

PENGARUH KROM(III), TIMBAL, TEMBAGA(II)
TERHADAP PERPADUAN DAN Pengerasan SEMEN
DAN KLINKER¹⁾

(THE EFFECT OF CHROMIUM(III), LEAD, COPPER(II)
ON SETTING AND HARDENING OF CEMENT ON CLINKER)

Dasli Noerdin
Jurusan Kimia, FMIPA Universitas Andalas
Kampus Limau Manih, Padang 25163

ABSTRACT

The effect on setting and hardening of cement and clinker mortar by $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ and $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ as admixtures have been investigated. Four levels of admixtures, 0.01, 0.10, 0.50 and 1.00 % by weight of cement and clinker, were added. The results indicated that the three admixtures increased the setting and the compressive strength of the mortars.

Analysis of the aqueous phases, both of cement and clinker slurries, showed that Cr^{3+} , Pb^{2+} and Cu^{2+} were sorpted by cement and clinker. Therefore cement and clinker were supposed to be used for regulating heavy metals waste.

PENDAHULUAN

Pengaruh admixture kimia terhadap sifat-sifat fisik dan sifat mekanik pasta, mortar dan beton merupakan topik yang sangat luas diteliti orang pada sepuluh tahun terakhir ini. Dason, Vance H and Hayden, Thomas D., (1989) telah meneliti pengaruh CaSO_4 anhidrat, sebagai pengganti gipsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dalam perpaduan semen. Telah dilaporkan pula oleh Rossenberg, Arnold M (1989), bahwa silika (silica fume) dapat mempertinggi daya (kuat) tekan beton, tidak memperbesar berat jenis beton, akan tetapi memperkuat ikatan antara pasta dan agregat. Fattuhi, Nijad I., Hughes, Barry P. (1989), memperlakukan pasta, mortar dan semen dengan berbagai admixture, seperti polivinil alkohol latek (stiren batiadina) dengan mengamati perubahan berat terhadap waktu sampai 93 hari. Ternyata bahwa polivinil alkohol memperbesar daya tahan terhadap serangan asam

¹⁾ Biaya dan fasilitas penelitian ini berasal dari PT. SEMEN PADANG sebagai realisasi kerjasama antara Universitas Andalas dengan PT. SEMEN PADANG

sulfat. Zivica, Vladimir (1993), meneliti pengaruh admixture silika-alkali (admixture SA) terhadap sifat-sifat mortar. Ditemukan bahwa admixture SA memperbesar daya tekan mortar yang dibuat dari semen portland dan uap silika. Penambahan admixture jenis plasticizers dan mikrosilika pada semen menyebabkan menurunnya konsistensi dan memperlambat perpaduan pada temperatur lebih tinggi. Hal ini diselidiki oleh Alshmi, A.M., Sabouni, A.R. dan Bushlaibi, A.H., (1993). Regaswamy, N.S., Saraswathy, V., Balakrishnan, K., (1992) meneliti pengaruh admixture inhibitor terhadap proses korosi rangka besi semen (beton). Ternyata penambahan admixture inhibitor bisa meproteksi korosi rangka besi dalam buhur semen yang mengandung HCl 6%.

Menurut Uchikawa *et al.*, (1992), penambahan admixture organik yang mempunyai gugus fungsi menyebabkan terbentuknya kompleks antara admixture itu dengan ion Ca^{2+} dalam fasa air sehingga menurunkan konsentrasi ion Ca^{2+} dalam fasa air pada waktu perpaduan awal. Legrand, C., Wirquin, E., (1994), mempelajari kekuatan beton muda bila ditambahkan admixture super-plasticizers. Menurut mereka, selama periode dormant, kuat tekan bertambah. T. Matusinovic dan D. Curlin, (1993), telah meneliti garam litium sebagai aselerator perpaduan semen alumina tinggi. Dari penelitian yang telah dilakukan ternyata bahwa garam alkali yang sama menyebabkan percepatan perpaduan semen alumina tinggi menurut urutan $Cs > Rb > K > Na > Li$.

Sunil Kumar dan C.V.S. Kamiswara Rao (1994), telah mempelajari pengaruh natrium, kalsium, amonium dan magnesium sulfat terhadap waktu perpaduan dan kekuatan beton. Mereka menyimpulkan bahwa waktu perpaduan semen bertambah besar dengan bertambahnya konsentrasi sulfat dan mencapai maksimum pada konsentrasi kira-kira 3000 ppm. Di atas 3000 ppm, waktu perpaduan awal menurun, sedangkan waktu perpaduan akhir tetap. Ternyata pula bahwa keempat macam garam di atas menyebabkan penurunan kuat tekan. Pengaruh kadmium terhadap hidrasi C_3A telah dipelajari oleh Peter J. Tumidajski dan Margaret L. Thomson (1994). Adanya kadmium selama proses hidrasi C_3A memperlambat terbentuknya C_3AH_6 sehingga memperpanjang waktu hidrasi. Kadmium terperangkap secara fisika di dalam matrik hidrasi C_3AH_6 dalam bentuk $Cd(OH)_2$. Selain berfungsi sebagai admixture terhadap semen, ion logam-logam berat tersebut ternyata sekaligus diikat oleh semen. Hal ini antara lain telah dilaporkan oleh E.F. Barth *et al.* (1993), yang telah melakukan solidifikasi limbah yang mengandung kation-kation logam beracun dengan semen portland. K.M. Campbell *et al.* (1982), juga telah melakukan stabilisasi kadmium dan timbal dengan pasta semen portland. Kemudian solidifikasi limbah beracun yang mengandung sianida, diteliti oleh C.D. Hills, C.J. Solars dan R. Perry (1994).

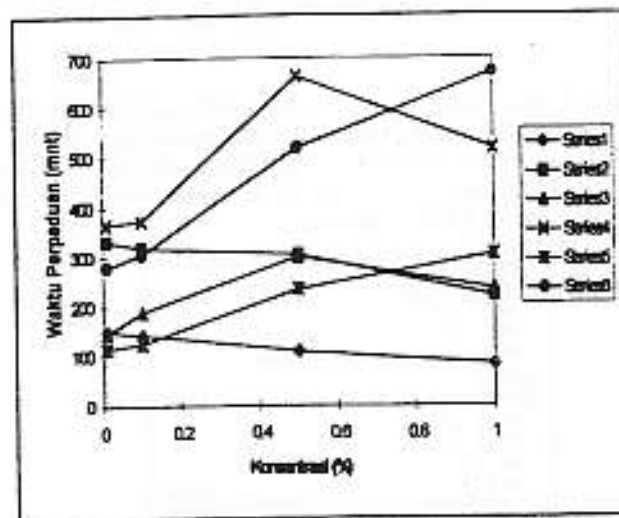
Berdasarkan hal-hal di atas maka dalam penelitian ini akan ditelaah pengaruh admixture $Cr(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$, $Pb(NO_3)_2$, dan $Cu(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$ terhadap proses perpaduan dan pengerasan semen dan klinker. Disamping itu juga akan diteliti kemampuan semen dan klinker untuk menyerap ion-ion Cr^{3+} , Pb^{2+} dan Cu^{2+} , dengan menganalisis sisa ketiga ion ini dalam fasa air slurri semen dan klinker tersebut.

PERCOBAAN

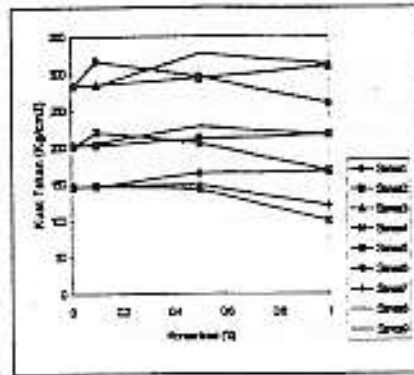
Semen dan klinker yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen dari PT. Semen Padang. $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ dan $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (analytical grade) digunakan sebagai admixture dengan perbandingan admixture-semen/klinker (A/S,K) sebesar 0,01; 0,10; 0,50 dan 1,00%. Waktu perpaduan (awal-akhir) pasta semen dan klinker ditentukan dengan alat vicat dan kuat tekan mortar umur 3,7 dan 28 hari dengan mesin uji tekan hancur.

HASIL DAN DISKUSI

Gambar 1. menunjukkan bahwa penambahan 0,01-0,5 persen admixture $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, menaikkan waktu perpaduan awal dan mencapai maksimum pada penambahan 0,50 persen. Pada konsentrasi 1,00 persen waktu perpaduan menurun kembali. Untuk admixture $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ waktu perpaduan naik terus dari 115-305 menit dan 280-670 menit dengan konsentrasi tembaga(II) dari 0,01 sampai dengan 1,00%.

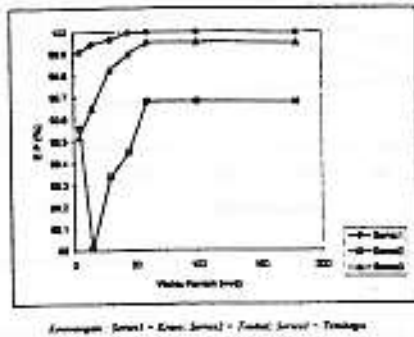


Gambar 1. Pengaruh krom, timbal dan tembaga terhadap perpaduan awal dan akhir. Series 1, 2, 3, 4, 5 dan 6 menunjukkan pengaruh konsentrasi krom(III), timbal dan tembaga(II) terhadap waktu perpaduan awal dan akhir semen. Perpaduan awal blanko = 145 menit.



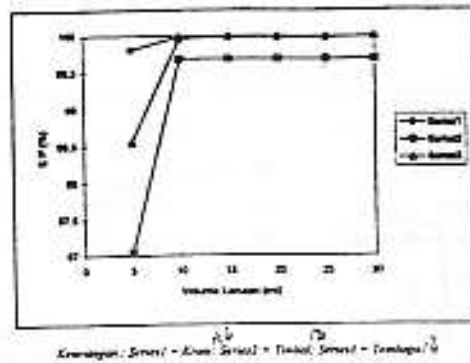
Gambar 2. Pengaruh $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$; $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ dan $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ terhadap daya tekan mortar semen. Kuat tekan kontrol 3,7 dan 28 hari = 146,5; 201,5 dan 284 kg/cm^2 . Series 1, 2 dan 3 = kuat tekan rata-rata mortar semen umur 3,7 dan 28 hari dengan admixture krom(III), series 4, 5 dan 6 = kuat tekan rata-rata mortar umur 3,7 dan 28 hari dengan adanya admixture timbal dan series 7, 8 dan 9 = kuat tekan rata-rata mortar dengan adanya admixture tembaga(II).

Dari Gambar 2 bisa dilihat bahwa untuk $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ dan $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 0,01 dan 0,10%, kekuatan tekan mortar umur 3, 7 dan 28 hari hampir tidak berubah dan penambahan 0,50-1,00% $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ kuat tekan mortar 3, 7 dan 28 hari naik, untuk $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ kuat tekan mortar 3, 7 dan 28 hari turun dan untuk $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ juga turun.



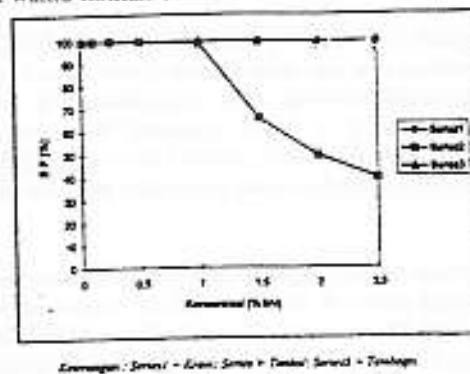
Gambar 3. Pengaruh waktu kontak terhadap efisiensi penyerapan (EP) Cr^{3+} , Pb^{2+} dan Cu^{2+} oleh klinker. Series 1, 2 dan 3 menunjukkan krom, timbal dan tembaga.

Dari Gambar 3 terlihat bahwa Cr^{3+} (1,5%) hampir terserap seluruhnya pada waktu kontak 45 menit dan Pb^{2+} (1,0%) pada waktu kontak 60 menit terserap sampai 98,68% dan Cu^{2+} (1,0%) terserap hampir 100% (99,99%) pada waktu 60 menit oleh 1 gram semen.



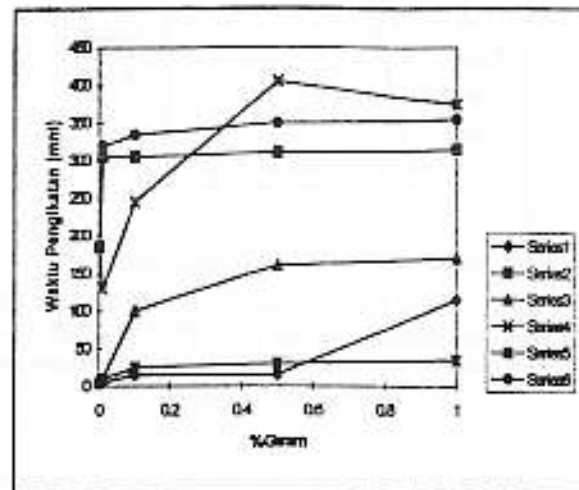
Gambar 4. Pengaruh volume larutan krom(III), Pb dan tembaga (II) terhadap efisiensi penyerapan rata-rata Cr^{3+} , Pb^{2+} dan Cu^{2+} oleh 1 gram semen dengan waktu kontak 45,60 dan 60 menit. Series, krom 1,5%, series 2, timbal 1% dan series 3, tembaga 1%.

Gambar 4. menunjukkan bahwa untuk Cr^{3+} (1,5%) dengan waktu kontak 45 menit, volume 10 ml, efisiensi penyerapan mencapai 99,98%. Untuk Pb^{2+} (1,0%) efisiensi penyerapan mencapai 99,68% dengan waktu kontak 60 menit dan volume 10 ml, sedangkan untuk Cu^{2+} (1,0%) penyerapan tertinggi terjadi pada volume larutan 15 ml dan waktu kontak 60 menit.



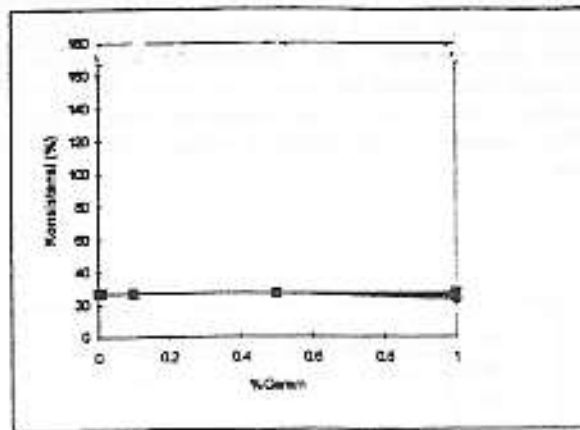
Gambar 5. Pengaruh konsentrasi krom(III), timbal dan tembaga(II) terhadap efisiensi penyerapan Cr^{3+} , Pb^{2+} dan Cu^{2+} oleh 1 gram semen. Series 1, 2 dan 3 menunjukkan krom, timbal dan tembaga.

Tertlihat dari Gambar 5, bahwa Cr^{3+} diserap paling besar pada konsentrasi 2,5%, dengan efisiensi penyerapan sebesar 99,99%. Pb^{2+} diserap paling besar pada konsentrasi 1,00% yakni sebanyak 98,70% dan Cu^{2+} terserap maksimum pada konsentrasi 1,50% yakni sebesar 99,63%.



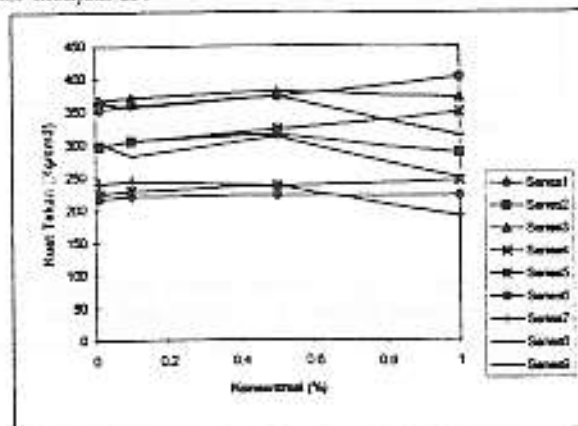
Gambar 6. Pengaruh $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, dan $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ terhadap perpaduan awal dan akhir klinker. Series 1 dan 2 – kurva pengaruh % krom(III) terhadap waktu perpaduan awal dan akhir klinker, series 3 dan 4 – kurva pengaruh % timbal terhadap waktu perpaduan awal dan akhir, series 5 dan 6 menunjukkan pengaruh % tembaga(II) terhadap waktu perpaduan awal dan akhir klinker.

Gambar 6 menunjukkan bahwa dengan bertambahnya konsentrasi krom(III) waktu perpaduan (pengikatan) awal naik dari 5 menjadi 115 menit dan waktu perpaduan akhir klinker naik dari 185 menjadi 315 menit. Pertambahan konsentrasi timbal dalam klinker menyebabkan waktu perpaduan naik dari 5 menjadi 170 menit dan waktu perpaduan akhir naik dari 185 menjadi 375 menit. Sedangkan tembaga(II) menaikkan waktu perpaduan awal dari 5 menjadi 35 menit dan perpaduan akhir dari 185 menjadi 355 menit.



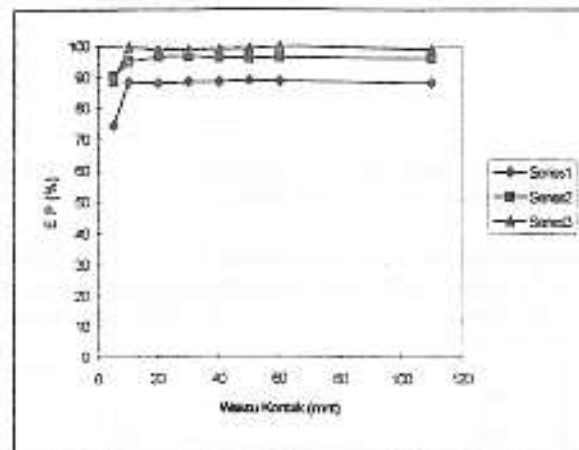
Gambar 7. Pengaruh $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ dan $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ terhadap konsistensi normal bubuk klinker.

Gambar 7 memperlihatkan bahwa penambahan 0,01, 0,10 dan 0,05% Cr^{3+} , Pb^{2+} dan Cu^{2+} terhadap klinker tidak mempengaruhi konsistensi normal. Penambahan larutan Cr^{3+} , Pb^{2+} dan Cu^{2+} dengan konsentrasi 1,00% menurunkan konsistensi normal klinker menjadi 23.



Gambar 8. Pengaruh konsentrasi admixture $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ dan $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ terhadap kuat tekan mortar klinker umur 3,7 dan 28 hari. Konsentrasi (%) dinyatakan sebagai perbandingan berat admixture terhadap berat admixture + klinker. $W/K = 0,84$, dimana W = massa air dan K = massa klinker + admixture.

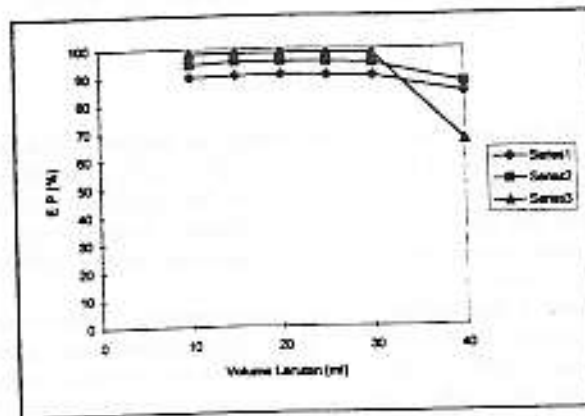
Gambar 8. kurva series 1, 2 dan 3 menunjukkan kuat tekan mortar klinker 3,7 dan 28 hari dengan adanya $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, series 4, 5 dan 6 menunjukkan kuat tekan mortar klinker umur 3,7 dan 28 hari dengan adanya $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Terlihat bahwa untuk umur mortar 3 hari, penambahan konsentrasi ketiga macam admixture hampir tidak menaikkan kuat tekan mortar. Pada umur mortar 7 dan 28 hari terlihat bahwa kuat tekan maksimum dicapai pada penambahan $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ sebanyak 0,50%, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ sebesar 1,00% dan $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ sebesar 0,50%.



Keterangan : Series1 = Timbal; Series2 = Tembaga; Series3 = Krom

Gambar 9. Pengaruh waktu kontak terhadap efisiensi penyerapan (EP) Cr^{3+} , Pb^{2+} dan Cu^{2+} oleh 1 gram bubuk klinker. Konsentrasi awal larutan Cr^{3+} dan Cu^{2+} adalah 4% dan larutan Pb^{2+} sebesar 2,5%. Series 1, 2 dan 3 menunjukkan krom, timbal dan tembaga.

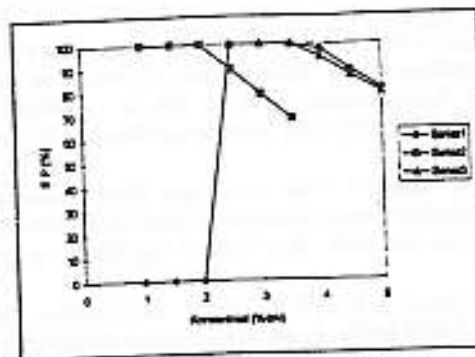
Gambar 9 menunjukkan bahwa pada berbagai waktu kontak (5 - 110 menit) Cr^{3+} , Pb^{2+} dan Cu^{2+} diserap dengan baik oleh bubuk klinker. Penyerapan maksimum ketiga ion logam di atas (Cr^{3+} , Pb^{2+} dan Cu^{2+}), dicapai pada waktu kontak 60,50 dan 30 menit.



Keterangan: Series1 = Timbal, Series2 = Tembaga, Series3 = Krom

Gambar 10. Pengaruh volume larutan krom, timbal dan tembaga terhadap efisiensi penyerapan (EP) Cr³⁺, Pb²⁺ dan Cu²⁺. Series 1, 2 dan 3 menunjukkan kurva timbal, tembaga dan krom.

Dari Gambar 10 ternyata bahwa Cr³⁺ dan Cu²⁺ 4,00% dengan volume 10-30 ml efisiensi penyerapan oleh 1 gram klinker mencapai 95% lebih dan untuk Pb²⁺ 2,00% terserap kira-kira 90%.



Keterangan: Series1 = Krom, Series2 = Timbal, Series3 = Tembaga

Gambar 11. Pengaruh konsentrasi larutan timbal, tembaga dan krom terhadap efisiensi penyerapan. Waktu kontak 20 menit dan volume larutan 10 ml. Series 1, 2 dan 3 menunjukkan kurva serapan timbal, tembaga dan krom.

Gambar 11 memperlihatkan sampai dengan konsentrasi 2,0% Pb^{2+} , 3,5% Cr^{3+} dan 3,5% Cu^{2+} bisa diserap hampir 100%. Pada konsentrasi lebih tinggi efisiensi penyerapan menurun, Pb^{2+} 68,56%, Cu^{2+} 79,23% dan Cr^{3+} 80,97%.

DISKUSI

Dari percobaan dan penelitian yang telah dilakukan ternyata bahwa penambahan admixture $Cr(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$, $Pb(NO_3)_2$ dan $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$ kepada semen dan klinker (bubuk) mempengaruhi proses perpaduan dan pengerasan. Dari analisis fasa air slurri semen dan slurri klinker yang diperlakukan dengan larutan Cr^{3+} , Pb^{2+} dan Cu^{2+} ternyata semen dan klinker bisa digunakan sebagai sorben terhadap ion-ion logam di atas.

Dari Gambar 1 dan Gambar 6 terlihat waktu perpaduan awal dan akhir semen dan klinker menjadi bertambah naik akibat penambahan ketiga garam di atas sebagai admixture. $Cr(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ 0,01-0,10% tidak menyebabkan naiknya waktu perpaduan awal dan akhir, sedangkan pada konsentrasi 0,50-1,00% waktu perpaduan awal dan akhir menjadi turun. Hal ini barangkali disebabkan dalam larutan (fasa air) yang bersuansa basa (pH 12-12,5) partikel koloid $Cr(OH)_3$ terlarut kembali (hidroksida amfoter).

$Pb(NO_3)_2$ bersifat sebagai retarder. Hal ini sesuai dengan kesimpulan Thomas, N.L. dan Double, D.D., 1981, menyimpulkan bahwa $Pb(NO_3)_2$ berperan sebagai retarder. Sifat retarder ini diduga disebabkan Pb^{2+} dengan SO_4^{2-} dari gips membentuk $PbSO_4$ sulit larut yang membungkus partikel-partikel semen dan klinker. Pada konsentrasi $Pb(NO_3)_2$ 1,00% ternyata waktu perpaduan turun kembali, akan tetapi masih jauh lebih tinggi dari waktu perpaduan semen kontrol (tanpa adanya Pb).

$Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$ 0,01-0,10% menyebabkan naiknya waktu perpaduan awal dan akhir. Waktu perpaduan (awal, akhir) dengan admixture ini naik dengan linear dengan kenaikan konsentrasinya. Diduga hal ini disebabkan terbentuknya hidroksida sulit larut $Cu(OH)_2$, yang melapisi partikel-partikel butiran semen dan klinker.

Gambar 2 dan Gambar 8 serta Tabel 2 dan Tabel 8 menunjukkan kekuatan tekan semen dan klinker hampir konstan (kuat tekan mortar umur 3 hari dan 7 hari) dan naik sedikit dari kuat tekan kontrol bagi klinker pada umur 7 dan 28 hari.

Selanjutnya Gambar 3, 4, 5, 9, 10 dan 11 menunjukkan bahwa logam (ion) $Cr(III)$, $Pb(II)$ dan $Cu(II)$ terikat dalam matrik semen dengan klinker sampai 99% lebih. Ini berarti bahwa semen dan klinker dapat digunakan sebagai pengendali ion-ion logam berat ini (Cr, Pb dan Cu) dan diharapkan pula juga bisa digunakan untuk logam-logam beracun lainnya. Diduga untuk ion Cr^{3+} , Pb^{2+} dan Cu^{2+} berlangsung dua mekanisme. Pertama ion Cr^{3+} dan Pb^{2+} dalam pH 12,5 (sangat basa) akan tetap berada dalam bentuk ion hingga terserap pada permukaan butiran semen dan klinker ion-ion ini terperangkap dalam matrik padat. Ion Cu^{2+}

disamping terikat pada permukaan butiran semen dan klinker yang mempunyai aktive-site negatif, sebagian lagi membentuk hidroksida sulit larut $\text{Cu}(\text{OH})_2$, yang ikut mengendap (kopresipitasi) atau terperangkap (oklusi) pada saat perpaduan dan pengerasan semen. Diharapkan terikatnya logam-logam ini dan terperangkapnya di dalam matrik semen dan klinker saat perpaduan dan pengerasan, akan stabil. Dengan demikian, semen atau klinker akan sangat efektif digunakan untuk mengendalikan serta mengamankan limbah logam berat.

Dan sebagaimana telah dijelaskan dibagian pendahuluan laporan ini, bahwa dalam 25 tahun terakhir ini pemadatan limbah beracun seperti logam berat sianida dan limbah lain dilakukan dengan semen. Diantara peneliti yang telah melaporkan hasil penelitiannya dalam 5 tahun terakhir ini adalah E.F. Barth et al., (1990), K.M. Campbell et al., dan C.D. Hills, C.S. Sollars dan R. Peray (1994). Dari penelitian mereka ternyata logam-logam berat yang sudah terikat dalam semen, terikat dengan stabil.

Oleh karena itu, penanggulangan limbah logam berat dan limbah kimia lainnya diperkirakan bisa distabilkan dengan semen. Dan diperkirakan pula semen pozzolan, yakni campuran 80% pozzolan dan 20% kapur bisa digunakan untuk memadatkan dan menstabilkan limbah.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan serta kupasan dan publikasi sebelumnya yang relevan dengan penelitian ini, dapat disimpulkan hal-hal berikut.

1. Penambahan admixture $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ dan $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ sebesar 0,01% terhadap berat semen dan klinker tidak menyebabkan naiknya waktu perpaduan.
2. Penambahan $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ sebesar 0,10 dan 0,50% memperbesar waktu perpaduan dan 1,00% menurunkan kembali waktu perpaduan, akan tetapi waktu perpaduan di sini masih jauh lebih besar dari waktu perpaduan kontrol.
3. $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ juga memperbesar waktu perpaduan semen dan klinker.
4. Semen dan klinker diduga bisa digunakan untuk memadatkan limbah logam-logam berat dan senyawa kimia lainnya.
5. Diperkirakan semen pozzolan yang dinaikkan kekuatannya dapat pula digunakan untuk memadatkan/menstabilkan limbah kimia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh PT. SEMEN PADANG melalui kerjasama dengan Universitas Andalas. Pengarang mengucapkan terima kasih kepada Direktur Limbah PT. SEMEN PADANG.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhter, H., Cardledge, F.K., et al. 1993. *Cem. Conc. Res.*, 23, 833-842.
- Alshmi, A.M., Sabouni, A.R., Bushlaibi, A.H. 1993. *Cement and Concrete Res.*, 23, 3, 592-598.
- Bart, E.F., et al. 1990. *Stabilization and Solidification of Hazardous Wastes*, Noyes Data Corp., Park Ridge, New Jersey.
- Campbell, K.M., et al. 1987. *Environ. Prog.*, 6, 99-103.
- Duson, Vance H., Hayden, Thomas D. 1989. *Cement, Concrete and Aggregates*, 11, 1, 52-56.
- Fattuhi, Nijad I., Hughes, Barry P. 1989. *ACI Material Journal*, 85, 6, 512-518.
- Hills, C.D., Sollars, C.J., and Perry, R. 1994. *Cem. Conc. Res.*, 24, 4, 707-714.
- Legrand, C., Wirquin, E. 1994. *Mat. Struc.*, 27, 27, 106-109.
- Matusinovic, T., Curlin, D. 1993. *Cem. Conc. Res.*, 23, 885-895.
- Regaswamy, N.S., Saraswaty, V., Balakrishnan, K. 1992. *J. Ferrocement*, 22, 4, 359-371.
- Rosenberg, Arnold M., Gaidis, James M. 1989. *Design and Construction*, 11, 4, 31-36.
- Suni Kumar, Kameswara Rao, C.V.S. 1994. *Cem. Conc. Res.*, 24, 7, 1237-1244.
- Tumidajski, Peter J., Thomson, Margaret L. 1994. *Cem. Conc. Res.*, 24, 7, 1359-1327.
- Uchikawa, Hiroshi, Hanehara, Shunsuke, Shirasaka, Tokuhiko, Sawaki, Daisuke. 1992. *Cem. Con. Res.*, 22, 6, 1115-1129.
- Zivica, Vladimir. 1989. *Cement and Concrete Res.*, 23, 5, 1215-1222.