

KUAT TEKAN DAN PELINDIAN LOGAM BERAT PAVING BLOCK DARI LIMBAH BAHAN BERBAHAYA BERACUN (B3) PENGOLAHAN LOGAM TERKAIT DENGAN STANDAR NASIONAL INDONESIA (SNI)

Compression Strength and Heavy Metal Leaching of Paving Block of Hazardous Material Waste (Metal Processing) Related to the Indonesia National Standard

Nurul Aini Sulistyowati

Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman, Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Jalan Panyawungan Cileunyi Wetan Kabupaten Bandung, Surel: nurulaini657@yahoo.co.id

Diterima: 23 April 2018

Disetujui: 27 September 2018

Abstrak

Bentuk fisik limbah bahan berbahaya beracun (B3), yang menyerupai agregat dapat digunakan sebagai bahan pengganti agregat dalam pembuatan paving block. Eksperimen pembuatan mortar dilakukan dengan 5 komposisi campuran dan 2 persentase limbah pengolahan logam. Pembuatan paving block menggunakan komposisi campuran dengan kuat tekan mortar yang tertinggi. Kuat tekan mortar dan paving block diuji pada umur 28 hari. Pengujian Toxicity Characteristic Leaching Procedure atau TCLP dilakukan pada limbah B3 dan paving block. Analisis kuat tekan dengan membandingkan standar SNI 03-0691-1996 dan analisis Pengujian Toxicity Characteristic Leaching Prosedure dengan Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014. Konsentrasi zat pencemar logam berat yang terlindi dalam paving block limbah pengolahan logam dapat berkurang atau tetap sama dibandingkan dengan limbah pengolahan logam. Demi keamanan lingkungan dan kesehatan manusia, maka diperlukan usulan penambahan persyaratan konsentrasi zat pencemar yang terlindi dalam standar paving block atau membuat standar baru mengenai proses penggunaan limbah B3 untuk paving block.

Kata Kunci: Limbah bahan berbahaya beracun (B3); logam berat: baku mutu; paving block; Standar Nasional Indonesia (SNI)

Abstract

The physical form of hazardous material waste, which resembles the aggregate can be used as an aggregate replacement material in the manufacture of paving block. Mortar-making experiments with 5 mixed compositions and 2 percent of metal processing waste. Manufacture of paving block using mixed composition with the highest mortar compressive strength. Compressive strength testing of paving block and mortar at age 28 days. Testing of Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) is performed on raw materials of hazardous material waste and paving block. Analysis of compressive strength by comparing the SNI 03-0691-1996 standard and Pengujian Toxicity Characteristic Leaching Procedure analysis with Government Regulation no. 101 of 2014. Concentrations of heavy metal pollutants leached in paving block of metal processing waste can be reduced or remain the same compared to metal processing wastes. For environmental safety and human health, it is necessary to add the requirements for the concentration of polluting substances in the standard of paving block or create new standards on the process of use hazardous material waste for paving blocks.

Keywords: Hazardous material; waste heavy metal; quality standards; paving block; Indonesia National Standard

PENDAHULUAN

Kawasan industri logam di Kabupaten Tegal menjadi satu dengan permukiman karena termasuk industri rumah tangga atau industri kecil. Terdapat dua industri rumah tangga yaitu industri peleburan logam dan industri pengecoran logam. Bahan baku

yang digunakan antara lain timah, kuningin, tembaga dan aluminium. Bahan baku bekas *chasing hand phone*, bekas pintu, bekas sabuk dan bahan baku rongsokan lainnya. Proses produksi industri peleburan logam dan pengecoran logam menggunakan proses kering, sehingga limbah yang

dihasilkan adalah limbah padat dan gas atau asap. Proses pembakaran bahan baku akan menghasilkan gas buang yang mengandung partikel debu, SO₂, NO₂ dan limbah padat yang mengandung Pb. Limbah padat dihasilkan berupa partikel atau serbuk dan kerak sisa pembakaran. Kedua industri peleburan logam dan pengecoran logam berpotensi menghasilkan limbah yang mengandung logam berat. Peleburan logam yang menghasilkan limbah bahan beracun dan berbahaya (limbah B3) antara lain peleburan tembaga, besi, baja, timah, dan nikel. Limbah industri peleburan yang dapat digunakan untuk pembuatan komponen bahan bangunan adalah limbah yang berupa butiran dan dapat dianggap sebagai agregat halus. Limbah B3 dari sumber limbah spesifik umum untuk tembaga dengan kode B 401, besi dan baja B 402, timah B 403, dan nikel B 404 (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 101 Tahun 2014).

Menurut Badan Standardisasi Nasional (Badan Standardisasi Nasional 1996), bata beton (*paving block*) adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen Portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton. Klasifikasi *paving block* digolongkan mutu A digunakan untuk jalan dengan beban gandar tinggi dan kuat tekan rata-rata mencapai 40 MPa, mutu B digunakan untuk pelataran parkir dengan kuat tekan rata-rata 20 MPa, mutu C digunakan untuk pejalan kaki dengan kuat tekan rata-rata 15 MPa dan mutu D digunakan untuk taman dan penggunaan lain dengan kuat tekan rata-rata 10 MPa. Persyaratan penyerapan air untuk mutu A sebesar 3%, mutu B sebesar 6% , mutu C sebesar 8% dan mutu D sebesar 10%. Selain kedua sifat tersebut juga ada persyaratan ketahanan aus untuk mutu A sebesar 0,090 mm/menit, mutu B sebesar 0,130 mm/menit, mutu C sebesar 0,16 mm/menit dan mutu D sebesar 0,219 mm/menit.

Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014 menyebutkan bahwa bahan berbahaya dan beracun (B3) adalah zat, energi, dan atau komponen lain yang karena sifat, konsentrasi, dan atau jumlahnya baik secara langsung maupun tidak langsung dapat mencemarkan dan atau merusak lingkungan hidup, dan atau membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, serta kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lain. Limbah adalah sisa suatu usaha dan atau kegiatan. Limbah B3 adalah sisa suatu usaha dan atau kegiatan yang mengandung B3. Jenis limbah B3 menurut sumbernya digolongkan menjadi limbah B3 dari sumber yang tidak spesifik; limbah B3 dari B3 kedaluwarsa, B3 yang tumpah, B3 yang tidak memenuhi spesifikasi produk yang akan dibuat, dan bekas kemasan B3; dan limbah B3 dari

sumber spesifik. Berdasarkan kategori berbahaya dibedakan menjadi limbah B3 kategori 1 dan limbah B3 kategori 2. Uji karakteristik limbah B3 adalah mudah meledak, mudah menyala, reaktif, infeksius, korosif, dan atau beracun. Limbah B3 telah dimanfaatkan oleh industri penghasil limbah tersebut dengan kegiatan perolehan kembali (*recovery*) atau penggunaan kembali (*reuse*) atau daur ulang (*recycle*) dengan tujuan untuk mengubah limbah B3 menjadi suatu produk yang dapat digunakan dan aman bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Uji karakteristik untuk menentukan limbah B3 beracun dapat dilakukan dengan uji prosedur pelindian karakteristik beracun (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure/TCLP*). Pengujian ini merupakan prosedur laboratorium untuk memprediksi potensi pelindian B3 dari suatu limbah. Berdasarkan hasil uji TCLP, limbah diidentifikasi sebagai limbah B3 kategori 1 jika limbah memiliki konsentrasi zat pencemar lebih besar dari TCLP-A dan sebagai limbah B3 kategori 2 jika limbah memiliki konsentrasi zat pencemar sama dengan atau lebih kecil dari TCLP-A dan lebih besar dari TCLP-B. Baku mutu karakteristik beracun melalui uji TCLP untuk penetapan kategori limbah B3, khusus zat pencemar anorganik pada tabel berikut:

Tabel 1 Baku Mutu TCLP

Zat Pencemar	TCLP-A	TCLP-B
Satuan (Berat Kering)	(mg/L)	(mg/L)
Antimoni (Sb)	6	1
Arsen (As)	3	0,5
Barium (Ba)	210	35
Berillium (Be)	4	0,5
Boron (B)	150	25
Kadmium (Cd)	0,9	0,15
Krom valensi 6 (Cr ⁺⁶)	15	2,5
Tembaga (Cu)	60	10
Timbal (Pb)	3	0,5
Merkuri (Hg)	0,3	0,05
Molibdenum (Mo)	21	3,5
Nikel (Ni)	21	3,5
Selenium (Se)	3	0,5
Perak (Ag)	40	5
<i>Tributyltin oxide</i> (C ₂₇ H ₃₄ OSn ²)	0,4	0,05
Seng (Zn)	300	50

Sumber: Peraturan Pemerintah RI No.101 Tahun 2014, Lampiran III

Penelitian Haque et al. (2014) menyebutkan penggunaan limbah padat sebanyak 30% menggantikan agregat halus (pasir) dengan komposisi campuran 1:3 menggunakan semen Portland tipe I dalam pembuatan *paving block* akan menghasilkan kuat tekan sebesar 17,19 MPa.

Sementara immobilisasi logam berat Fe, Cu dan Ni masing-masing sebesar 96,50 - 95,0%; 88,16 - 72,64%; dan 93,05 - 89,28%. Kuat tekan optimum sebesar 2,748 psi tercapai pada komposisi campuran 1 (semen portland tipe I) : 2 agregat halus. Agregat halus yang digunakan terdiri dari 70% pasir dan 30% limbah padat. *Paving block* tersebut mempunyai konsentrasi logam berat yang terlindi untuk Fe sebesar 1,203 mg/L, Cu 0,157 mg/L dan Ni 0,493 mg/L (Hoque 2015). Penggunaan *fly ash* dan *red mud* dalam pembuatan *paving block* dengan komposisi FARM 10 (90 % *fly ash* + 10 % *red mud*) menghasilkan kuat tekan yang maksimal > 36 MPa dengan pelindian logam berat Cd 0,032 ppm, Se 0,120 ppm, Fe 5,16 ppm dan Al 2,60 ppm (Kumar dan Kumar 2013). Penelitian Indrawati et al. (Indrawati, Wisnu, dan Widyatmoko 2017) menyebutkan kuat tekan beton tertinggi sebesar 41,9 MPa pada komposisi campuran lumpur *acetylene* yang menggantikan pasir sebesar 15 % dan hasil uji TCLP logam berat untuk barium 0,019 mg/L, kromium 0,680 mg/L dengan pH 12,24.

Pada saat ini banyak beredar di pasaran *paving block* yang menggunakan bahan baku dari limbah B3, misalnya *fly ash* maupun *bottom ash*. Produk tersebut biasanya tidak menginformasikan limbah B3 yang digunakan. Hal ini terkait dengan masalah pemasaran, selain itu belum adanya kesadaran produsen untuk melakukan pengujian zat pencemar yang terkandung dalam komponen bahan bangunan terutama *paving block* yang menggunakan bahan baku limbah B3. Sementara standar SNI terutama mengenai bata beton (*paving block*) juga belum mencantumkan persyaratan kandungan zat pencemar dalam *paving block* yang menggunakan bahan baku limbah B3. Permasalahan ini perlu dikaji dengan cara melakukan penelitian penggunaan limbah B3 (pengolahan logam) sebagai bahan baku dalam pembuatan *paving block*. Penelitian bertujuan untuk mengetahui kandungan logam berat dalam *paving block* yang menggunakan bahan baku limbah B3 terkait dengan SNI *paving block* dan peraturan pemerintah.

METODE

Penelitian menggunakan metoda eksperimen pembuatan mortar dengan 5 komposisi campuran dan 2 persentase limbah pengolahan logam. Limbah pengolahan logam diperoleh dari Kabupaten Tegal. Mortar yang dibuat berukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm. Sebelum pembuatan mortar, dilakukan pengujian kadar air, kadar lumpur, berat jenis, penyerapan air dan pengujian gradasi limbah pengolahan logam. Pembuatan *paving block* menggunakan komposisi campuran dengan kuat tekan mortar yang tertinggi. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 28 hari

dengan 3 kali ulangan. Selain itu juga dilakukan pengujian prosedur pelindian karakteristik beracun (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure/TCLP*) untuk bahan baku limbah pengolahan logam dan *paving block*. Analisis kuat tekan *paving block* dilakukan dengan merujuk persyaratan SNI 03-0691-1996 bata beton (*Paving block*). Sedangkan analisis hasil uji TCLP dilakukan dengan mengacu persyaratan baku mutu TCLP-A dan TCLP-B dalam PP Nomor 101 tahun 2014.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Limbah pengolahan logam mempunyai kadar air sebesar 19,23%; kadar lumpur 53,89%; berat jenis 2,06 dan gradasi butiran termasuk zona 3 (Badan Standardisasi Nasional 2000). Hasil analisa ayak pada tabel 2.

Tabel 2 Analisa Ayak

No. Ayakan	Berat Tertinggal pada Ayakan (g)	Presentase Tertinggal pada Ayakan	Presentase Kumulatif Tertinggal pada Ayakan
3/4	0	0	
3/8	21,44	0,98	99,02
4	70,76	3,25	95,77
8	122,20	5,60	90,17
16	267,00	12,25	77,92
30	249,66	11,45	66,47
50	491,58	22,55	43,92
100	770,39	35,34	8,58
0	187,02	8,58	0

Kadar air limbah pengolahan logam yang tinggi, harus dipertimbangkan dalam proses pengadukan terkait dengan kebutuhan air untuk semen. Kadar lumpur yang tinggi, menunjukkan bahwa limbah pengolahan logam mempunyai butiran halus yang banyak (53,89%). Butiran halus yang cukup banyak dapat menghambat ikatan antara limbah pengolahan logam tersebut dengan semen. Butiran halus akan mempunyai permukaan yang lebih luas dibandingkan dengan butiran yang lebih kasar. Oleh karena itu limbah pengolahan logam ini tidak dapat digunakan secara langsung sebagai bahan baku dalam pembuatan komponen bahan bangunan, dikhawatirkan kekuatan ikatannya rendah. Namun bila bahan baku yang digunakan hanya limbah pengolahan logam, maka jumlah semen harus lebih banyak agar diperoleh ikatan yang kuat atau dapat dilakukan penyaringan limbah terlebih dahulu untuk mengurangi jumlah butiran yang halus. Limbah ini dapat digunakan sebagai substitusi agregat halus atau pasir. Dalam pembuatan *paving block*, limbah pengolahan logam harus dicampur dengan pasir. Kuat tekan mortar umur 28 hari seperti pada tabel 3:

Tabel 3 Kuat Tekan Mortar

No.	Komposisi Campuran		Kuat Tekan Rata-rata (MPa)	
	Semen	Agregat	(50:50)	(60:40)
1.	1	3	3,37	5,24
2.	1	4	3,29	4,81
3.	1	6	2,83	3,42
4.	1	8	1,49	2,37
5.	1	10	0,42	1,78

Tabel di atas memperlihatkan bahwa komposisi campuran dengan persentase agregat yang terdiri dari 60% pasir + 40% limbah pengolahan logam mempunyai kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan persentase agregat yang terdiri dari 50% pasir + 50% limbah pengolahan logam untuk semua komposisi campuran. Persyaratan kuat tekan *paving block* cukup tinggi maka pembuatannya menggunakan komposisi campuran mortar yang mempunyai kuat tekan tertinggi yaitu 1 semen : 3 agregat dengan 60% pasir dan 40% limbah pengolahan logam. Kuat tekan rata-rata *paving block* dengan komposisi campuran tersebut sebesar 10 MPa. Kuat tekan *paving block* ternyata lebih tinggi dari kuat tekan mortarnya dengan komposisi campuran yang sama. *Paving block* tersebut mempunyai kuat tekan yang memenuhi persyaratan kuat tekan mutu D yang dapat dipergunakan untuk taman dan penggunaan lain. Hasil uji TCLP limbah pengolahan logam dan *paving block* seperti tabel 4:

Tabel 4 Hasil Uji TCLP Limbah dan *Paving Block*

Zat Pencemar	Limbah Pengolahan Logam	<i>Paving Block</i>
Satuan (Berat Kering)	(mg/L)	(mg/L)
Arsen (As)	0,013	0,008
Barium (Ba)	< 0,5	< 0,5
Boron (B)	< 10	< 10
Kadmium (Cd)	2,85	< 0,02
Kromium (Cr)	0,15	0,05
Tembaga (Cu)	39,1	0,01
Timbal (Pb)	481,13	0,02
Merkuri (Hg)	0,025	< 0,001
Selenium (Se)	0,032	0,009
Seng (Zn)	372,9	0,11

Hasil uji TCLP pada tabel 4 menyatakan bahwa limbah pengolahan logam mengandung zat pencemar (logam berat) arsen, barium, boron, kromium, merkuri dan selenium dengan konsentrasi zat terlindi memenuhi persyaratan baku mutu TCLP-A dan TCLP-B. Hal ini berarti bahwa kandungan logam berat tersebut dalam limbah pengolahan logam relatif aman terhadap lingkungan. Sedangkan logam berat kadmium, timbal dan seng dalam limbah pengolahan logam dapat terlindi dengan

konsentrasi yang tidak memenuhi persyaratan baku mutu TCLP-A dan TCLP-B. Kandungan logam berat kadmium, timbal dan seng dalam limbah pengolahan logam inilah yang membahayakan lingkungan. Konsentrasi logam berat tembaga yang terlindi dari limbah pengolahan logam memenuhi persyaratan baku mutu TCLP-A dan tidak memenuhi persyaratan baku mutu TCLP-B. Logam berat yang terkandung dalam limbah pengolahan logam seperti arsen, kadmium, kromium, tembaga, timbal, merkuri, selenium dan seng dapat berikatan dengan pasta semen dan membentuk senyawa oksida yang lebih stabil dalam *paving block*. Proses pengikatan logam berat tersebut berlangsung seiring dengan terjadinya proses pengikatan dan pengerasan semen. Dengan terbentuknya *ettringite* pada proses hidrasi mengakibatkan logam berat yang terdapat dalam limbah pengolahan logam akan diadsorb sehingga tidak mudah terlepas. Senyawa oksida yang terbentuk menyebabkan logam berat sulit terlindi dalam pengujian TCLP. Hal ini diperjelas dari hasil uji TCLP *paving block* yang menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat terlindi lebih rendah dari pada hasil uji TCLP limbah pengolahan logam. Seperti hasil penelitian Li et al. (Li et al. 2001) menyebutkan bahwa matriks berbasis semen dapat efektif untuk mengikat logam berat tembaga (Cu), timbal (Pb) dan seng (Zn). Logam berat tersebut dapat dienkapsulasi dalam fase kalsium silikat hidrat (C-S-H) dari matriks semen portland. Penelitian lain menyatakan bahwa komposisi campuran 10% *Ordinary Portland Cement* (OPC) dan 1,4% stabiliser merupakan komposisi campuran yang optimum untuk menahan pelepasan nikel/Ni (Hytris et al. 2015). Namun logam berat dalam limbah pengolahan logam masih terkandung dalam *paving block*. Logam berat barium dan boron yang terlindi dari limbah pengolahan logam konsentrasinya tidak berbeda dengan yang terlindi dari *paving block*. Kondisi ini menggambarkan bahwa zat pencemar barium dan boron tidak dapat berikatan secara baik dengan pasta semen. Selain itu, mengindikasikan bahwa semen, pasir dan air yang digunakan dalam pembuatan *paving block* tersebut tidak mengandung logam berat barium dan boron. Hasil uji TCLP juga menjelaskan bahwa *paving block* yang menggunakan limbah pengolahan logam sebagai bahan bakunya masih mengandung logam berat. Menurut penelitian Dewiandratika dan Akmam (Dewiandratika dan Akmam 2018), sebagian besar konsentrasi logam berat yang terlindi menurun setelah terjadi pemadatan. Sedangkan perlakuan stabilisasi/solidifikasi berbasis semen efektif dalam mengimobilisasi *sludge electroplating* dan limbah zeolit (Barbir, Dabic, dan Krolo 2012). Hal yang sama seperti penelitian Radjenovic et al. (Radjenovic et al. 2017), bahwa teknik stabilisasi/pemadatan menggunakan

fly ash dan kapur efektif untuk menahan pelepasan logam berat bahkan setelah berumur 7 tahun. Selain itu hasil uji TCLP *paving block* yang menggunakan limbah pengolahan logam juga memperlihatkan bahwa konsentrasi zat pencemar yang terlindi dibawah baku mutu TCLP-A dan TCLP-B, sehingga *paving block* ini relatif aman terhadap lingkungan. Hal yang sama juga diperlihatkan dari hasil penelitian yang menggunakan limbah *slag* daur ulang aki bekas sebagai bahan substitusi material pasir semen bahwa logam berat besi (Fe) tidak terjadi pelindian bahkan sebagian teradsorpsi oleh material pasir semen (Purnawan dan Suseno 2014). Penelitian Garg dan Pundir (Garg dan Pundir 2014), hasil uji TCLP *paving block* dengan bahan baku *brine sludge*, *fly ash*, Ordinary Portland Cement (OPC) dan agregat menjelaskan bahwa kuat tekan *paving block* menurun seiring dengan meningkatnya *brine sludge* yang digunakan dalam campuran. Selain itu konsentrasi logam berat yang terlindi untuk vanadium (V) sebesar 0,12 mg/L, seng (Zn) 1,72 mg/L, tembaga (Cu) 2,30 mg/L dan besi (Fe) 3,20 mg/L. Hanya logam berat besi (Fe) yang tidak memenuhi standar Indian IS 10500.

Penelitian yang telah dilakukan Pusat Litbang Peremukiman (Pusat Litbang Peremukiman 2014), *paving block* dengan komposisi campuran 1 semen: 3 agregat (75% pasir + 25% limbah pengeboran minyak) mempunyai kuat tekan sebesar 130,56 kg/cm². Kuat tekan tersebut memenuhi persyaratan mutu D (100 kg/cm²) digunakan untuk taman dan penggunaan lain. Hasil uji TCLP limbah pengeboran minyak dan *paving block* sebagai berikut:

Tabel 5 Hasil Uji TCLP Limbah dan *Paving Block*

Zat Pencemar	Limbah Pengeboran Minyak (mg/L)	<i>Paving Block</i> (mg/L)
Arsen (As)	< 0,001	< 0,01
Barium (Ba)	< 0,5	< 0,5
Boron (B)	< 10	< 5
Kadmium (Cd)	0,08	< 0,01
Kromium (Cr)	< 0,01	0,160
Tembaga (Cu)	< 0,01	0,025
Timbal (Pb)	< 0,01	0,119
Merkuri (Hg)	< 0,001	< 0,01
Selenium (Se)	< 0,005	< 0,01
Seng (zn)	0,16	< 0,01

Sumber: Pusat Litbang Peremukiman, 2014, IV-22

Hasil uji TCLP limbah pengeboran minyak (tabel 5) memperlihatkan bahwa limbah tersebut mengandung logam berat arsen (As), barium (Ba), boron (B), kadmium (Cd), kromium (Cr), tembaga (Cu), timbal (Pb), merkuri (Hg), selenium (Se) dan seng (Zn) yang terlindi memenuhi persyaratan baku

mutu TCLP-A dan TCLP-B. Dengan demikian limbah pengeboran minyak tersebut relatif aman terhadap masalah lingkungan. Logam berat Boron (B), kadmium (Cd) dan seng (Zn) dalam *paving block* dapat berikatan dengan pasta semen. Kondisi ini terlihat dari hasil uji TCLP dengan konsentrasi logam berat terlindi pada limbah pengeboran minyak lebih tinggi dibandingkan dengan *paving block*. Limbah pengeboran minyak mempunyai konsentrasi logam berat arsen (As), kromium (Cr), tembaga (Cu), timbal (Pb), merkuri (Hg) dan selenium (Se) yang terlindi lebih rendah dibandingkan dengan *paving block*. Peningkatan konsentrasi tersebut karena bahan baku yang digunakan dalam pembuatan *paving block* yaitu semen, pasir dan air kemungkinan mengandung logam berat dalam skala kecil. Kondisi ini mengakibatkan konsentrasi logam berat yang terlindi bertambah. Demikian juga penelitian Dewiandratika dan Akmam (Dewiandratika dan Akmam 2018) menyebutkan konsentrasi logam berat seperti barium (Ba), tembaga (Cu), perak (Ag) dan seng (Zn) yang terlindi meningkat setelah terjadi pemadatan, hal ini kemungkinan karena kontribusi kandungan logam berat dalam semen portland (OPC) dan pasir yang digunakan. Proses pemadatan/stabilisasi dapat menurunkan konsentrasi logam berat yang terlindi seperti tembaga (Cu), kromium (Cr), besi (Fe) dan seng (Zn) yang terdapat dalam *bottom ash* limbah medis. Hanya konsentrasi nikel (Ni) dan kadmium (Cd) yang tidak berubah (Akyıldız, Köse, dan Yıldız 2017). Logam berat barium (Ba) yang terlindi dari limbah pengeboran minyak konsentrasinya tidak berbeda dengan barium (Ba) yang terlindi pada *paving block*. Hal ini juga menegaskan bahwa barium (Ba) tidak dapat berikatan dengan pasta semen. Selain itu bahan baku semen, pasir dan air dalam pembuatan *paving block* tidak mengandung logam berat barium (Ba). Hasil uji TCLP *paving block* menjelaskan bahwa konsentrasi logam berat yang terlindi dibawah atau memenuhi baku mutu karakteristik beracun TCLP-A dan TCLP-B. Dengan terpenuhi persyaratan baku mutu zat pencemar TCLP-A dan TCLP-B pada *paving block* yang menggunakan limbah pengeboran minyak, maka dapat dikategorikan bahwa *paving block* tersebut relatif aman terhadap lingkungan.

Hasil penelitian Sulistyowati (Sulistyowati 2015), diketahui kuat tekan *paving block* yang menggunakan bahan baku limbah B3 (*bottom ash* dan *fly ash*) dengan komposisi campuran 1 semen: 5 agregat (40% pasir + 40% *bottom ash* + 20% *fly ash*) sebesar 108,30 kg/cm². Kekuatan tekan tersebut memenuhi persyaratan SNI 03-0691-1996 termasuk mutu D dengan kuat tekan rata-rata 100 kg/cm² dan digunakan untuk taman serta penggunaan lain.

Bottom ash dan *fly ash* yang digunakan dalam pembuatan *paving block* tersebut merupakan limbah dari industri tekstil dan berfungsi sebagai bahan pengisi atau pengganti sebagaimana pasir. Hasil uji TCLP *paving block* yang menggunakan *bottom ash* dan *fly ash* seperti pada tabel 6:

Tabel 6 Hasil Uji TCLP

Zat Pencemar	<i>Paving Block</i> (mg/L)
Arsen (As)	0,068
Barium (Ba)	< 0,5
Boron (B)	< 10
Kadmium (Cd)	< 0,01
Kromium (Cr)	0,039
Tembaga (Cu)	< 0,01
Timbal (Pb)	0,05
Merkuri (Hg)	< 0,0001
Selenium (Se)	< 0,001
Seng (Zn)	< 0,01

Sumber: Sulistyowati, 2015, 68

Hasil uji TCLP memperlihatkan bahwa *paving block* yang menggunakan bahan limbah B3 (*bottom ash* dan *fly ash*) masih mengandung logam berat. Logam berat arsen (As), barium (Ba), boron (B), kadmium (Cd), kromium (Cr), tembaga (Cu), timbal (Pb), merkuri (Hg), selenium (Se) dan seng (Zn) yang terlindi mempunyai konsentrasi dibawah atau memenuhi baku mutu TCLP-A maupun TCLP-B. Hal ini karena logam berat tersebut dapat berikatan dengan pasta semen. Pada proses pengikatan dan pengerasan semen akan terbentuk senyawa oksida, sehingga logam berat yang terkandung sulit larut. *Paving block* yang menggunakan bahan baku limbah B3 (*bottom ash* dan *fly ash*) relatif aman terhadap lingkungan karena konsentrasi logam berat pada hasil uji TCLP memenuhi baku mutu TCLP-A dan TCLP-B. Seperti hasil penelitian Kadir et al. (Kadir, Hassan, dan Abdullah 2016) yang menyebutkan dengan penggunaan *fly ash* sebagai pengganti semen sebanyak maksimal 30% dan *bottom ash* sebagai pengganti pasir sebanyak maksimal 30% dalam pembuatan beton *self-compacting* akan menghasilkan konsentrasi logam berat kromium (Cr), timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) yang terlindi memenuhi standar USEPA, kecuali konsentrasi logam berat As yang tidak memenuhi.

Sementara penggunaan semen ternary yaitu semen dengan sebagian besar klinker semen diganti oleh komponen non-klinker limbah industri seperti *fly ash* dari pembangkit listrik dan terak tanur tinggi dalam jumlah yang banyak sesuai untuk stabilisasi zat beracun dan akan diperoleh matriks semen yang mempertahankan imobilisasi logam berat pada

tingkat 99% (Kuterasińska-Warwas dan Król 2017). Demikian juga dengan konsentrasi kromium (Cr), timbal (Pb) dan kadmium (Cd) yang terlindi pada beton porus OPC (*Ordinary Portland Cement*) lebih tinggi daripada beton porus AAS/*Alkaly-Activated Slag* (Kim et al. 2015). Perbandingan semen/*fly ash* meningkat dari 4:6 ke 8:2 mengakibatkan jumlah logam berat yang terlindi mengalami penurunan dari 2,33% menjadi 85,23%. Demikian juga dengan waktu pemeliharaan meningkat dari 3 hari ke 56 hari mengakibatkan penurunan jumlah logam berat yang terlindi dari 16,49% ke 88,70 % (Tang et al. 2016). Selain itu pengaruh pH untuk melepas logam berat dari permukaan *fly ash* pada larutan encer mengikuti pola penurunan dengan meningkatnya pH (Prasad dan Mondal 2008). Penggunaan semen, kapur dan bentonit sebagai perekat dan aditif *pulverized fuel ash, silica fume* serta abu batu dapat mengurangi mobilitas logam berat Cu, Zn, Fe, Co, Pb, Ni dan Cd yang terdapat dalam *sludge* farmasi (M et al. 2017).

Penerapan lapangan penggunaan *paving block* yang menggunakan bahan baku limbah B3 seperti *fly ash* dan *bottom ash* telah dilakukan oleh masyarakat untuk perkerasan jalan lingkungan. Sementara perusahaan penghasil limbah B3 selain *fly ash* dan *bottom ash* telah memanfaatkannya untuk pembuatan *paving block* dan masih digunakan untuk keperluan sendiri. Biasanya *paving block* yang dibuat tersebut telah memenuhi persyaratan standar terkait dengan kekuatannya. PT. Antam dalam majalah CSR berita limbah B3 untuk bahan bangunan 17 Desember 2016, telah memanfaatkan *tailing* pengolahan emas untuk pembuatan batako, *paving block, conblock*, ubin beton, genteng dan sebagainya serta telah melakukan penjualan perdana produk tersebut. Namun karena *paving block* yang menggunakan bahan baku limbah B3 (*fly ash* dan *bottom ash*) sudah ada di pasaran dan diproduksi oleh industri rakyat maka diperlukan adanya standar atau aturan mengenai keamanan penggunaan *paving block* tersebut. Hal ini mempertimbangkan limbah B3 mempunyai konsentrasi zat pencemar (logam berat) yang terlindi berbeda-beda, sehingga dalam bentuk matriks dengan pengikat semen misalnya *paving block* akan berbeda pula konsentrasi zat pencemar yang terlindi. Bila *paving block* yang menggunakan bahan baku limbah B3 kekuatannya rendah, dikhawatirkan dapat mempercepat terjadinya pencemaran lingkungan dan membahayakan kesehatan masyarakat. Standar Nasional Indonesia SNI 03-0691-1996 (Badan Standardisasi Nasional 1996) bata beton (*paving block*) hanya mencantumkan persyaratan sifat fisis dan sifat mekanis. Standar tersebut belum menyebutkan persyaratan konsentrasi zat pencemar logam berat

yang terlindi dalam *paving block* yang menggunakan bahan baku limbah B3. Terkait dengan penggunaan limbah B3 sebagai bahan baku dalam pembuatan *paving block*, maka standar SNI yang sudah ada diusulkan untuk direvisi dengan penambahan persyaratan konsentrasi zat pencemar logam berat yang terlindi dalam *paving block*. Selain itu dapat juga berupa usulan pembuatan standar baru mengenai proses penggunaan limbah B3 sebagai bahan baku dalam pembuatan *paving block*, khususnya konsentrasi logam berat yang terlindi dalam *paving block*. Hal ini untuk mengantisipasi konsentrasi logam berat yang terlindi dalam *paving block* yang menggunakan bahan baku limbah B3 bisa lebih tinggi dari konsentrasi logam berat yang terlindi dalam limbah B3.

KESIMPULAN

Limbah B3 yang telah digunakan dalam pembuatan *paving block* mengandung zat pencemar dengan konsentrasi logam berat yang terlindi melebihi atau di bawah ambang batas baku mutu berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014. *Paving block* yang menggunakan bahan baku limbah B3 tersebut mempunyai konsentrasi logam berat yang terlindi lebih tinggi atau lebih rendah atau tetap sama dengan konsentrasi logam berat yang terlindi dalam limbah B3. SNI 03-0691-1996 bata beton (*paving block*) tidak mencakup persyaratan konsentrasi logam berat yang terlindi pada *paving block*, sementara di pasaran sudah beredar *paving block* yang menggunakan bahan baku limbah B3. Pencemaran lingkungan akibat penerapan lapangan penggunaan *paving block* dari limbah B3 yang berkualitas rendah dapat diantisipasi dengan penambahan persyaratan konsentrasi logam berat yang terlindi pada SNI *paving block* yang ada atau pembuatan standar baru mengenai proses pembuatan *paving block* yang menggunakan bahan baku limbah B3.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Balai Litbang Bahan dan Struktur Bangunan, Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan studi dan rekan-rekan yang telah membantu dalam pelaksanaan pengujian di laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

Akyıldız, Aylin, Esra Tinmaz Köse, dan Aylin Yıldız. 2017. "Compressive Strength and Heavy Metal Leaching of Concrete Containing Medical Waste Incineration Ash." *Construction and Building Materials* 138: 326–32.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.017>.

- Badan Standardisasi Nasional. 1996. "Bata Beton (Paving Block). SNI 03-0691-1996."
- . 2000. "Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. SNI 03-2834-2000."
- Barbir, Damir, Pero Dabic, dan Petar Krolo. 2012. "Evaluation of Leaching Behavior and Immobilization of Zinc in Cement-Based Solidified Products." *Hemijiska industrija* 66 (5): 781–86.
<https://doi.org/10.2298/HEMIND120228038B>.
- Dewiandratika, Maryam, dan M Tafdihla El Akmam. 2018. "Study on the Leaching performance of chromium (Cr) and cadmium (Cd) from the utilization of solidified nickel slag as concrete floors." In *MATEC Web of Conferences* 147, 04010:1–7.
- Garg, Mridul, dan Aakanksha Pundir. 2014. "Utilization of Brine Sludge in Nonstructural Building Components: A Sustainable Approach." *Journal of Waste Management* 2014: 1–7.
<https://doi.org/10.1155/2014/389316>.
- Haque M. A, M.A Hoque, Sukanta Saha, dan Hadiuzzaman. Md. 2014. "Immobilization of Heavy Metals from Paving Block Constructed with Cement and Sand-Solid Waste Matrix." *Asian Journal of Applied Sciences* 7 (3): 150–57.
- Hoque, M A. 2015. "Optimising the Mixing Proportion of Solidified Landfill Waste for Sustainable Reuse in Paving Block Construction Optimising the Mixing Proportion of Solidified Landfill Waste for Sustainable Reuse in Paving Block Construction" 16 (3): 234–47.
<https://doi.org/10.1504/IJEWM.2015.073031>.
- Hytiris, Nicholas, Panagiotis Fotis, Theodora-Dafni Stavrou, Abdelkrim Bennabi, dan Rabah Hamzaoui. 2015. "Leaching and Mechanical Behaviour of Solidified/Stabilized Nickel Contaminated Soil with Cement and Geosta." *Avestia Publishing Journal of Environmental Pollution and Remediation Journal* 3: 1929–2732.
<https://doi.org/10.11159/ijepr.2015.001>.
- Indrawati, Dwi, Rian Prasetyo Wisnu, dan Hilarion Widyatmoko. 2017. "Characteristic of Concrete Using Acetylene Sludge as a Substitute Material for Sand and Cement." *Aceh International Journal of Science and Technology* 6 (3): 122–31.
<https://doi.org/10.13170/aijst.6.3.9239>.

- Kadir, Aeslina Abdul, Mohd Ikhmal Haqem Hassan, dan Mohd Mustafa Al Bakri Abdullah. 2016. "Investigation on Leaching Behaviour of Fly Ash and Bottom Ash Replacement in Self-Compacting Concrete." In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 133. Romania. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/133/1/012036>.
- Kim, G M, J G Jang, Faizan Naeem, dan H K Lee. 2015. "Heavy Metal Leaching, CO₂ Uptake and Mechanical Characteristics of Carbonated Porous Concrete with Alkali-Activated Slag and Bottom Ash." *International Journal of Concrete Structures and Materials* 9 (3): 283–94.
- Kumar, Anuj, dan Sanjay Kumar. 2013. "Development of Paving Blocks from Synergistic Use of Red Mud and Fly Ash Using Geopolymerization." *Construction and Building Materials* 38: 865–71. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.09.013>.
- Kuterasińska-Warwas, Justyna, dan Anna Król. 2017. "Leaching of Heavy Metals from Cementitious Composites Made of New Ternary cements." *E3S Web of Conferences* 19: 02019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20171902019>.
- Li, X. D., C. S. Poon, H. Sun, I. M.C. Lo, dan D. W. Kirk. 2001. "Heavy Metal Speciation and Leaching Behaviors in Cement Based Solidified/stabilized Waste Materials." *Journal of Hazardous Materials* 82 (3): 215–30. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(00\)00360-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(00)00360-5).
- M, Yamuna Rani, D Bhagawan, P Saritha, V Himabindu, dan V Venkateswara Reddy. 2017. "Treatment of Hazardous Solid Waste Using Solidification and Stabilization Technique" 6 (4): 94–100. <https://doi.org/10.11648/j.ajep.20170604.13>.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 101. 2014. *Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun*.
- Prasad, Bably, dan Kajal Kumar Mondal. 2008. "Heavy metal leaching in Indian Fly Ash.pdf." *Journal of Environment Science and Engineering* 50 (2): 127–32.
- Purnawan, dan Hadi Prasetyo Suseno. 2014. "Studi Evaluasi Proses Solidifikasi Limbah B-3 dari Limbah Padat (slag) Industri Daur Ulang Aki Bekas pada Media Pasir Semen." In *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke 5*, 14–19. Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang.
- Pusat Litbang Permukiman. 2014. "Uji Laboratorium, Analisa dan Komposisi Sampel sebagai Produk Pemanfaatan Limbah B3 Skala Laboratorium." Bandung: Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum.
- Radjenovic, Dunja, Djurdja Kerkez, Dragana Pilipovic-Tomasevic, Sebastian Balos, Aleksandar Dasic, Slavko Smiljanic, dan Dejan Krcmar. 2017. "Long-term performance of stabilised/solidified polluted sediment in terms of metal leachability and matrix characterization." *Zastita Materijala* 58 (4): 556–63. <https://doi.org/10.5937/ZasMat1704556R>.
- Sulistyowati, Nurul Aini. 2015. "Komposisi Campuran Optimum Paving Block dari Limbah Batubara Industri Tekstil." *Masalah Bangunan* 50 (1): 62–69.
- Tang, Qiang, Yang Liu, Fan Gu, dan Ting Zhou. 2016. "Solidification / Stabilization of Fly Ash from a Municipal Solid Waste Incineration Facility Using Portland Cement" 2016.