

Terbit online pada laman web jurnal :<http://jurnaldampak.ft.unand.ac.id/>

# Dampak: Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Andalas

| ISSN (Print) 1829-6084 | ISSN (Online) 2597-5129 |



Artikel Penelitian

## Pemanfaatan Lumpur Sungai Ciliwung Dengan Metode Solidifikasi

Mochammad Chaerul, Roy Jeremiah Pasaribu

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No. 10 Bandung 40132 Indonesia  
Email: m.chaerul@fsl.itb.ac.id

### A B S T R A C T

Sediment potentially leads to siltation of the river and overflow of river water during the rainy season. Existing management of the sediment is to collect, transport and dispose in a site without any proper handling procedure prior and it may cause environment burden. This study aims to utilize the sediment in Ciliwung river as a structural material through a set of solidification procedure. The mixing of cement and fine aggregate is necessary to produce 5x5x5 cm<sup>3</sup> mortar to be tested. The sediment may be classified as non-hazardous waste and it can be used to substitute sand as the fine aggregate. The highest compressive strength of 216 kg/cm<sup>2</sup> can be produced at ratio of cement and the fine aggregate of 1:3 with the sediment substitution of 50% and the product can be classified as class B of paving block or class I of brick. Through Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) test, it find that the metals substance in the sediment bounded properly in the solid matrix and it prevents the metals leaching out to the environment. The study reveals that the utilization of the sediment through the solidification become a prospective measure by producing a useful product with minimum impact on the environment.

Keywords: sediment, fine aggregate, solidification, compressive strength, Toxicity Characteristic Leaching Procedure

### A B S T R A K

Lumpur berpotensi menyebabkan pendangkalan sungai dan meluapnya air sungai selama musim hujan. Manajemen lumpur yang ada adalah mengumpulkan, mengangkut, dan membuang di lokasi tanpa prosedur penanganan yang tepat sebelumnya dan dapat membebani lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan lumpur di sungai Ciliwung sebagai material struktural melalui serangkaian prosedur pemadatan. Pencampuran semen dan agregat halus diperlukan untuk menghasilkan mortar 5x5x5 cm<sup>3</sup> untuk diuji. Lumpur dapat diklasifikasikan sebagai limbah tidak berbahaya dan dapat digunakan untuk menggantikan pasir sebagai agregat halus. Kuat tekan tertinggi 216 kg/cm<sup>2</sup> didapat pada rasio semen dan agregat halus 1: 3 dengan substitusi sedimen 50% dan produk dapat diklasifikasikan sebagai paving block kelas B atau bata kelas I. Melalui uji *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP), ditemukan bahwa zat logam dalam lumpur terikat dengan benar dalam matriks padat dan mencegah logam berpindah ke lingkungan. Dari penelitian ini, didapatkan bahwa pemanfaatan lumpur sungai dengan pemadatan berpotensi menghasilkan produk yang bermanfaat dengan dampak minimal terhadap lingkungan.

Kata kunci: lumpur, agregat halus, solidifikasi, kuat tekan, *Toxicity Characteristic Leaching Procedure*

## 1. PENDAHULUAN

Secara umum, endapan lumpur yang terdapat di dasar sungai terjadi sebagai hasil pengikisan/erosi material di bantaran sungai, degradasi tanah, dan pelapukan material yang berada di bagian lebih hulu yang relatif berat dan banyak sehingga tidak dapat terbawa oleh aliran sungati tersebut. Ketika endapan lumpur terakumulasi dan berlebihan maka dapat

mengakibatkan pendangkalan pada sungai dan menyebabkan terjadinya luapan air sungai, terutama ketika musim hujan (Wahyudi 2010, Ollivie et al., 2018, Alaoui et al., 2018, Guo et al., 2018)

Selain dari sisi kuantitasnya yang dapat menyebabkan banjir, endapan lumpur sungai berpotensi mencemari lingkungan (Yusuf, 2016, Yeager et al., 2018, Chen et al., 2012, Zhao et al., 2018). Kandungan bahan

pencemar di endapan lumpur dapat berasal dari pembuangan limbah padat (sampah) dan limbah cair yang tidak memenuhi standar efluen ke badan air.

Secara umum, penanganan terhadap endapan lumpur sungai di Indonesia hanya berupa pengerukan yang selanjutnya diangkut ke suatu tempat tertentu untuk ditimbun begitu saja; tanpa ada perlakuan lebih lanjut, baik terhadap endapan lumpur maupun terhadap lokasi penimbunan. Penanganan seperti diatas masih berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan dan membutuhkan biaya yang terus meningkat seiring dengan peningkatan jumlah endapan lumpur yang harus ditangani. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode penanganan endapan lumpur sungai yang dapat menghasilkan nilai ekonomi tetapi dengan tetap memperhatikan aspek perlindungan terhadap lingkungan.

Studi ini bertujuan untuk menganalisis potensi pemanfaatan endapan lumpur sungai sebagai substitusi bahan pencampur menghasilkan produk bangunan dengan metode solidifikasi. Lumpur dari Sungai Ciliwung di Jakarta dijadikan sebagai studi kasus, yang diprediksi dapat merepresentasikan secara umum karakteristik dari endapan lumpur sungai yang ada di Indonesia.

## 2. METODOLOGI

Penelitian didahului dengan pengambilan sampel endapan lumpur di segmen Sungai Ciliwung yang berada di depan Masjid Istiqlal, Jakarta dengan metode *grab sampling*. Titik pengambilan sampling dilakukan di beberapa titik sepanjang lebar sungai yang selanjutnya dicampur sehingga diharapkan dapat merepresentasikan karakteristik endapan lumpur sungai yang sesungguhnya.

Selanjutnya dilakukan karakterisasi endapan lumpur yang meliputi parameter fisik dan kimia. Parameter fisik yang diuji adalah kadar abu, kadar volatil, *specific gravity*, kadar air, analisis ayakan, *setting time* mortar, berat volume, absorpsi, dan modulus kehalusan. Sedangkan parameter kimia yang diuji adalah nilai pH, total logam, oksida logam, dan uji TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*).

Prosedur solidifikasi dilakukan dengan cara mencampurkan lumpur endapan sungai sebagai substitusi agregat halus (yaitu pasir) dengan semen sebagai material pengikat dan air untuk menghasilkan benda uji mortar berbentuk kubus dengan ukuran 5x5x5 cm<sup>3</sup>. Prosedur pencampuran dilakukan sesuai dengan ASTM 109. Material agregat halus yang

digunakan adalah pasir Galunggung pasaran, sedangkan air berasal dari PDAM Tirta Wening, Bandung, dan semen Portland menggunakan produk yang banyak ditemui di pasaran.

Untuk menghasilkan benda uji mortar, dilakukan pencampuran semen dan agregat halus (lumpur dan pasir) dengan variasi perbandingan 1:3, 1:4, dan 1:5. Rasio 1:3 berarti untuk setiap 1 unit berat semen akan dicampur dengan 3 unit berat agregat halus. Sedangkan untuk mengetahui porsi optimum dari lumpur yang dapat menggantikan pasir sebagai agregat halus (substitusi pasir) maka dilakukan variasi komposisi 0%, 50%, dan 100% jumlah lumpur sebagai agregat halus. Secara lengkap, variasi komposisi solidifikasi dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Variasi Komposisi Solidifikasi

Komposisi dan Material	Persentase Lumpur dalam Campuran		
	0%	50%	100%
Komposisi Semen:Agregat Halus = 1:3			
Semen (%)	25	25	25
Lumpur (%)	0	37,5	75
Pasir (%)	75	37,5	0
Komposisi Semen:Agregat Halus = 1:4			
Semen (%)	20	20	20
Lumpur (%)	0	40	80
Pasir (%)	80	40	0
Komposisi Semen:Agregat Halus = 1:5			
Semen (%)	16,7	16,7	16,7
Lumpur (%)	0	41,65	83,3
Pasir (%)	83,3	41,65	0

Selanjutnya, produk benda uji mortar dilakukan pengujian kuat tekan, uji durabilitas, uji absorpsi, dan uji TCLP. Masing-masing proporsi dicetak sebanyak 8 buah benda uji mortar masing-masing untuk pengujian kuat tekan hari ke-3, hari ke-7, hari ke-14, dan hari ke-28 secara duplo, 2 buah untuk uji durabilitas secara duplo, 2 buah untuk pengujian absorpsi, dan 1 buah untuk pengujian TCLP.

Pemeriksaan seluruh parameter fisik serta kimia terhadap sampel lumpur dan ekstraksi TCLP dilakukan di Laboratorium Buangan Padat dan B3 Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan ITB. Pemeriksaan untuk analisis parameter total logam, oksida logam, dan TCLP dilakukan di Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara Perdatam, Bandung. Sedangkan pelaksanaan solidifikasi, dan uji kuat tekan terhadap benda uji mortar dilakukan dengan menggunakan alat UTM (*Universal Testing Machine*) dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan ITB.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Hasil Karakterisasi Fisik

Analisis awal endapan lumpur dilakukan untuk mengetahui bahwa lumpur tidak melebihi standar yang telah ditentukan dan dapat dipakai sebagai agregat halus untuk solidifikasi. Hasil uji karakteristik awal lumpur dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil Uji Karakteristik Fisik dari Endapan Lumpur

Parameter	Metode Analisa	Satuan	Hasil Analisa
Kadar Abu	Gravimetri	% BK	82,75
Kadar Volatil	Gravimetri	% BK	17,25
Apparent Specific Gravity	ASTM C 128-93	-	2,03
Bulk Specific Gravity (kering)	ASTM C 128-93	-	0,81
Bulk Specific Gravity (Specific Surface Dry)	ASTM C 128-93	-	1,41
Kadar Air	ASTM D 2216-98	% BB	62,7
Berat Volume (Padat)	ASTM C29	kg/m <sup>3</sup>	1.227
Berat Volume (Gembur)	ASTM C29	kg/m <sup>3</sup>	1.453
Absorpsi	ASTM C 128-93	%	73,81
Modulus Kehalusan	ASTM C 136-01	-	4,61
pH	-	-	7,05

Pengujian kadar air ini berguna untuk mengetahui volume air yang akan ditambahkan ke dalam campuran, sehingga penambahan volume air sesuai dengan karakteristik kadar air yang dikandung oleh masing-masing limbah. Dapat dilihat bahwa kadar air untuk lumpur adalah sebesar 62,7%. Hasil ini menunjukkan kadar air pada lumpur sangat tinggi karena berdasarkan Sugiri (2002), komposisi air dalam beton secara ideal berkisar antara 15%-20%. Pengukuran kadar abu dan volatil bertujuan untuk mengetahui bahan yang mudah menguap (volatil) dan bahan yang tidak akan terbakar (abu). Kadar abu lumpur cukup tinggi dan melebihi 80%. Hasil yang didapatkan adalah 82,75%. Selain itu, didapatkan pula nilai kadar volatil untuk lumpur. Hasilnya pengujian yang didapatkan cukup rendah, yaitu 17,25%. Kadar volatil ini menunjukkan bahwa kadar organik dalam lumpur tidak terlalu tinggi dan tidak akan mempengaruhi kualitas hasil solidifikasi. Kadar pH dalam suatu limbah akan mempengaruhi pada prosedur TCLP yang dilakukan pada limbah tersebut.

#### Kandungan Oksida Logam

Pemeriksaan oksida logam pada limbah bertujuan untuk penentuan bahan pencampur pembuatan beton, baik pengganti semen maupun agregat. Menurut ASTM C-618, kekuatan beton dipengaruhi oleh keberadaan oksida logam SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> karena mengandung unsur silikat dan aluminat yang mempunyai kecenderungan sifat pozzolan yang dapat mengikat agregat, sehingga dapat memperbesar

ikatan terhadap mortar (Widiasih, 2010). Sifat pozzolan adalah sifat yang dimiliki bahan-bahan yang mengandung senyawa silika dan alumina, meskipun tidak memiliki sifat seperti semen namun apabila bahan tersebut digiling hingga halus dan dicampur untuk membentuk semen, maka semen tersebut ketika bereaksi dengan air akan membentuk senyawa CSH (*Calcium Silicate Hydrate*) dan CaH (*Calcium Hydride*) (Neville,1999). Menurut Goldman dan Bentur dalam Tangpagasit et al., 2005, peningkatan sifat pozzolan juga disebabkan oleh dua hal yaitu, efek pozzolanik dan kemas partikel yang halus. Menurut Shi dan Day dalam Paya et al., 2001, peningkatan suhu juga bisa meningkatkan aktivitas pozzolanik. Hasil pengukuran terhadap kandungan oksida logam dan kadar LOI (*Loss on Ignition*) dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Karakteristik Oksida Logam Lumpur

Parameter	Hasil Analisa Sampel (%BK)	ASTM C618		Komposisi Semen Portland
		Kelas C	Kelas F	
SiO <sub>2</sub>	41,32	-	-	18-24
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23,13	-	-	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,36	-	-	0-6
SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +	73,81	< 50	< 70	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				
K <sub>2</sub> O	0,86	-	-	0,2-1,5
Na <sub>2</sub> O	1,17	> 15	> 15	0,2-1,5
CaO	2,15	-	-	54-66
MgO	0,2	> 5	> 5	0,1-0,4
TiO <sub>2</sub>	0,34	-	-	-
LOI	21,58	> 6	> 12	< 0,5

Kandungan CaO pada lumpur berada pada angka 2,15%. Kandungan CaO menjadi penting karena senyawa tersebut merupakan pembentuk senyawa C3S (*Tricalcium Silicate*) dan C2S (*Dicalcium Silicate*) yang merupakan sumber kekuatan pada pasta semen. Kandungan CaO pada lumpur masih berada dalam batas yang diperbolehkan mengacu pada komposisi kimia berdasar Sugiri (2002) dimana persentase 2% - 7%. Kandungan LOI pada lumpur berada jauh di atas persyaratan yang ditetapkan oleh ASTM C618 untuk kelas C yaitu 6% Berat Kering dan memenuhi kandungan LOI sebagai kelas F yaitu 12% Berat Kering. Kandungan karbon yang tinggi tidak diinginkan dalam sebuah campuran beton. Kehadiran karbon di dalam beton dianggap akan mengganggu reaksi hidrasi serta mengurangi kecacakan serta meningkatkan kebutuhan air yang digunakan dalam campuran beton.

#### Kandungan Total Logam

Endapan lumpur merupakan hasil buangan yang mungkin memiliki unsur logam di dalamnya. Untuk mengetahui kandungan logam yang berada di dalam lumpur maka dilakukan pemeriksaan total logam. Pemeriksaan logam berat dilakukan untuk 16 parameter logam sesuai Keputusan Bapedal Kep-04/Bapedal/09/1995 tentang Tata Cara Persyaratan Penimbunan Hasil Pengolahan, Persyaratan Lokasi Bekas Pengolahan dan Lokasi Bekas Penimbunan

Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun. Hasil analisis kandungan logam berat menentukan penempatan limbah apabila akan ditimbun pada lahan urug (*landfill*). Hasil analisis parameter logam berat dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Kandungan Total Logam Lumpur Sungai Ciliwung

Parameter	Hasil Analisa		Standar	
	(mg/kg)		Maksimum*)	
	Sampel 1	Sampel 2	Kolom A	Kolom B
Arsen (As)	0,53	0,51	300	30
Barium (Ba)	30,92	32,43	-	-
Cadmium (Cd)	0,61	0,58	50	5
Chromium (Cr)	3,21	3,59	2.500	250
Copper (Cu)	24,31	25,22	1.000	100
Cobalt (Co)	< 0,001	< 0,001	500	50
Lead (Pb)	0,79	0,82	3.000	300
Mercury (Hg)	0,00003	0,00003	20	2
Molibdenum (Mo)	< 0,001	< 0,001	400	40
Nikel (Ni)	< 0,001	< 0,001	1.000	100
Stanum (Sn)	< 0,001	< 0,001	500	50
Selenium (Se)	3,21	3,45	100	10
Silver (Ag)	3,52	4,01	-	-
Zinc (Zn)	51,32	53,21	5.000	500
Sianida (CN)	0,63	0,71	-	-
Fluorida (F)	4,72	5,21	-	-

\*) Sumber: Keputusan Kepala Bapedal No. 4 tahun 1995

Kandungan logam suatu limbah akan menentukan kategori *landfill* yang dipersyaratkan apabila limbah tersebut akan ditimbun. Apabila kadar logam pada limbah lebih besar daripada kolom A, maka limbah tersebut harus ditimbun di dalam *landfill* kategori 1. Jika kadar logam pada limbah berada diantara kolom A dan B, maka limbah harus ditimbun dalam *landfill* kategori 2. Jika kadar logam pada limbah lebih kecil daripada kolom B, maka limbah dapat ditimbun dalam *landfill* kategori 3. Semakin kecil kategori *landfill* maka semakin ketat persyaratannya, terutama yang berkaitan dengan penyediaan fasilitas perlindungan terhadap lingkungan. Berdasarkan hasil analisis dapat dilihat bahwa kandungan logam berat dalam endapan lumpur sungai tidak ada yang melebihi kadar maksimum berdasarkan Kep No.4/BAPEDAL/09/1995, sehingga limbah dapat ditimbun dalam *landfill* kategori 3.

#### Hasil Uji TCLP terhadap Endapan Lumpur

Pengujian TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*) adalah sebuah metode untuk mengukur kandungan senyawa yang dapat terlindikan dari suatu limbah. Hasil pengukuran konsentrasi senyawa dalam larutan ekstraksi TCLP terhadap endapan lumpur dapat dilihat pada Tabel 5 berikut. Berdasarkan hasil TCLP tersebut terlihat bahwa sampel endapan lumpur masih jauh dibawah standar baku yang sudah ditetapkan baik oleh PP No. 18 tahun 1999 jo PP No. 85 tahun 1999 serta USEPA untuk semua parameter logam sehingga dapat dikatakan bahwa air ekstraksi endapan lumpur (lindi) yang terbentuk masih di dalam batas aman. Walaupun harus dilakukan uji parameter

lain yang lebih detail, dilihat dari parameter TCLP endapan lumpur bukan terkategori sebagai limbah B3.

Tabel 5. Hasil Analisis TCLP terhadap Endapan Lumpur

TCLP	Hasil Analisa Lumpur (mg/L)	Baku Mutu	
		PP 85/99	USEPA
Arsen (As)	< 0,00001	5	5
Boron (B)	0,019	500	-
Barium (Ba)	0,138	100	100
Cadmium Cd)	< 0,001	1	1
Chromium (Cr)	0,028	5	5
Copper (Cu)	0,289	10	-
Lead (Pb)	< 0,001	5	5
Mercury (Hg)	< 0,00001	0,2	0,2
Silver (Ag)	0,007	5	5
Selenium (Se)	< 0,001	1	1
Zinc (Zn)	0,432	50	-

#### Hasil Uji Kuat Tekan Mortar Benda Uji

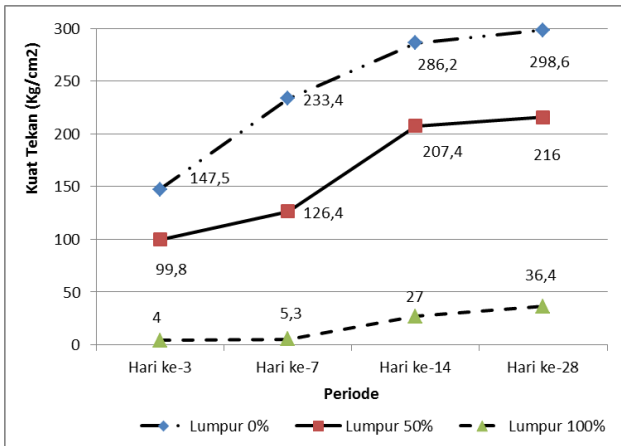
Dari sisi kekuatan benda uji, parameter kuat tekan merupakan salahsatu parameter penting yang harus diperhatikan untuk menunjukkan karakter mekanika dari produk hasil solidifikasi. Hasil dari pengujian kuat tekan terhadap mortar benda uji dengan berbagai macam komposisi dan periode pengujian dapat dilihat dari Gambar 1 hingga Gambar 3 berikut.

Kekuatan tekan benda uji menjadi suatu acuan yang penting karena berhubungan dengan keamanan produk hasil solidifikasi. Benda yang mempunyai kuat tekan yang tinggi akan lebih tahan terhadap kerusakan sehingga aman untuk digunakan dan tidak mudah untuk terinfiltrasi oleh air yang dapat melindikan senyawa logam di dalam limbah.

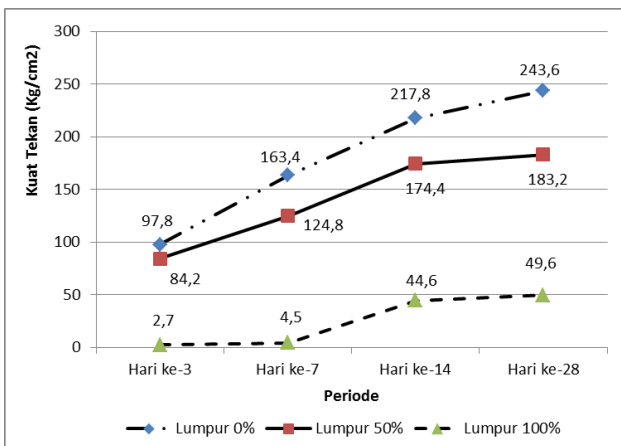
Dari hasil uji kuat tekan terlihat bahwa kuat tekan terbesar dihasilkan dari komposisi semen dan agregat halus sebesar 1:3 dengan proporsi lumpur 0% dengan periode perendaman benda uji selama 28 hari, yaitu sebesar 298,6 kg/cm<sup>2</sup>. Secara umum, dari parameter kuat tekan terhadap benda uji memperlihatkan beberapa hasil sebagai berikut:

- Semakin lama umur benda uji direndam dalam uji durabilitas menunjukan kuat tekan yang semakin besar. Artinya periode perendaman 28 hari akan menghasilkan kuat tekan yang paling besar. Proses ini akan menjamin proses hidrasi di dalam mortar berjalan dengan sempurna, sehingga retak-retak pada permukaan mortar dapat dihindari, dan mencapai kualitas kuat tekan yang diinginkan (Mulyono, 2003).
- Semakin besar rasio komposisi semen dan agregat halus dalam campuran akan menghasilkan kuat tekan yang lebih besar. Artinya dalam penelitian ini, rasio semen:agregat halus sebesar 1:3 akan menghasilkan kuat tekan yang paling besar. Hal ini dipahami karena proporsi semen yang semakin besar akan menghasilkan kuat tekan yang lebih besar.
- Semakin besar proporsi lumpur dalam agregat halus akan menghasilkan kuat tekan yang semakin kecil.

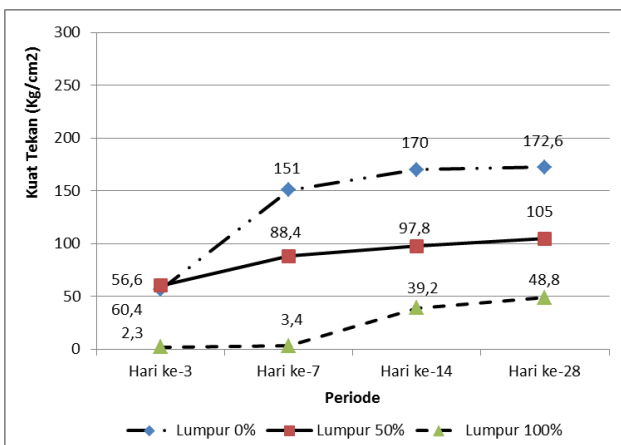
Artinya proposi lumpur 100% akan menghasilkan kuat tekan yang paling kecil. Hal ini menunjukkan bahwa lumpur tidak bisa menggantikan pasir secara keseluruhan; lumpur hanya sebagai substitusi pasir dalam agregat halus.



Gambar 1. Kuat Tekan Mortar Komposisi Semen : Agregat Halus = 1:3



Gambar 2. Kuat Tekan Mortar Komposisi Semen : Agregat Halus = 1:4



Gambar 3. Kuat Tekan Mortar Komposisi Semen : Agregat Halus = 1:5

Selanjutnya, kuat tekan yang dihasilkan dari benda uji dibandingkan dengan Standar Kekuatan Tekan untuk *Paving Block* (sesuai SNI No. 03-0691-1996) dan untuk batako

(sesuai SNI 03-2113-2000) masing-masing dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7 berikut.

Tabel 6. Persyaratan Kuat Tekan *Paving Block*

Mutu <i>Paving Block</i>	Kuat Tekan Bruto Rata-Rata Minimum (kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Bruto Masing-Masing Benda Uji (kg/cm <sup>2</sup> )	Penyerapan Air Rata-Rata Maksimum (%)
A	400	350	3
B	200	170	6
C	150	125	8
D	100	85	10

Tabel 7. Persyaratan Kuat Tekan Batako

Mutu	Kuat Tekan Bruto Rata-Rata Minimum (kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Bruto Masing-Masing Benda Uji (kg/cm <sup>2</sup> )
I	70	65
II	40	35
III	25	21

Masing-masing *paving block* dan batako dapat diklasifikasikan standar mutunya berdasarkan penggunaan dengan mempertimbangkan kuat tekan minimal yang harus dapat dihasilkan. Semakin baik mutunya maka produk tersebut dapat digunakan untuk menahan beban yang lebih besar. Berikut klasifikasi *paving block* berdasarkan penggunaannya:

- Mutu A: digunakan untuk jalan
- Mutu B: digunakan untuk pelataran parkir
- Mutu C: digunakan untuk pejalan kaki
- Mutu D: digunakan untuk taman dan penggunaan lain.

Sedangkan klasifikasi batako adalah sebagai berikut:

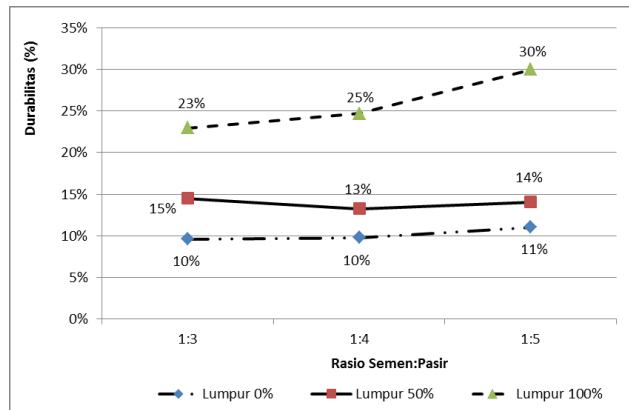
- Mutu I: digunakan untuk konstruksi yang memikul beban dan tidak terlindung
- Mutu II: digunakan untuk konstruksi yang tidak memikul beban
- Mutu III: digunakan untuk konstruksi di bawah atap

Sebagai substitusi pasir, dengan memperhatikan hasil uji kuat tekan maka maksimal kualitas *paving block* yang dapat dihasilkan adalah mutu kelas B, yaitu untuk variasi proporsi lumpur sebesar 50% sebagai pengganti pasir dengan rasio semen:agregat halus = 1:3 karena menghasilkan kuat tekan yang lebih besar daripada 200 kg/cm<sup>2</sup>. Sedangkan untuk proporsi lumpur 100%, untuk semua variasi tidak dapat mencapai standar minimal mutu kelas D *paving block* karena kuat tekannya masih dibawah 100 kg/cm<sup>2</sup>.

Standar mutu batako kelas I dapat dihasilkan untuk semua kondisi proporsi lumpur 50% sebagai pengganti pasir karena kuat tekannya melebihi 70 kg/cm<sup>2</sup>. Sedangkan dengan proporsi lumpur 100% maka maksimal batako yang dapat dihasilkan adalah mutu kelas II karena kuat tekannya dapat melebihi 40 kg/cm<sup>2</sup>.

### Hasil Uji Durabilitas Mortar Benda Uji

Setelah uji kuat tekan maka selanjutnya dilakukan uji durabilitas mortar dengan perawatan selama 28 hari untuk melihat pengaruh proses *curing* pada mortar terhadap kualitas ketahanannya. Berdasarkan ASTM D-4843, nilai maksimum penurunan yang diperbolehkan adalah 30%. Hasil pengujian durabilitas dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.

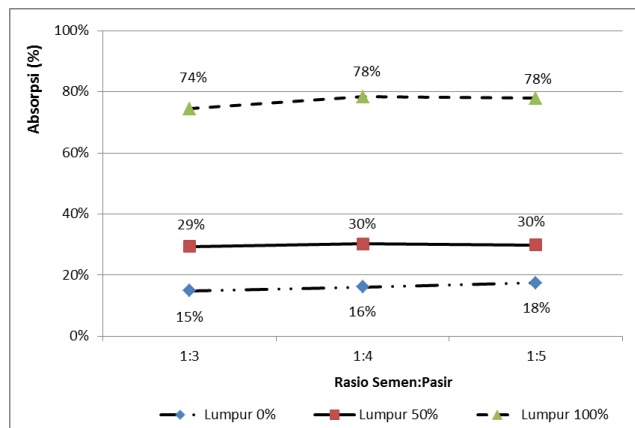


Gambar 4. Hasil Uji Durabilitas terhadap Benda Uji

Berdasarkan uji durabilitas, hanya variasi proporsi lumpur 100% dengan rasio semen : agregat halus sebesar 1:5 saja yang dapat memenuhi nilai durabilitas minimal sebesar 30%. Walaupun dari aspek kuat tekan, proporsi lumpur 100% menghasilkan kuat tekan yang relatif paling rendah, hasil uji durabilitas menunjukkan nilai yang lebih baik. Hal ini menunjukkan bahwa karakteristik lumpur yang sudah relatif stabil karena memang sudah berada dalam waktu yang lama di dasar sungai.

### Hasil Uji Absorpsi Mortar Benda Uji

Dilakukan juga pengujian absorpsi benda uji yang sudah dirawat selama 28 hari. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui kemampuan benda uji dalam menyerap air. Hal ini diperlukan karena air yang masuk dapat merusak ikatan semen terhadap agregat. Pengujian absorpsi dilakukan pada seluruh variasi komposisi. Hasil absorpsi ditunjukkan pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Hasil Uji Absorpsi terhadap Benda Uji

Dapat diketahui bahwa hasil pengujian absorpsi pada benda uji berada di atas standar yang ditetapkan oleh SNI 03-0691-1996 dimana mensyaratkan nilai penyerapan air maksimum adalah 10% untuk *paving block* dengan mutu D dan di atas standar yang ditetapkan untuk batako sebesar 30%. Nilai absorpsi yang tinggi dapat disebabkan oleh adanya rongga udara pada mortar sehingga air dapat masuk ke dalam mortar. Rongga udara ini terbentuk karena proses pemadatan yang kurang sempurna sehingga menyebabkan timbulnya gelembung udara. Semakin banyak rongga udara di dalam mortar, maka semakin tinggi nilai absorpsi karena semakin banyak air dapat masuk ke dalam mortar. Selain itu, dapat disebabkan oleh perbedaan ketika proses pemadatan mortar ketika dicetak. Proses pemadatan dalam pencetakan memegang peranan yang penting dalam keberadaan rongga udara dalam mortar (Ahsani, 2004). Tingginya nilai absorpsi juga ditambah dengan fakta lumpur mempunyai nilai absorpsi air yang tinggi. Semakin rendah nilai persentase absorpsi air, maka semakin baik kualitas mortarnya. Hal ini dipengaruhi oleh kualitas pemadatan yang dilakukan selama pencetakan. Hasil absorpsi yang didapat menunjukkan bahwa semakin banyak lumpur yang digunakan sebagai substitusi dalam campuran mortar, maka semakin besar nilai absorpsinya.

### Hasil Hasil Uji TCLP terhadap Mortar Benda Uji

TCLP merupakan salah satu syarat utama kelayakan produk hasil solidifikasi. Pengujian ini dilakukan untuk melihat sejauh mana logam berat diikat akibat proses solidifikasi limbah dalam campuran mortar. Hal ini berguna untuk mengetahui pengaruh terhadap lingkungan, terutama apabila produk solidifikasi akan digunakan secara nyata. Pengujian TCLP dapat memperlihatkan seberapa besar konsentrasi senyawa yang terlindikan dari produk solidifikasi. Diharapkan bahwa setelah dilakukan solidifikasi, logam yang terlindikan dapat seminimal mungkin.

Uji TCLP dilakukan pada dua variasi produk yang terpilih yaitu 1:3 dengan proporsi lumpur 50% dan 1:5 dengan proporsi lumpur 100%. Variasi pertama dipilih untuk merepresentasikan produk benda uji yang menghasilkan kuat tekan yang terbesar. Sedangkan variasi kedua dipilih karena jumlah lumpur yang digunakan paling banyak dan kuat tekannya paling kecil sehingga dianggap bisa lebih mudah retak dan hancur dan lebih berpotensi lepasnya logam ke lingkungan yang lebih besar. Secara lengkap, hasil pengujian TCLP terhadap benda uji mortar yang dibandingkan dengan hasil uji TCLP terhadap sampel lumpur di awal dapat dilihat pada Tabel 8 berikut.

Tabel 8. Hasil Uji TCLP terhadap Mortar Benda Uji

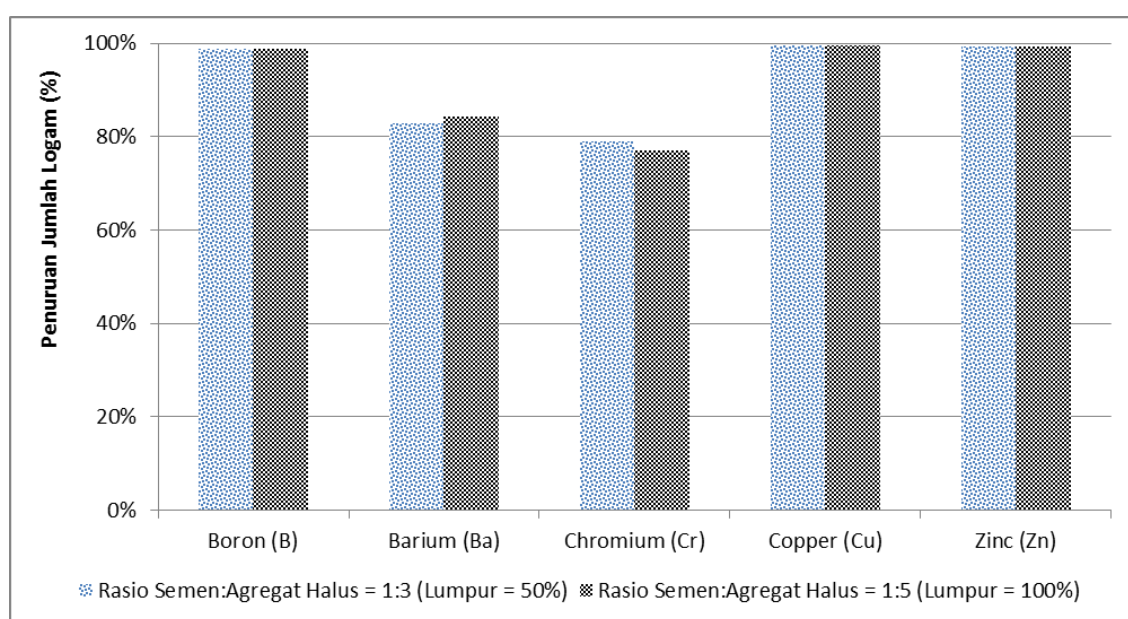
Parameter	TCLP awal (mg/L)	Hasil Uji TCLP Setelah Solidifikasi (mg/L)	
		1:3 (50%)	1:5 (100%)
Arsen (As)	< 0,00001	< 0,00001	< 0,00001
Boron (B)	0,019	0,000248	0,000208
Barium (Ba)	0,138	0,0236	0,0216
Cadmium (Cd)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Chromium (Cr)	0,028	0,005897	0,0064

Parameter	TCLP awal (mg/L)	Hasil Uji TCLP Setelah Solidifikasi (mg/L)	
		1:3 (50%)	1:5 (100%)
Copper (Cu)	0,289	0,001333	0,00106
Lead (Pb)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Mercury (Hg)	< 0,00001	< 0,00001	< 0,00001
Silver (Ag)	0,007	< 0,0001	< 0,0001
Selenium (Se)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Zinc (Zn)	0,432	0,00271	0,00287

Berdasarkan hasil uji TCLP terhadap produk solidifikasi terlihat bahwa konsentrasi semua unsur logam yang terlindikan masih jauh berada di bawah baku mutu yang ditetapkan oleh PP No. 18 tahun 1999 jo PP No. 85 tahun 1999 dan standar USEPA. Walaupun tidak terlalu signifikan, variasi kedua menunjukkan parameter logam Chromium dan Zinc yang terlindikan lebih besar dibandingkan variasi

pertama. Bahkan untuk parameter logam Boron, Barium, dan Copper menunjukkan untuk variasi kedua lebih kecil daripada variasi pertama.

Bila dibandingkan dengan hasil uji TCLP terhadap lumpur awal untuk beberapa parameter logam menunjukkan adanya penurunan konsentrasi yang signifikan, baik untuk variasi pertama maupun variasi kedua, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 6 berikut. Bahkan untuk logam Copper, Zinc, dan Boron menunjukkan penurunan lebih dari 99%. Hal ini menunjukkan bahwa solidifikasi terbukti dapat menghambat keluarnya pencemar yang ada di lumpur. Untuk parameter logam Barium dan Chromium menunjukkan penurunan yang relatif kecil (sekitar 80%) dan penurunannya sedikit berbeda untuk variasi pertama dan variasi kedua.



Gambar 6. Penurunan Jumlah Logam yang Terlindikan Setelah Solidifikasi (%)

#### 4. KESIMPULAN

Endapan lumpur di sungai memerlukan penanganan yang lebih baik untuk mereduksi potensi dampak negatif yang dapat ditimbulkan. Selain dapat memperkecil kapasitas sungai, endapan lumpur juga berpotensi mengandung berbagai macam parameter yang dapat mencemari sungai. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu alternatif metode penanganan yang dapat menghasilkan produk yang lebih bernilai ekonomis tetapi dengan tetap mempertimbangkan aspek perlindungan terhadap lingkungan. Metode yang dapat dijadikan salahsatu alternatif penangan yang dimaksud adalah melalui proses solidifikasi.

Hasil uji karakteristik fisik dan oksida logam pada lumpur menunjukkan bahwa lumpur berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan campuran solidifikasi, yaitu sebagai agregat halus sebagai pengganti pasir. Dari uji total logam dan TCLP, sampel lumpur endapan sungai memiliki nilai yang lebih kecil daripada baku mutu untuk diklasifikasikan

sebagai limbah B3 dan dapat saja ditimbun langsung ke landfill kelas 3.

Setelah dibuat mortar benda uji melalui proses solidifikasi didapat hasil bahwa lumpur sebagai substitusi pengganti pasir sebagai agregat halus sebesar 50% dengan rasio semen:agregat halus = 1:3 dapat memenuhi kualitas *paving block* dengan mutu kelas B. Apabila digunakan untuk menghasilkan batako, maka dengan variasi yang dengan diatas dapat dihasilkan batako dengan kelas I. Variasi diatas dianggap yang paling optimum karena jumlah logam logam yang terlindikan melalui uji TCLP masih menunjukkan batas aman bagi lingkungan. Uji TCLP terhadap mortar benda uji juga membuktikan bahwa solidifikasi dapat mengikat logam dan menghambat terlindikannya logam keluar ke lingkungan.

#### DAFTAR PUSTAKA

Ahsani, Z. (2004). *Kajian Uji Durabilitas ASTM Sebagai Uji Produk Solidifikasi Stabilisasi pada Sludge IPAL Tekstil*. Laporan Tesis, ITB. Bandung.

- Mulyono, T. (2003). *Teknologi Beton*. Penerbit ANDI Yogyakarta.
- Neville, A.M. (1999). *Properties of Concrete*. Longman Group Limited, London.
- Paya, J., Borrachero, M.V., Monzo, J., Peris-Mora, E., & Amahjour, F. (2001). Enhanced Conductivity Measurement Techniques for Evaluation of Fly Ash Pozzolanic Activity. *Cement and Concrete Research* 31 (1), 41–49. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00434-8](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00434-8)
- Sugiri, S. (2002). *Bahan-Bahan Campuran Beton Pengecoran dan Perawatan Beton Sifat-Sifat Mekanik dan Fisik Beton*. Program Studi Teknik Sipil. Institut Teknologi Bandung.
- Tangpagasit, J., Cheerarot, R., Jaturapitakkul, C., & Kiattikomol, K. (2005). Packing Effect and Pozzolanic Reaction of Fly Ash in Mortar. *Cement and Concrete Research* 35 (6): 1145-1151. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.09.030>
- Widiasih, R.A. (2010). *Studi Awal Pemanfaatan Limbah Pasir Silika dan Slag Sebagai Bahan Solidifikasi*. Laporan Tugas Akhir, ITB. Bandung.
- Wahyudi, S.I. (2010). Perbandingan Penanganan Banjir Rob di La Briere (Prancis), Rotterdam (Belanda) dan Perspektif di Semarang (Indonesia). *Riptek* 4(2), 29 - 35.
- Yusuf, I.A. (2016). Determination of Kinetic Parameters for River Water Quality Model: A Case Study in the Upper Zone of Citarum River. *Jurnal Teknik Hidraulik* 7, 31-46. <http://dx.doi.org/10.32679/jth.v7i1.555>
- Ollivie, V., Fontugn, M., Hamon, C., Decai, A., Hatt, C., & Jalabadze, M. (2018). Neolithic Water Management and Flooding in the Lesser Caucasus (Georgia). *Quaternary Science Reviews* 197, 267-287. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.08.016>
- Alaoui, A., Rogger, M., Peth, S., & Blöschl, G. (2018). Does Soil Compaction Increase Floods? A Review. *Journal of Hydrology* 557, 631-642. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.12.052>
- Guo, A., Chang, J., Wang, Y., Huang, Q., & Zhou, S. (2018). Flood Risk Analysis for Flood Control and Sediment Transportation in Sandy Regions: A Case Study in the Loess Plateau, China. *Journal of Hydrology* 560, 39-55. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.02.076>
- Yeager, K.M., Schwehr, K.A., Schindler, K.J., & Santschi, P.H. (2018). Sediment Accumulation and Mixing in the Penobscot River and Estuary, Maine. *Science of The Total Environment* 635, 228-239. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.026>
- Chen, C.W., Chen, C.F., & Dong, C.D. (2012). Copper Contamination in the Sediments of Salt River Mouth, Taiwan. *Energy Procedia* 16 (Part B), 901-906. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.01.144>
- Zhao, G., Ye, S., Yuan, H., Ding, X., Wang, J., Laws, E.A. (2018). Surface Sediment Properties and Heavy Metal Contamination Assessment in River Sediments of the Pearl River Delta, China. *Marine Pollution Bulletin* 136, 300-308. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.09.035>