

SOLIDIFIKASI DAN STABILISASI BAHAN BUANGAN KERAK BAJA DARI INDUSTRI BAJA MALAYSIA

SOLIDIFIKASI AND STABILIZATION OF STEEL SLAG IN MALAYSIA'S INDUSTRIAL STEEL

Salmiati Muhd. Yunus¹⁾, Mohd. Razman Salim¹⁾, Yusof Ahmad¹⁾,
Ahmad Mahir Makhtar¹⁾ dan Dewi Dwirianti²⁾

¹⁾ Universiti Teknologi Malaysia, 81310 Skudai - Johor Bahru, Malaysia

²⁾ Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS Surabaya

email: salmi_mys@yahoo.com

Abstrak

Penelitian dilakukan untuk menguji kemampuan bahan buangan kerak baja dari industri baja lokal di Malaysia, sebagai beton melalui metode solidifikasi/stabilisasi (S/S). Pengujian yang dilakukan adalah uji kuat tekan dan *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP). Ion-ion yang diuji adalah Cd, Cu, Cr³⁺, Cr⁶⁺, Fe, Pb, Mn, S, Zn dan Ni. Konsentrasi semua ion, setelah melewati prosedur TCLP berada di bawah baku mutu yang ditetapkan oleh Kantor Lingkungan Hidup/Jabatan Alam Sekitar (JAS) Malaysia. Konsentrasi ion Al, Cu, Cr⁶⁺, Fe, Mn dan Ni meningkat pada hasil *leaching* sejalan dengan umur pengerasan. Sedangkan ion Cd dan Pb menurun, dengan meningkatnya umur pengerasan. Berdasarkan uji kuat tekan mortar yang mengandung kerak baja lebih kuat daripada mortar kontrol dalam setiap umur pengerasan. Sehingga bahan buangan kerak baja dari industri baja Malaysia dapat dimanfaatkan sebagai bahan alternatif bahan bangunan.

Kata kunci : kerak baja, TCLP, kuat tekan, S/S

Abstract

The study was conducted to test steel's slag wasted from Malaysia's steel industry as concrete using solidification/stabilization method (S/S). The concrete was tested using pressurized test and Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP). Ions that were tested were Cd, Cu, Cr³⁺, Cr⁶⁺, Fe, Pb, Mn, S, Zn and Ni. After TCLP procedure, all ion concentration were under threshold limit issued by the Jabatan Alam Sekitar (JAS) standard. Ion concentration Al, Cu, Cr⁶⁺, Fe, Mn and Ni were increased along with curing age. Meanwhile, Cd and Pb ions were decreased along with curing age. Based on compressive test, mortar that contain steel slag were more stronger than control mortar in every curing age. This research concluded that steel slag in Malaysia's industrial steel could be used as alternative building material.

Keywords : compressive test, S/S, steel slag, TCLP

1. PENDAHULUAN

Pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh bahan buangan yang bersifat toksik dan dibuang ke alam sangat berbahaya. Tidak seperti pencemaran dari bahan organik, bahan buangan yang bersifat toksik umumnya tidak dapat terurai secara biologi dan tidak dapat hilang di lingkungan. Bahan buangan tersebut hanya berpindah bentuk, misalnya dari cairan ke bentuk padatan atau sebaliknya. Bahan buangan yang terolah dan tidak mengandung bahan yang bersifat toksik merupakan tantangan bagi industri, karena adanya kenyataan bahwa pengolahan limbah industri yang bersifat toksik dengan biaya yang rendah tidak selalunya dapat di-

lakukan. Keperluan menstabilkan buangan yang bersifat toksik secara efektif dan ekonomis menghasilkan suatu cara untuk bahan yang tidak lazim yang dapat digunakan (Mashitah dkk, 2000).

Steel slag adalah limbah dari pembuatan baja. *Steel slag* dihasilkan selama proses pemisahan cairan baja dari bahan pengotornya pada tungku-tungku baja. *Steel slag* berbentuk cairan dan merupakan campuran cairan yang terdiri dari silika dan oksida kalsium yang akan ikut mengeras, ketika proses pendinginan.

Pada pembuatan baja, bijih besi atau besi bekas dicairkan dengan kombinasi batu gamping, dolomit

atau kapur. Sejumlah kecil karbon, nikel, mangan dan elemenlain akan membuat besi akan menjadi bermacam-macam baja. Pembuatan baja dimulai dengan penghilangan ion-ion pengotor baja, diantaranya aluminium, silikon dan fosfor. Ion-ion tersebut dapat menyebabkan baja menjadi tidak keras dan rapuh atau sulit untuk dibentuk lembaran-lembaran baja. Untuk penghilangan ion pengotor tersebut diperlukan kalsium yang terdapat pada batu kapur. Campuran kalsium dan aluminium, silikon dan fosfor membentuk *steel slag*. *Steel slag* mengambang pada permukaan cairan baja, kemudian dibuang. *Steel slag* mulai terbentuk pada suhu 2700⁰F dan akan terlihat seperti kaca, berbentuk tidak beraturan dan mengeras ketika dingin. *Steel slag* dapat berupa butiran halus sampai berupa balok-balok besar yang sangat keras. *Steel slag* juga mengandung logam berat yang tinggi. Hal ini yang menyebabkan pembuangan *steel slag* secara langsung ke lingkungan sangat berbahaya.

Secara fisik *steel slag* lebih kaku, lebih padat dan keras dibandingkan agregat alami. Sedangkan secara teknik *steel slag* lebih lebih stabil dan tahan terhadap pengelupasan. *Steel slag* sejak tahun 1975 telah digunakan sebagai material jalan raya, juga dapat digunakan sebagai *coarse aggregate*, sebagai bahan dasar *hot mix aspal* dan *portland cement* (Anonim, 1994). Hal ini membuktikan bahwa *steel slag* dapat dimanfaatkan kembali, tetapi ada hal lain yang perlu diwaspadai pada penggunaan kembali *steel slag*.

Perhatian terhadap lingkungan, karena *steel slag* mengandung logam berat dan ada kemungkinan logam berat tersebut dapat terlepas ke lingkungan, jika terpapar terus menerus di lingkungan terbuka (Ye dkk, 1995). Jika terlepas ke lingkungan logam berat akan mencemari tanah, air dan air tanah.

Salah satu pilihan pengolahan dan penghilangan buangan yang bersifat toksik dengan kandungan logam tinggi adalah dengan teknik solidifikasi/stabilisasi (S/S) (Shaaban, 1993). Peraturan yang ketat mengenai penghilangan bahan buangan yang bersifat toksik telah meningkatkan penelitian mengenai metode S/S. S/S adalah proses kimia yang bisa mengubah buangan yang bersifat toksik dengan mengurangkan atau menghilangkan sifat-sifat bahaya bahan buangan tersebut, sehingga tidak mencemari lingkungan (Bonen, 1995).

Proses S/S digunakan untuk mengubah buangan berbahaya menjadi buangan yang tidak berbahaya yang bisa diterima oleh semua pihak dan sesuai dengan peraturan yang berlaku. Teknik ini seringkali digunakan untuk bahan-bahan bangunan yang mempunyai nilai ekonomis, sebagai contoh sebagai bahan pengisi (*filler*) pada beton. Dengan adanya teknik ini, maka akan menghilangkan biaya pengolahan bahan buangan yang mahal dan dapat mengurangi pencemaran tanah (Mean dkk, 1995).

Proses S/S sangat efektif untuk bahan buangan yang sulit dimanfaatkan atau dihilangkan. Proses ini cukup fleksibel dan ekonomis untuk digunakan dalam jumlah besar, khususnya untuk buangan inorganik dan juga lebih menguntungkan untuk buangan yang mengandung ion-ion logam berat. Mekanisme fisik dan kimia dalam proses S/S ini bergantung pada penggabungan, pengikatan, *immobilize* bahan pencemar dan sifat-sifat pemeliharaan. Namun keberhasilannya juga bergantung pada pengikatan bahan-bahan dalam penstabilan dari logam berat sebelum diolah (Mashitah dkk, 2000).

Efektifitas dari stabilisasi tergantung dari bahan-bahan solidifikasi dan juga formasi matriks yang mengikat kontaminan. Banyaknya bahan-bahan organik seperti minyak dan lemak akan menghalangi reaksi solidifikasi dan mengurangi efektifitasnya. Garam-garam terlarut seperti magnesium, timah, seng, tembaga dan tembaga akan menyebabkan retak. Sulfat terlarut juga akan menyebabkan penurunan kemampuan semen dan dapat melepas kontaminan ke lingkungan.

Kerak baja merupakan bahan sampingan dari pembuatan besi dan baja dan dianggap sebagai bahan buangan berbahaya oleh JAS. Bahan buangan ini dapat digunakan sebagai pengganti agregat halus dalam pembuatan beton karena mempunyai sifat-sifat fisik yang hampir sama dengan agregat asli, seperti komposisi, penyerapan air dan keadaan permukaan dari kedua bahan itu (Fenton, 1994). Perbandingan sifat-sifat fisik kerak baja dan kerikil sebagai agregat asli dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Sifat-Sifat Fisik Batu Kerikil

| Kriteria | Kerikil | | |
|---------------------------|---------|---------|--------------|
| | Sungai | Tanah | Bahan galian |
| Rasio perbandingan bentuk | 2,6-2,7 | 2,5-2,6 | 2,5 |
| Penyerapan air (%) | 1,3-1,5 | 1,2-1,6 | 1,1-2,2 |
| Keadaan permukaan | | Kasar | |

Tabel 2. Sifat-Sifat Fisik Kerak Baja

| Kriteria | Kerak Baja | |
|---------------------------|-------------------------|------------------------------|
| | Proses dengan batu bara | Proses dengan tenaga listrik |
| Rasio perbandingan bentuk | 2,2 | 3,4-3,62 |
| Penyerapan air (%) | 1,1-1,6 | 1,1-1,4 |
| Kedadaan permukaan | Sangat kasar | |

Dari Tabel 1 dan Tabel 2 dapat dilihat perbandingan bentuk agregat asli yang berupa kerikil sungai, tanah dan bahan galian dengan kerak baja baik yang berupa proses dengan batubara dan proses tenaga listrik yang mempunyai rasio yang hampir sama sehingga mempunyai arti besarnya hampir sama. Begitu juga dengan sifat fisik kerak baja, persentase penyerapan yang hampir menyerupai agregat asli. Dari sifat-sifat fisik tersebut maka akan diteliti kemungkinan penggunaan kerak baja sebagai pengganti agregat halus dalam mortar dengan proses S/S dari bahan buangan yang mengandung ion-ion logam. Mortar yang telah melalui S/S harus dilakukan uji TCLP untuk kemungkinan digunakan dan aman bagi lingkungan. Prosedur *leaching* dari kerak baja dan kerak baja yang telah distabilkan mengikuti prosedur TCLP yang telah diperkenalkan oleh *United State Environmental Protection Agency* (US EPA). Uji kuat tekan dilakukan sebagai aplikasi penggunaan kerak baja sebagai agregat dalam mortar.

2. METODOLOGI

Bahan yang digunakan yaitu kerak baja yang diambil dari 5 industri baja utama di Malaysia, yaitu pertama Antara Steel Mill Sdn. Bhd., kedua Malayawata Sdn. Bhd., ketiga Perwaja Steel Sdn. Bhd., keempat Southern Steel Bhd., dan kelima Bradken Steel Bhd.

Kerak baja yang digunakan sebagai agregat halus dalam mortar, diayak menurut ukuran yang ditentukan yaitu lolos zona 2. Perbandingan antara semen dengan air adalah 1 : 0,5. Kubus dicetak dengan ukuran panjang, lebar dan tinggi 50 mm untuk uji kuat tekan dan uji TCLP kerak baja sebagai agregat dalam mortar berdasarkan umur pengerasan sampel yang telah ditentukan yaitu 1, 3, 7, 14, 28, 90 dan 180 hari. Mortar kontrol dibuat tanpa menggunakan kerak baja, hanya menggunakan kerikil sungai.

TCLP yang dilakukan dalam penelitian ini terbagi kepada dua jenis yaitu uji *Crushed Block Leaching* (CBL) dan uji *Whole Block Leaching*

(WBL). Uji CBL sama dengan metoda TCLP (Conner, 1990). Prosedur ini dibuat untuk menentukan pergerakan bahan organik dan bukan organik yang hadir di dalam cairan, padatan dan berbagai fase buangan.

Dalam uji CBL ini, sampel dihancurkan sehingga lolos dari ayakan lebih kecil dari 9,5 mm. Kemudian dicampur dalam larutan untuk *leaching* dengan perbandingan 20:1, kemudian dimasukkan ke dalam botol HDPE dan diputar dengan menggunakan *rotary agitator* selama 18 jam pada suhu ruangan secara terus menerus dengan putaran antara 30 hingga 32 putaran per menit (30 ± 2) rpm.

Uji TCLP untuk kerak baja sebagai agregat halus dalam mortar menggunakan ujian WBL. Dalam uji ini, 3 kubus mortar direndam dalam wadah plastik yang berisi larutan *leaching* dengan perbandingan 10:1, pada suhu ruangan selama 24 jam.

Setelah kedua test selesai dilakukan, lindi dari hasil *leaching* tersebut difilter dengan filter kaca dengan ukuran 0,6-0,8 μm , di bawah tekanan 50 psi. Konsentrasi logam berat kemudian dianalisis menggunakan alat Spektrofotometer DR 4000. Logam berat yang dianalisis adalah Cd, Cu, Cr³⁺, Cr⁶⁺, Fe, Pb, Mn, Ni, Zn dan S.

Mesin uji kuat tekan otomatis yang dikenal sebagai MATEST digunakan untuk menentukan nilai kuat tekan dari sampel yang telah dipadatkan di bawah tegangan mekanik. Semua sampel kubus diuji pada umur pengawetan 1, 3, 7, 14, 28, 90 dan 180 hari. Lima sampel dari masing-masing industri akan diuji pada setiap umur pengerasan dan nilai rata-rata daripada pengukuran ini yang digunakan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Solidifikasi logam berat telah dikenal sebagai teknologi alternatif yang dapat diandalkan terhadap pemrosesan buangan berbahaya. Untuk menentukan suatu limbah padatan dapat mencemari lingkungan jika digunakan secara terus menerus atau mengalami olahan (solidifikasi) perlu dilakukan *leaching test* (Reid dan Brookes, 1999). Tabel 3 menunjukkan hasil TCLP kerak baja tanpa solidifikasi dan dengan solidifikasi dalam waktu 24 jam.

Konsentrasi beberapa ion logam pada TCLP kerak baja (tanpa solidifikasi) lebih tinggi jika dibandingkan dengan baku mutu B, Jabatan Alam Sekitar

(JAS), diantaranya adalah Cd, Cr (VI), Pb dan Mn. Sementara itu jika dibandingkan dengan TCLP kerak baja yang mengalami solidifikasi, menunjukkan bahwa konsentrasi ion logam lebih rendah. Dari analisa TCLP logam Cd dan Pb tetap melebihi baku mutu yang telah ditetapkan oleh JAS, sedangkan logam-logam lain masih berada di bawah baku mutu.

Tabel 3. Hasil Analisa TCLP

| Parameter | Kepekatan (mg/L) | | Baku Mutu JAS |
|-----------|--------------------|---------------------|---------------|
| | Tanpa solidifikasi | Dengan solidifikasi | |
| Cd | 0,271* | 0,203* | 0,020 |
| Cu | 0,820 | 0,026 | 1,000 |
| Cr (III) | 0,379 | 0,000 | 1,000 |
| Cr (VI) | 0,650* | 0,003 | 0,050 |
| Fe | 3,532 | 0,134 | 5,000 |
| Pb | 0,994* | 0,842* | 0,500 |
| Mn | 1,790* | 0,467 | 1,000 |
| Zn | 0,860 | 0,085 | 1,000 |
| S | 0,021 | 0,016 | 0,500 |
| Ni | 0,910 | 0,000 | 1,000 |

* yang melebihi baku mutu

Tabel 4 menunjukkan hasil dari pengikatan limbah terhadap TCLP ion logam berdasarkan umur pengawetan. Dari hasil penelitian didapat konsentrasi ion Fe, Cu, Cr³⁺, Cr⁶⁺, Zn dan Ni, semakin bertambah dengan pertambahan umur pengerasan. Akan tetapi, setelah umur 28 hari, konsentrasi ion-ion ini semakin menurun. Bagi ion Cd dan Pb, konsentrasi ion semakin menurun dengan pertambahan umur pengerasan.

Tabel 4. Hasil TCLP Kerak Baja Yang Disolidifikasi

| Parameter | Umur Sampel (mg/L) | | | | | | | |
|-----------|--------------------|--------|--------|---------|---------|---------|----------|--|
| | 1 hari | 3 hari | 7 hari | 14 hari | 28 hari | 90 hari | 180 hari | |
| Cd | 0,1950 | 0,2107 | 0,0557 | 0,0049 | 0,0154 | 0,0037 | 0,0018 | |
| Cu | 0,0268 | 0,0394 | 0,0299 | 0,0320 | 0,2176 | 0,0396 | 0,0603 | |
| Cr (III) | 0,0000 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0003 | 0,0002 | 0,0002 | |
| Cr (IV) | 0,0028 | 0,0042 | 0,0042 | 0,0045 | 0,0092 | 0,0089 | 0,0036 | |
| Fe | 0,1790 | 0,2377 | 0,5370 | 1,8608 | 3,3000 | 2,1223 | 1,1534 | |
| Pb | 0,8590 | 0,8390 | 0,2200 | 0,1444 | 0,2214 | 0,0666 | 0,3076 | |
| Mn | 0,3995 | 0,1840 | 0,3280 | 0,4930 | 0,9160 | 0,6740 | 1,9460 | |
| S | 0,0000 | 0,0016 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0013 | |
| Zn | 0,0794 | 0,0806 | 0,1685 | 0,9105 | 0,9536 | 0,4361 | 0,1496 | |
| Ni | 0,0142 | 0,0070 | 0,0393 | 0,0377 | 0,0540 | 0,0487 | 0,0485 | |

Secara umum, semakin lama umur pengerasan maka semakin rendah konsentrasi ion-ion logam yang terdapat dalam hasil TCLP yang berasal dari kerak baja yang dipadatkan. Nilai yang dihasilkan umumnya berada di bawah baku mutu JAS. Hal ini menunjukkan kemampuan ion logam relatif lebih tinggi untuk berikatan dengan bahan lain setelah waktu 28 hari. Setelah umur pengerasan 90 hari, konsentrasi logam yang tersisa menurun dengan cepat jika dibandingkan dengan umur pengerasan sebelumnya. Menurut Hanna dkk. (1995), di dalam padatan seperti beton, partikel tidak terlarut yang mengandung komponen berbahaya bahan buangan dapat diikat secara kuat di dalam matriks bersifat semen yang terhidrat. Bahan kimia terperangkap dengan kuat dan tidak bergerak, sehingga mengurangi pelepasan ion logam keluar

Perbandingan hasil uji kuat tekan terhadap kubus beton dengan menggunakan kerak baja sebagai agregat halus ditunjukkan pada Tabel 5 dan Gambar 1. Dari hasil uji didapat bahwa penggunaan kerak baja bagi ke-lima industri yang diuji kuat tekan yang dihasilkan melebihi baku mutu. Kuat tekan beton yang tertinggi pada umur pengerasan 3 hari telah mencapai 30,21 N/mm². Demikian halnya dengan kuat tekan umur pengerasan 90 hari, kuat tekan beton tertinggi mencapai 75,64 N/mm², dan nilai ini telah melebihi baku mutu hampir 100%. Akan tetapi pada umur pengerasan 180 hari setengah sampel mengalami penurunan, hal ini berkaitan dengan masa pengerasan beton.

Tabel 5. Hasil Uji Kuat Tekan

| Sampel | Umur Uji (N/mm ²) | | | | | | | |
|----------|-------------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|----------|--|
| | 1 hari | 3 hari | 7 hari | 14 hari | 28 hari | 90 hari | 180 hari | |
| Kontrol | 12,70 | 24,00 | 30,22 | 32,18 | 35,77 | 46,31 | 38,04 | |
| Kilang 1 | 14,45 | 27,44 | 38,37 | 46,80 | 58,15 | 70,39 | 57,21 | |
| Kilang 2 | 15,91 | 29,59 | 31,52 | 43,32 | 44,69 | 57,15 | 58,53 | |
| Kilang 3 | 13,02 | 23,53 | 28,35 | 35,81 | 37,65 | 42,73 | 44,31 | |
| Kilang 4 | 15,49 | 30,21 | 38,64 | 41,55 | 52,40 | 53,90 | 53,01 | |
| Kilang 5 | 14,30 | 26,38 | 38,80 | 51,83 | 60,35 | 75,64 | 46,13 | |

Ket : Kilang 1 = Antara Steel Mill Sdn. Bhd.

Kilang 1 = Malayawata Sdn. Bhd.

Kilang 1 = Perwaja Steel Sdn. Bhd.

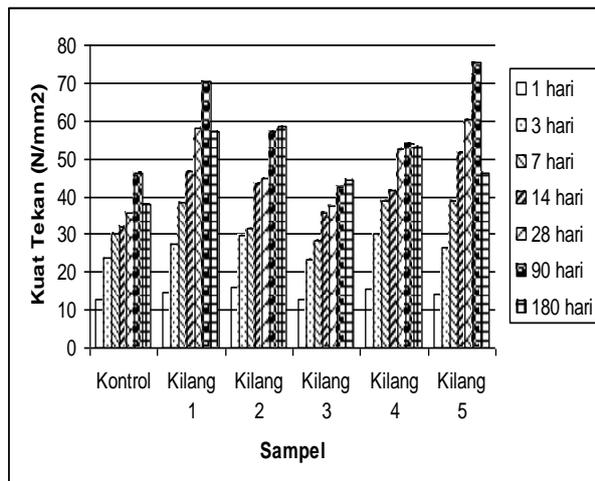
Kilang 1 = Southern Steel Bhd.

Kilang 1 = Bradken Steel Bhd

Menurut Kamarudin (1995), kekuatan adonan beton dicapai dalam waktu 28 hari dan kekuatan akhir disekitar 70%-80% setelah berumur 28 hari. Pertambahan kekuatan setelah masa ini agak per-

lahan bahkan menurun. Akan tetapi, hasil uji ini menunjukkan bahwa kerak baja sesuai digunakan sebagai bahan pengganti agregat halus dalam mortar untuk semua industri baja.

Hasil uji kuat tekan mortar yang menggunakan kerak baja menunjukkan semua hasil kuat tekan berada diatas kontrol (kecuali pada kilang 3 dengan umur mortar 90 hari). Hal ini menguatkan hasil dari sifat fisik kerak baja setara dengan kerikil asli.



Gambar 1. Hasil Uji Kuat Tekan

Dari Gambar 1 terlihat bahwa industri baja Brandken steel mempunyai uji kuat tekan mortar yang paling tinggi yang mempunyai kuat tekan diatas kilang lain. Hal ini disebabkan pada kilang 5 menggunakan proses dengan tenaga listrik, yang menghasilkan sifat fisik kerak baja yang lebih kuat bila dibandingkan dengan proses dengan menggunakan batu bara.

4. KESIMPULAN

Kerak baja cenderung mampu membentuk ikatan dengan semen biasa dalam solidifikasi buangan berbahaya yang mengandung logam berat. TCLP ion logam menjadi semakin rendah dalam umur pengerasan yang lebih lama. Hal ini menunjukkan bahwa ion logam tidak bergerak dalam matriks simen dan aman dibuang ke *landfill*.

Hasil uji kuat tekan kubus beton, didapatkan penggunaan kerak baja sebagai bahan pengganti agregat halus dalam beton memberikan kekuatan yang melebihi kekuatan dari kontrol. Oleh karena itu, industri pembuatan beton dapat mengambil manfaat dari kerak baja yang dihasilkan oleh industri-in-

dustri baja lokal daripada terus membuangnya sebagai bahan buangan yang tidak berguna.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (1994). **The Management of steel Plant Ferruginous By-Product**. International Iron and Steel Institute, Committee on the Environmental Affairs and Committee of Technology, Brussels
- Bonen. (1994). **The Present State of The Art of Immobilization of Hazardous Heavy Metal in Cement-Based Material**. *Advance In Cement And Concrete*.
- Conner, J.R. (1990). **Chemical Fixation and Solidification of Hazardous Wastes**. Van Nostrand Reinhold. New York.
- Fenton, B. (1994). **The Use of Steel Furnace Slag Aggregate in Asphalt The Wollongong Area**. *9th AAPA Internasional Asphalt Conference Proceeding*. Quenland Conference. Australia.
- Hanna, R.A., Buchler, P.M., Cheeseman, C.R., Hills, C.D., Sollars, C.J. dan Perry, R. (1995). **Calcium Hydroxide Formation in Cement-Solidified Industrial Waste**. *Environmental Technology*. Vol. 15. pp. 1001 - 1008.
- Kamarudin, M.Y. (1995). **Pengenalan Kekuatan dan Ketahananlasakan Konkrit**. Dewan Bahasa dan Pustaka. Malaysia.
- Mashitah, M.D., Bakar, A.M.D. dan Vel, M.V. (2000). **Stabilization of Industrial Hazardous Wastes by Oil Palm Mill Incinerator Ash**. *Prosiding Seminar Persekitaran 2000*. Universiti Sains Malaysia. Perak. pp. 195 - 200.
- Means, J.L., Brauning, S.E., Gavaskar, A.R., Mashni, C.I., Nehring, K.W., Sass, B.M., Smith, L.A. dan Wiles, C.C. (1995). **The Application of Solidification/Stabilization to Waste Materials**. Lewis Publishers. Florida.
- Reid, J.M. dan Brookes, A.H. (1999). **Investigation of Lime Stabilised Contaminated**

Material. *Engineering Geology.* Vol. 53.
pp. 217 - 231.

Environmental Engineering of Faculty Civil
Engineering. Universiti Teknologi Malaysia.

Shaaban. Md. (1993). **Stabilization and Solidification (S/S) of Hazardous Wastes Evaluation of Cement-Based Method.** In: Short Course on Solid and Hazardous Waste Management Organized by Department of

Ye. G., Burstrom. E. dan Fallman. A-M., (1995). **Utilization and Stabilization of Steelmaking Slags.** Stockhlom: Swedish Waste Research Council, AFR-Report 57