium sulfide*

($\text{Na}_2\text{S}\cdot 9\text{H}_2\text{O}$) dan *colloidal aluminate oxide* (CAO). Percobaan *batch* dilakukan dengan menggunakan 5 erlenmeyer. Kedalam erlenmeyer ditambahkan 10 g *dry sludge* dan *stabilizing agent* dengan dosis 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% b/b. Kelima erlenmeyer tersebut dikocok dengan *shaker* berkecepatan 100 rpm selama 24 jam. Pada jam ke-4, 8, 12 dan 24 diambil sampel untuk analisis kadar logam berat. Dari hasil analisis dibuat kurva kesetimbangan ekstraksi untuk menentukan *stabilizing agent* yang paling efektif

Pemanfaatan *sludge* untuk membuat batako

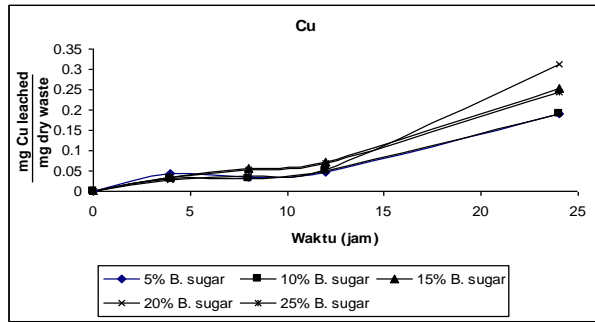
Sludge yang sudah distabilkan digunakan untuk campuran bahan pembuatan batako, dengan variasi komposisi *sludge*, semen, dan pasir yang berbeda-beda. Guna menentukan komposisi *sludge* maksimum yang bisa dicampurkan, dilakukan uji kuat tekan dan dibandingkan kekuatannya dengan batako tanpa *sludge*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

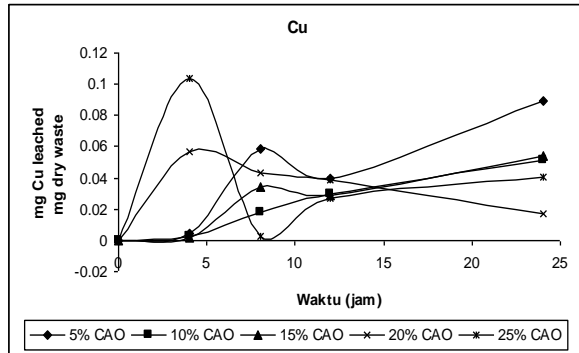
Hasil analisis awal menunjukkan bahwa *sludge* mengandung beberapa logam berat dominan yaitu Fe, Cu, Ni, dan Zn. Konsentrasi logam berat terbesar adalah Fe dengan kadar 35.049 mg/L, sedangkan konsentrasi Cu, Ni, dan Zn adalah 6,0648 mg/L; 1,3075 mg/L; dan 31,0395 mg/L.

Keempat logam berat distabilkan dengan *stabilizing agent brown sugar*, CAO, dan *sodium sulfide* pada variasi dosis 5, 10, 15, 20 dan 25%. Keefektifan *stabilizing agent* ditentukan dengan metode ekstraksi secara *batch*, yaitu dengan mengukur konsentrasi logam berat yang terlepas/L pada selang waktu 4, 8, 12, dan 24 jam. Dari kurva antara mg logam berat yang terlepas /mg limbah kering terhadap waktu kontak, dapat ditentukan *stabilizing agent* yang efektif untuk stabilisasi logam berat. *Stabilizing agent* disebut efektif bila jumlah logam berat yang terlepas di bawah baku mutu limbah cair industri (yaitu Fe 5 mg/L, Cu 1 mg/L, Ni 0,1 mg/L dan Zn 5 mg/L). Hasil analisis dapat dilihat pada Gambar 1-4.

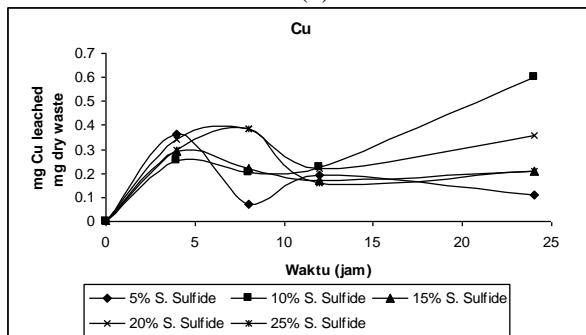
Gambar 1-4 menunjukkan kemampuan *stabilizing agent* dalam mengikat logam berat berbeda-beda. *Sodium sulfide* kurang efektif digunakan sebagai *stabilizing agent* untuk Fe, Cu, Ni, dan Zn karena menunjukkan kecenderungan untuk melepaskan kembali logam berat dengan bertambahnya waktu kontak (Gambar 1-iii, 3-iii, dan 4-iii).



(a)



(b)



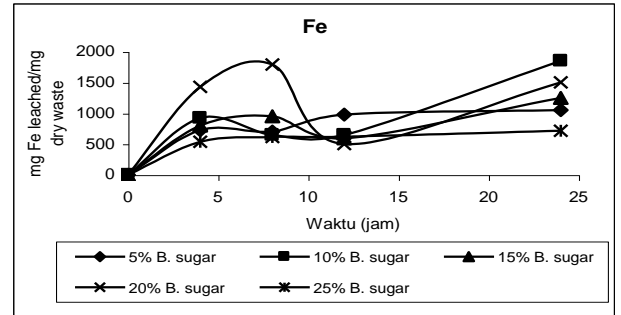
(c)

Gambar 1. Fraksi *Leached Cu* Sebagai Fungsi Waktu dengan *Brown Sugar* (a), CAO (b), dan *Sodium Sulfide* (c)

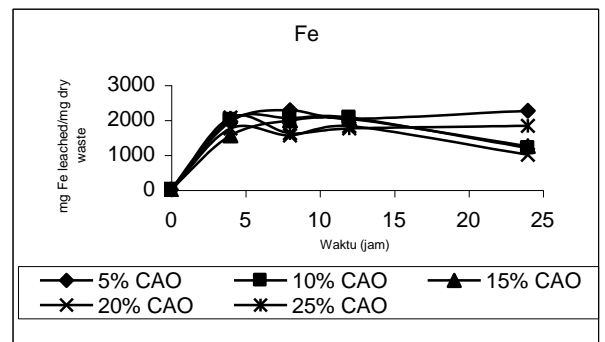
CAO sangat efektif digunakan untuk menstabilkan Cu dan Zn. Kadar Cu yang terlepas berkisar 0,28-0,41 mg/L dengan tingkat pengikatan 95%. Sedangkan pengikatan Zn bisa mencapai 98% dengan konsentrasi akhir yang terlepas adalah 0,52 mg/L pada dosis 10% berat CAO (Tabel 1). CAO juga mampu menstabilkan Ni dalam *sludge* sampai 67%, namun konsentrasi Ni yang terlepas masih sebesar 0,4-1,0 mg/L (standar 0,1 mg/L), sehingga CAO dikatakan kurang efektif untuk mengikat Ni.

Brown sugar memiliki efisiensi teresar dalam mengikat Fe (Gambar 2-i), yang ditunjukkan oleh penurunan Fe yang terlepas pada waktu kontak 12 jam. Namun Fe yang terlepas masih cukup tinggi

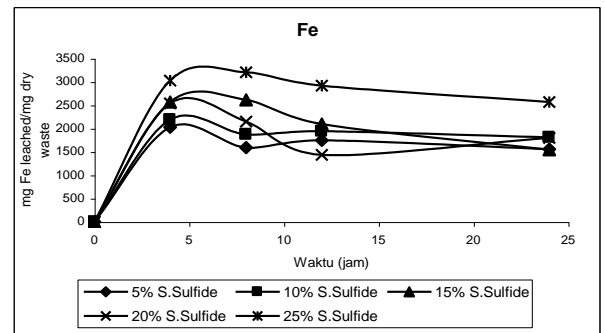
(6205 mg/L), sehingga meskipun persentase pengikatan Fe cukup besar (82%) *brown sugar* masih kurang efektif digunakan sebagai *stabilizing agent* Fe.



(a)



(b)



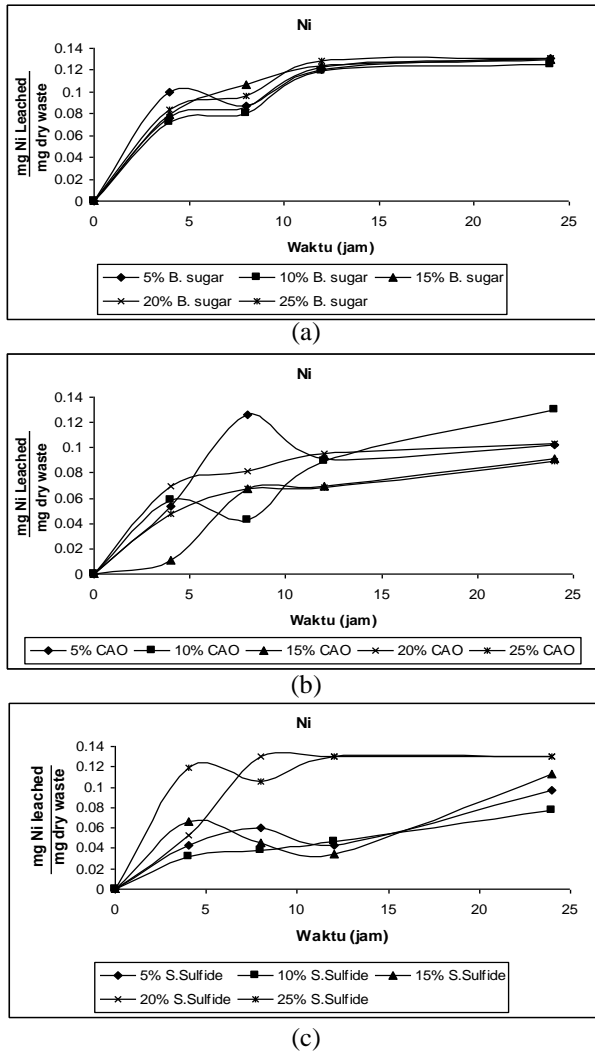
(c)

Gambar 2. Fraksi *Leached Fe* sebagai Fungsi Waktu dengan *Brown Sugar* (a), CAO (b), dan *Sodium Sulfide* (c)

Mekanisme pengikatan logam berat oleh *brown sugar* dan CAO terkait dengan pembentukan senyawa kompleks *stabilizing agent* dengan logam berat (atom Cu, Fe, Ni, dan Zn sebagai pusatnya). Hasil kemampuan *stabilizing agent* dalam mengikat logam berat dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 menunjukkan bahwa tidak ada korelasi positif antara peningkatan dosis *stabilizing agent* dengan kemampuannya dalam mengikat logam

berat. CAO dengan dosis 5% berat mampu mengikat 21% Ni dan meningkat menjadi 67% pada dosis 10% berat. Namun, dengan peningkatan dosis CAO menjadi 15% dan 20% berat justru terjadi penurunan kemampuan pengikatan Ni menjadi 46% dan 20%. Pengikatan Zn oleh CAO juga tidak menunjukkan suatu pola yang teratur. CAO dengan dosis 10% berat menghasilkan efisiensi pengikatan Zn terbesar.

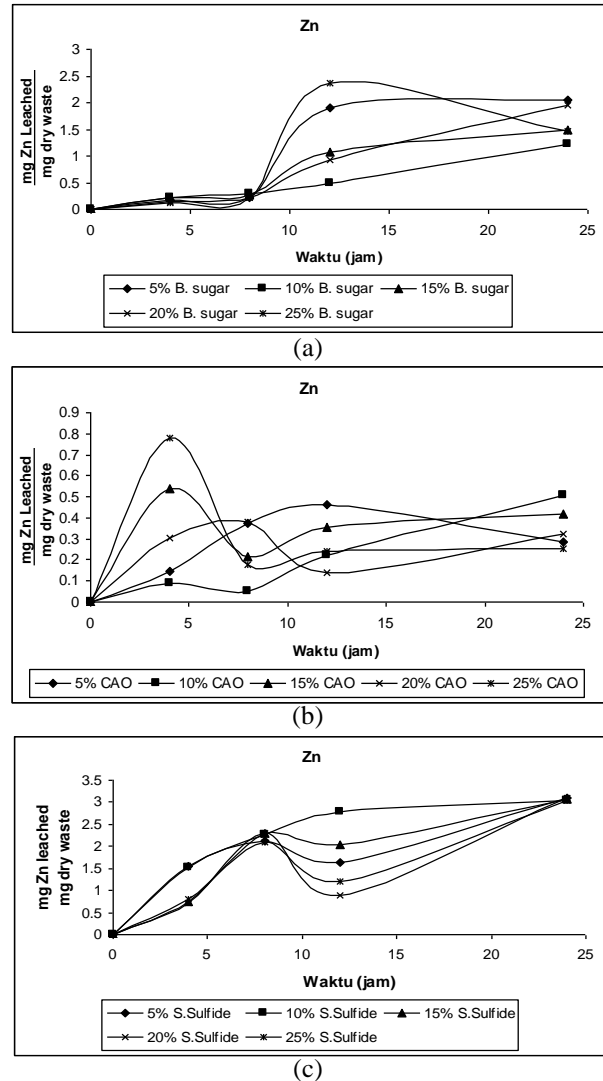


Gambar 3. Fraksi *leached* Ni sebagai Fungsi Waktu dengan *Brown Sugar* (a), CAO (b), dan *Sodium Sulfide* (c)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa CAO mampu mengikat Cu dan Zn dengan efektif dan mampu mengikat Ni dengan persentase terbesar. Sehingga pada percobaan untuk mengetahui potensi pemanfaatan *sludge* dalam pembuatan batako digunakan *stabilizing agent* CAO dengan dosis 5%.

Dosis *stabilizing agent* dapat ditentukan dengan kurva kesetimbangan logam berat yang terlepas dan

banyaknya *stabilizing agent* yang digunakan seperti terlihat pada Gambar 5-8.



Gambar 4. Fraksi *Leached* Zn Sebagai Fungsi Waktu dengan *Brown Sugar* (a), CAO (b), dan *Sodium Sulfide* (c)

Sludge dicampur dengan semen dan pasir dengan variasi persentase berat 5-35% dan *curing time* 10 hari (Tabel 2). Keefektifan *sludge* diuji dengan uji kuat tekan. Batako campuran *sludge* dengan kuat tekan hampir sama dengan batako tanpa *sludge* menunjukkan persentase *sludge* maksimum yang bisa dicampurkan. Hasil uji kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 9.

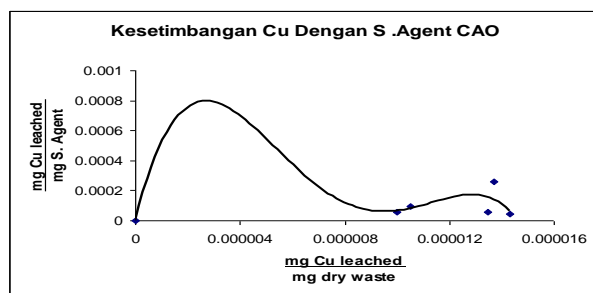
Batako dari semen dan pasir dengan perbandingan 1:4 tanpa *sludge* mempunyai kuat tekan 38 kg/cm². Penambahan *sludge* 5% b/b mengikatkan kekuatan batako turun menjadi 36 kg/cm². Secara ekonomis, semakin banyak *sludge* yang ditambahkan sebagai campuran batako, akan menurunkan biaya produksi. Namun, dari segi

teknik, semakin banyak *sludge* yang ditambahkan, kekuatan batako semakin menurun. Batako dengan 10% *sludge* mempunyai kuat tekan 28 kg/cm² dan

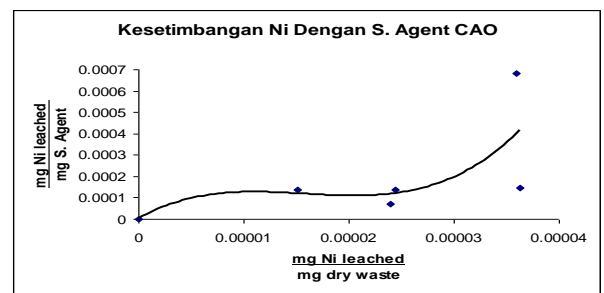
semakin berkurang sampai 2 kg/cm² pada campuran 25%. Batako dengan *sludge* 30 dan 35% tidak bisa diuji kuat tekan karena sangat rapuh

Tabel 1. Kemampuan *Stabilizing Agent* Mengikat Logam Berat dalam *Sludge*

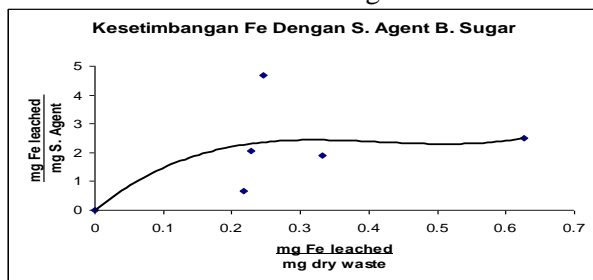
Stabilizing Agent	% Berat S.Agent	Cu			Fe			Ni			Zn		
		C awal (mg/L)	C akhir (mg/L)	%	C awal (mg/L)	C akhir (mg/L)	%	C awal (mg/L)	C akhir (mg/L)	%	C awal (mg/L)	C akhir (mg/L)	%
B.Sugar	5	6,06	0,47	92,3	35049	7031	79,9	1,308	1,302	0,4	31,04	2,27	92,7
	10	6,06	0,32	94,6	35049	6494	81,5	1,308	1,249	4,5	31,04	2,94	90,5
	15	6,06	0,71	88,2	35049	9497	72,9	1,308	1,301	0,5	31,04	2,78	91,1
	20	6,06	0,37	93,8	35049	17909	48,9	1,308	1,305	0,2	31,04	2,30	92,6
	25	6,06	0,67	88,9	35049	6205	82,3	1,308	1,307	0,1	31,04	2,31	92,6
CAO	5	6,06	0,39	93,5	35049	22603	35,5	1,308	1,028	21,4	31,04	4,60	85,2
	10	6,06	0,30	95,0	35049	20671	41,0	1,308	0,431	67,1	31,04	0,52	98,3
	15	6,06	0,28	95,3	35049	20313	42,0	1,308	0,697	46,7	31,04	4,16	86,6
	20	6,06	0,38	93,6	35049	15492	55,8	1,308	1,037	20,7	31,04	3,83	87,7
	25	6,06	0,41	93,2	35049	18212	48,0	1,308	0,684	47,7	31,04	2,56	91,7
S.Sulfide	5	6,06	1,09	82,0	35049	17492	50,1	1,308	0,601	54,1	31,04	16,27	47,6
	10	6,06	2,24	63,0	35049	19411	44,6	1,308	0,376	71,3	31,04	30,42	2,0
	15	6,06	2,10	65,4	35049	26168	25,3	1,308	0,341	73,9	31,04	20,34	34,5
	20	6,06	3,85	36,5	35049	17988	48,8	1,308	1,307	0,04	31,04	8,85	71,5
	25	6,06	2,11	65,2	35049	32047	8,6	1,308	1,304	0,3	31,04	11,92	61,6



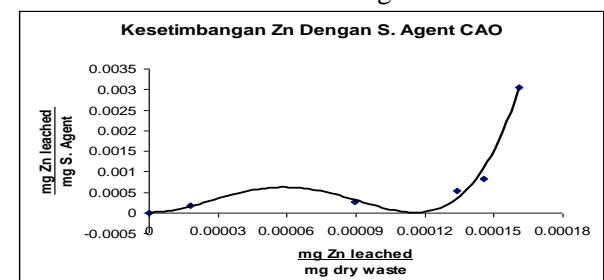
Gambar 5. Kurva Kesetimbangan Ekstraksi Cu



Gambar 7. Kurva Kesetimbangan Ekstraksi Ni



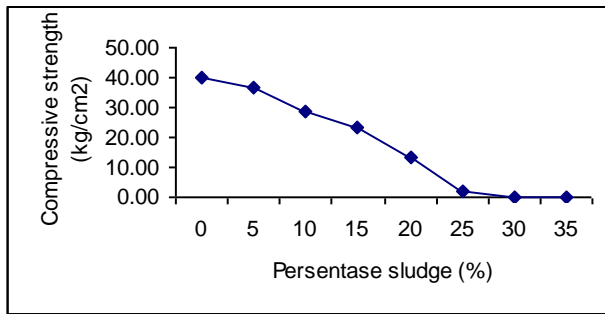
Gambar 6. Kurva Kesetimbangan Ekstraksi Fe



Gambar 8. Kurva Kesetimbangan Ekstraksi Zn

Tabel 2. Variasi Komposisi *Sludge* Untuk Pembuatan Batako Dan Hasil Uji Kuat Tekan

Kode	Sludge (% berat)	Semen (% berat)	Pasir (% berat)	Berat (kg)	Beban max (kN)	Tegangan hancur (kg/cm ²)
1.1	0	20	80	0,901	38	38,78
1.2	0	20	80	0,893	40	40,82
2	5	20	75	0,881	36	36,73
3	10	20	70	0,805	28	28,57
4.1	15	20	65	0,841	24	24,49
4.2	15	20	65	0,823	22	22,45
5.1	20	20	60	0,801	10	10,20
5.2	20	20	60	0,816	16	16,33
6	25	20	55	0,789	2	2,04
7	30	20	50	0,698	-	-
8	35	20	45	0,645	-	-



Gambar 9. Hasil Uji Kuat Tekan Pada Beberapa Variasi Persentase *Sludge*

Batako dengan campuran 5% *sludge* dapat digunakan untuk menggantikan fungsi batako tanpa *sludge* misalnya untuk jalan yang banyak dilalui kendaraan bermotor. Sedangkan batako dengan campuran 10% lebih baik digunakan untuk pelapisan jalan tanpa beban terlalu besar, misalnya untuk pejalan kaki. Batako yang mengandung lebih dari 10% *sludge* tidak layak digunakan karena mudah hancur bila diberi beban.

4. KESIMPULAN

Sludge yang mengandung logam berat dapat distabilkan dengan menggunakan stabilizing agent tertentu. *Stabilizing agent* yang sesuai adalah CAO untuk Cu, Ni, dan Zn, serta *brown sugar* untuk Fe. Jumlah % berat *stabilizing agent* yang ditambahkan, tidak berpengaruh terhadap kestabilan logam yang terkandung dalam *sludge*. *Sludge* yang sudah distabilkan dapat digunakan untuk campuran pembuatan batako dengan penambahan maksimum 10% b/b berdasarkan hasil uji kuat tekan batako. Penambahan *sludge* dengan kadar hanya 10% b/b mungkin tidak efektif untuk praktek lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

Bankowski, P., L. Zou, dan R. Hodges. (2004). **Reduction of Metal Leaching in Brown Coal Fly Ash Using Geopolymers.** Journal of Hazardous Materials. 114. 59-67.

Huang, W.J. and J.S. Lo. (2004). **Synthesis and Efficiency of new Chemical Fixation Agent for Stabilizing MSWI fly ash.** Journal of Hazardous Materials. 112. 79-86.

Jianguo, J., W. Jun, X. Xin, D. Zhou, dan Z. Yan. (2004). **Heavy Metals Stabilization in Municipal Solid Waste Incineration Fly Ash Using Heavy Metal Chelating Agents.** Journal of Hazardous Materials 113. 141-146.

Lu, R.S., Shang Lien Lo, dan Chi Chi Lin. (2004). **Solidification/Stabilization of Copper and Zinc Containing Sludge using Synthetic Reagent.** The 13th Joint Kaist-Kyoto-NTU-NUS Symposium on Environmental Engineering. June 17-18, 2004, Singapore.

Okuno, N. dan S. Takahashi. (1997). **Full Scale Application of Manufacturing Bricks from Sewage.** Water Science and Technology 36. 243-250.

Park, C. K. (2000). **Hydration and Solidification of Hazardous Wastes Containing Heavy Metals Using Modified Cementitious Materials.** Cement and Concrete Research 30. 429-435.

Thay, J. H. dan K.Y. Show. (1997). **Resource Recovery of Sludge as a Building and Construction Material-a Future Trend in Sludge Management.** Water Science and Technology 36. 259-266.

Wentz, C. A., **Hazardous Waste Management Second Edition,** McGraw Hill, New York, 1995.

Wiebusch, B. dan C.F. Seyfried. (1997). **Utilization of Sewage Sludge Ashes in the Brick and Tile Industry.** Water Science and Technology 36. 251-258.

Zhao, Y., L. Song, dan G. Li. (2002). **Chemical Stabilization of MSW Incinerator Fly Ashes.** Journal of Hazardous Materials 95. 47-63.