

# PENENTUAN CAMPURAN LUMPUR LAPINDO SEBAGAI SUBSTITUSI PASIR DAN SEMEN DALAM PEMBUATAN PAVING BLOCK RAMAH LINGKUNGAN

Ganjar Samudro\*, Mochtar Hadiwidodo, Fakhrian Aji R.

Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang  
Email: \* ganjarsamudro@gmail.com

## ABSTRAK

*Lumpur Lapindo (LL) atau Lumpur Sidoarjo (Lusi) merupakan lumpur panas, yang pemanfaatannya sangat terbatas dan menimbulkan dampak sosial dan lingkungan yang cukup besar. Karakteristik Lumpur Lapindo mengandung silikat ( $\text{SiO}_2$ ) dan kapur ( $\text{CaO}$ ) yang cukup tinggi dan bersifat pozoland. Selain kandungan kimia yang menguntungkan, Lumpur Lapindo juga bersifat B3 dengan kandungan logam berat Pb 35,41 ppm dan Cu 21,9 ppm yang melebihi baku mutu Kepmenkes no.907/2002, PP no.82/2001 dan PP no.18/1999. Teknik solidifikasi menjadi paving block dapat digunakan untuk mengubah watak fisik dan kimia limbah B3 dengan cara penambahan senyawa pengikat sehingga pergerakan senyawa-senyawa B3 dapat dihambat dan membentuk ikatan massa monolit dengan struktur yang kekar. Penambahan Lumpur Lapindo sebagai substitusi semen dan pasir ditentukan sebesar 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%, dengan pengujian terhadap kuat tekan, daya serap air dan perlintian. Penelitian ini didapatkan variasi Lumpur Lapindo sebagai substitusi pasir dan semen optimum masing-masing sebesar 30% dengan kuat tekan 408  $\text{kg/cm}^2$ , daya serap air 10,17% dan uji perlintian dihasilkan dibawah 0,03 ppm Pb dan Cu, serta biaya pembuatan 1 buah paving block berkurang dari Rp 1.302,86 per buah menjadi Rp 1.059,40 per buah. Lumpur Lapindo sebagai substitusi semen lebih baik penggunaannya dalam pembuatan paving block ramah lingkungan.*

**Kata kunci:** solidifikasi, limbah B3, Lumpur Lapindo, paving block

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Lumpur Lapindo (LL) atau Lumpur Sidoarjo (Lusi) merupakan lumpur panas, hasil dari kesalahan prosedur dalam kegiatan pengeboran pada sumur eksplorasi gas milik Lapindo Brantas inc. Dampak yang ditimbulkan selain masalah sosial, yaitu kerusakan lingkungan hidup berupa perubahan tata guna lahan/bentang alam, menurunnya keanekaragaman hayati, dan timbulnya pencemar logam berat alami. Berdasarkan uji laboratorium Wahana Lingkungan Hidup dan Teknik Lingkungan UNDIP didapatkan bahwa Lumpur Lapindo teridentifikasi secara uji laboratorium mengandung beberapa logam berat diatas baku mutu yang ditetapkan dalam Kepmenkes no.907/2002 tentang syarat dan pengawasan kualitas air minum, PP no.82/2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran, dan PP no.18/1999 tentang pengelolaan limbah B3, yaitu Timbal (Pb), Tembaga

(Cu) dan Kadmium (Cd). Sedangkan logam berat lainnya seperti Kromium (Cr), Arsen (As), Barium (Ba), Boron (B), dan Raksa (Hg) telah memenuhi ketiga baku mutu tersebut.

Pb, Cu dan Cd selalu menunjukkan nilai yang melebihi baku mutu dibanding logam berat lainnya. Penerapan imobilisasi logam berat Pb, Cu dan Cd untuk mencegah dispersi secara langsung ke lingkungan. Metode imobilisasi secara umum, mudah dan murah adalah solidifikasi. Keuntungan dari metode solidifikasi adalah mencegah dispersi partikel kasar dan cairan, meminimalkan keluarnya radionuklida dan bahan berbahaya setelah pembuangan, serta mengurangi paparan potensial. Solidifikasi Lumpur Lapindo diarahkan pada pembuatan paving block agar dapat bermanfaat ekonomis dan merupakan sumber bahan baku yang berlimpah, serta sekaligus memberi manfaat sosial bagi masyarakat di sekitar semburan Lumpur Lapindo.

Kandungan kimia yang dimiliki oleh Lumpur Lapindo seperti  $\text{SiO}_2$  53,08% dan  $\text{CaO}$  2,07% (Wiryawan dan Sudarsana), dimana kandungan silikat berfungsi sebagai material pengisi (filler), sedangkan kandungan kapur berperan dalam proses pengikatan, oleh karena itu dapat dimanfaatkan sebagai bahan campuran pembuatan paving block, batu bata, batako dan beton karena sifatnya pozoland, sehingga dapat menambahkan kekuatan sebagai pengganti semen dan harganya dapat menjadi lebih murah. (Suamita, 2011). Substitusi Lumpur Lapindo sebagai bahan baku pembuatan paving block telah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti di Indonesia. Penelitian sejenis yang pernah dilakukan tentang pemanfaatan lumpur lapindo sebagai bahan campuran pembuatan bata beton pejal (Wayan, 2009), dimana substitusi bahan dari semen terhadap Lumpur Lapindo dengan variasi antara 10% - 40%, mampu menurunkan persentase penyerapan air secara optimum sebesar 18,21% dengan komposisi campuran Lumpur Lapindo dalam semen sebesar 24,56%. Sedangkan menurut penelitian yang dilakukan Jamaluddin (2010), tentang pemanfaatan lumpur lapindo sebagai bahan baku tambahan pembuatan paving block, dengan variasi komposisi Lumpur Lapindo sebagai substitusi semen sebesar 10% dan 20%. Penentuan Lumpur Lapindo sebagai substitusi pasir dan semen yang optimum baik secara kuat tekan, daya serap air, perlintian dan biaya ditentukan sebagai acuan dalam pembuatan paving block ramah lingkungan.

## **PENELITIAN BERKAITAN DENGAN PEMENFAATAN LUMPUR LAPINDO**

Lumpur Lapindo telah banyak diteliti pemanfaatannya, khususnya untuk pembuatan paving block atau batako cetak yang memiliki kekuatan menurut syarat densitas, kuat tekan dan daya serap air. Berikut ini diketengahkan 3 (tiga) referensi terkait dengan penelitian ini, yaitu:

1. Pemanfaatan Lumpur Lapindo Sebagai Bahan Substitusi Semen Dalam Pembuatan Bata Beton Pejal, dengan tujuan mengetahui komposisi adukan yang paling ideal bila ditinjau dari segi kuat tekan dan penyerapan air dari bata beton pejal. Hasil yang didapatkan adalah bila ditinjau dari segi

penyerapan air, hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan Lumpur Lapindo sebagai bahan substitusi semen sebesar 24,56% mampu menurunkan persentase penyerapan air secara optimum, yaitu sebesar 18,21% dan menghasilkan kuat tekan sebesar 71,5  $\text{kg/cm}^2$ , yang termasuk dalam mutu beton B1. Bila ditinjau dari segi kuat tekan, penggunaan Lumpur Lapindo sebagai substitusi semen sebesar 7,25% dapat menghasilkan bata beton pejal dengan mutu beton B2, dan kuat tekan yang dihasilkan sebesar 100,1  $\text{kg/cm}^2$ , serta persentase penyerapan air sebesar 20,72% (Wiryawan dan Sudarsana, 2009).

2. Kajian Eksperimental Pada Beton Dengan Menggunakan Agregat Kasar Buatan Dari Lumpur Lapindo, dengan tujuan menentukan variasi optimum pencampuran lumpur lapindo dengan tanah liat. Hasil yang didapatkan adalah Prosentase optimum antara Lumpur Lapindo (LL) dan tanah liat (TL) dalam pembuatan artificial aggregate adalah 80% LL dan 20% TL dengan kuat tekan sebesar 11.93 MPa setelah melalui proses pembakaran (Mutiawati I., 2010).
3. Studi Pemanfaatan Lumpur Lapindo Sebagai Bahan Baku Tambahan Pembuatan Paving Block (Studi Kasus PT. Lapindo Brantas, Inc., Porong, Sidoarjo), dengan tujuan menentukan variasi optimum pencampuran Lumpur Lapindo sebagai bahan baku pembuatan paving block. Hasil yang didapatkan adalah kuat maksimum pada campuran 20% Lumpur Lapindo dengan pressing 100  $\text{kg/cm}^2$  dan umur perawatan 21 hari sebesar 251  $\text{kg/cm}^2$  (Jamaluddin M.F., 2010).

## **METODOLOGI**

### **A. Variabel Bebas**

Pemilihan range variasi campuran ini berdasarkan penelitian terdahulu seperti dalam Wiryawan dan Sudarsana (2009) bahwa kadar Lumpur Lapindo dengan perbandingan semen PC : pasir adalah 1:8. Hasil yang paling optimum adalah 24,56% atau 25% (variasi 0%, 10%, 20%, 30%, 40%). Sedangkan menurut penelitian yang dilakukan Jamaluddin M.F. (2010), tentang pemanfaatan Lumpur Lapindo sebagai

bahan baku tambahan pembuatan *paving block*, dengan memvariasikan komposisi 10% dan 20% dengan perlakuan variasi kuat tekan yang berbeda, yaitu 60 kg/cm<sup>2</sup>, 80 kg/cm<sup>2</sup>, dan 100 kg/cm<sup>2</sup>. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi persentase Lumpur Lapindo sebagai substitusi semen sebesar 10%, 20%, 30%,

40% dan 50%. Selain variasi tadi, variasi lain yang digunakan adalah penggunaan Lumpur Lapindo sebagai substitusi pasir dengan variasi 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50% dari berat pasir yang digunakan. Berikut ini diketengahkan Tabel 1 mengenai variasi substitusi Lumpur Lapindo sebagai semen dan pasir dalam penelitian.

**Tabel 1.** Variasi Substitusi Lumpur Lapindo sebagai Semen dan Pasir

% Variasi LL	Berat S (kg)		Berat LL (kg)		Berat P (kg)		Total LL dan SP (kg)	
	Non-Subs.	Subs.	Subs. Semen	Subs. Pasir	Non-Subs.	Subs.	Subs. Semen	Subs. Pasir
0%	1	1	0	0	3	3	1	3
10%	1	0.9	0.1	0.3	3	2.7	1.2	3
20%	1	0.8	0.2	0.7	3	2.3	1.5	3
30%	1	0.7	0.3	0.9	3	2.1	1.6	3
40%	1	0.6	0.4	1.2	3	1.8	1.8	3
50%	1	0.5	0.5	1.5	3	1.5	2	3

Catatan:

LL = Lumpur Lapindo

SP = Semen-Pasir

S = Semen

P = Pasir

**B. Variabel Terikat**

Variabel terikat dalam penelitian ini yaitu:

1. Kuat tekan *paving block*. Kuat tekan diukur di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Teknik Sipil UNDIP. Beberapa sampel *paving block* berbahan campuran Lumpur Lapindo ditekan menggunakan alat uji tekan, sehingga kekuatan batas maksimal beban tekan dapat diketahui.
2. Daya serap air. Uji daya serap air *paving block* dilakukan dengan cara merendam benda uji dalam air hingga jenuh (24 jam), kemudian ditimbang beratnya dalam keadaan basah. Benda uji kemudian dikeringkan dalam dapur pengering selama kurang lebih 24 jam pada suhu 105°C dan ditimbang beratnya.
3. Uji perlindungan dengan parameter konsentrasi logam berat Pb dan Cu pada *paving block*. Untuk mengetahui konsentrasi logam berat, *paving block* yang sudah berumur 28 hari, kemudian direndam dengan *aquadest*, dengan volume perendaman 10:1 dengan mengambil 10 mL air dan pengukuran

pada hari ke-1, 7, 14, 21, dan hari ke-28.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**A. Karakteristik Fisik dan Kimia Lumpur Lapindo**

Karakterisasi dimaksudkan untuk memperkuat hipotesis bahwa Lumpur Lapindo dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku *paving block*. Analisis kandungan fisik dan kimia lumpur lapindo bertujuan untuk mengetahui karakteristik fisik (meliputi berat jenis, berat isi, kadar air dan porositas) dan kimia (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, Timbal (Pb), Krom Total (Cr Total), Cadmium (Cd), dan Tembaga (Cu)) dari Lumpur Lapindo. Analisis karakteristik ini didasarkan pada sumber lumpur, serta hasil dari analisis karakteristik awal Lumpur Lapindo.

Dengan adanya karakteristik fisik dan kimia ini, maka uji perlindungan mengacu pada karakteristik fisik dan kimia yang sama sebagai perbandingan sebelum dan sesudah *treatment*. Berikut ini diketengahkan hasil karakterisasi fisik dan kimia pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Fisik dan Kimia Lumpur Lapindo

Parameter	Satuan	Hasil Analisis
<b>Fisik</b>		
Berat Jenis	gr/cm <sup>3</sup>	2,58
Berat Isi	gr/cm <sup>3</sup>	7,7
Kadar Air	%	18,91
Porositas	%	49,1
<b>Kimia</b>		
<b>Uji Mineral</b>		
SiO <sub>2</sub>	%	21,32
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	6,18
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	5,60
CaO	%	2,19
<b>Uji Kandungan Logam Berat</b>		
Timbal (Pb)	ppm	35,41
Krom (Cr) Total	ppm	-
Cadmium (Cd)	ppm	0,005
Tembaga (Cu)	ppm	21,9

Daya serap air Lumpur Lapindo cukup besar. Menurut Juniawan dkk. (2012), Lumpur Lapindo memiliki nilai porositas yang hampir sama dengan nilai porositas tanah yang biasanya berkisar antara 30-60%, sehingga memudahkan molekul-molekul air untuk terikat di dalamnya. Besarnya nilai porositas dari Lumpur Lapindo ini akan mempengaruhi kualitas daya serap air/ porositas dari *paving block* tersebut. Sedangkan menurut penelitian yang dilakukan oleh Widya (2010), berat jenis pasir seberat 1,4 gr/cm<sup>3</sup>, kadar air pasir 5,9%, dan berat isi sebesar 1,3 gr/cm<sup>3</sup>. Berat jenis maupun berat isi dari Lumpur Lapindo lebih besar daripada berat jenis dan isi dari pasir. Hal ini membuktikan bahwa semakin banyak kandungan Lumpur Lapindo yang digunakan, berat *paving block* akan semakin besar pula.

Menurut Wiryasa (2009), kandungan kimia yang dimiliki oleh Lumpur Lapindo memiliki kadar SiO<sub>2</sub> yang cukup tinggi. Kandungan kimia seperti CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> merupakan kandungan terpenting dalam pembuatan beton. Kandungan CaO dan SiO<sub>2</sub> merupakan kandungan utama yang diperlukan untuk menentukan kualitas beton. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> berfungsi untuk mempercepat proses pengerasan. Sedangkan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> memiliki suhu leleh yang rendah yang berguna untuk proses pembakaran bagi klinker dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bukan unsur yang aktif dalam semen. Sedangkan menurut Mulyono (2003), CaO dan SiO<sub>2</sub> dalam semen akan bereaksi dan menghasilkan senyawa kimia trikalsium

silikat (C<sub>3</sub>S / 3CaO.SiO<sub>2</sub>), dan dikalsium silikat (C<sub>2</sub>S/2CaO.SiO<sub>6</sub>). C<sub>3</sub>S akan segera terhidrasi, dan berpengaruh terhadap pengerasan semen sebelum berumur 14 hari. C<sub>2</sub>S akan bereaksi lambat terhadap air, sehingga berpengaruh terhadap pengerasan semen setelah lebih dari 7 hari, namun membuat semen lebih tahan terhadap serangan kimia dan juga mengurangi besar susut pengeringan. Reaksi hasil hidrasi oleh C<sub>3</sub>S akan membebaskan kalsium hidroksida (Ca(OH)<sub>2</sub>). Kalsium hidroksida (Ca(OH)<sub>2</sub>) bebas inilah yang akan bereaksi terhadap kandungan silikat (SiO<sub>2</sub>) yang dimiliki oleh Lumpur Lapindo sehingga akan menambah kekuatan beton. Adanya sifat pozzolan pada Lumpur Lapindo yang mengandung silika reaktif dapat berfungsi untuk mereduksi kapur bebas (Ca(OH)<sub>2</sub>) hasil hidrasi trikalsium silikat (C<sub>3</sub>S) dan dikalsium silikat (C<sub>2</sub>S) dan menghasilkan produk hidrasi tambahan yang bersifat sebagai perekat. Adanya bahan perekat ini akan mengisi rongga rongga kapiler besar yang terbentuk pada proses hidrasi semen. Hal ini mengakibatkan porositas dari pasta semen hidrat maupun pasta semen hidrat dan agregat akan berkurang signifikan sehingga produk beton akan meningkat (Alit, I M. 2007).

Selain kandungan kimia yang menguntungkan yang dimiliki lumpur Lapindo, kandungan logam berat Lumpur Lapindo ternyata masih cukup besar dan melebihi baku mutu yang ditetapkan dalam Kepmenkes no.907/2002, PP no.82/2001,

dan PP no.18/1999. Hal ini cukup membahayakan bagi kelangsungan makhluk hidup yang ada di sekitar lokasi Lumpur Lapindo. Oleh karena itu diperlukan sebuah *treatment* untuk mengatasi permasalahan Lumpur Lapindo dan meminimalisir bahaya akibat kandungan logam berat Lumpur Lapindo.

**Perbandingan Mutu *Paving block* Dengan Variasi Lumpur Lapindo Sebagai Substitusi Pasir dan Semen**

Untuk memilih *paving block* dengan variasi lumpur lapindo sebagai substitusi pasir dan semen yang terbaik, maka perlu dilakukan perbandingan mutu *paving block* yang telah dibuat berdasarkan uji kualitas, uji perlintian, dan analisis biaya pembuatan *paving block*. Perbandingan mutu *paving block* tersebut ditunjukkan pada Tabel 3 berikut ini:

**Tabel 3.** Perbandingan Mutu *Paving block* Dengan Variasi Lumpur Lapindo Sebagai Substitusi Pasir dan Semen

Variasi LL (%)	Substitusi Pasir				
	KT (kg/cm <sup>2</sup> )	DSA (%)	Uji Perlintian (ppm)		Biaya Pembuatan <i>Paving Block</i>
			Pb	Cu	
0	307	5,58	-	-	Rp 1.320,86
10	279	6,58	<0,03	<0,03	Rp 1.313,11
20	309	7,99	<0,03	<0,03	Rp 1.323,36
30	358	8,51	<0,03	<0,03	Rp 1.333,61
40	239	8,92	<0,03	<0,03	Rp 1.343,86
50	200	11,00	<0,03	<0,03	Rp 1.354,10

  

Variasi LL (%)	Substitusi Semen				
	KT (kg/cm <sup>2</sup> )	DSA (%)	Perlintian (ppm)		Biaya Pembuatan <i>Paving Block</i>
			Pb	Cu	
0	307	5,58	-	-	Rp 1.320,86
10	314	8,72	<0,03	<0,03	Rp 1.221,71
20	393	9,52	<0,03	<0,03	Rp 1.140,55
30	408	10,17	<0,03	<0,03	Rp 1.059,40
40	221	10,54	<0,03	<0,03	Rp 978,24
50	162	11,14	<0,03	<0,03	Rp 897,09

Pada variasi tanpa penambahan Lumpur Lapindo sebesar 0% atau dapat dikatakan *paving block* normal, kuat tekan *paving block* adalah 307 kg/cm<sup>2</sup> dengan daya serap air 5,58% dan biaya pembuatan untuk 1 buah *paving block* adalah sebesar Rp 1.320,86. Pada *paving block* tanpa penambahan Lumpur Lapindo, tidak dilakukan uji perlintian karena diperuntukkan sebagai kontrol terhadap variasi Lumpur Lapindo sebagai substitusi pasir dan semen.

Pada variasi Lumpur Lapindo sebagai substitusi pasir sebesar 30%, kuat tekan mengalami peningkatan yang cukup signifikan menjadi 358 kg/cm<sup>2</sup>, dan mengalami peningkatan sebesar 51 kg/cm<sup>2</sup> (14,24%). Daya serap air juga mengalami peningkatan menjadi 8,51%, dan naik sekitar 2,93 (34,43%). Menurut Wiryasa

(2009), besar kecilnya daya serap air lebih dipengaruhi oleh besarnya kandungan SiO<sub>2</sub>, tetapi juga didukung oleh peranan kandungan CaO dalam menjaga keterikatan antara material dalam bata beton (*paving block*). Biaya pembuatan *paving block* mengalami peningkatan menjadi Rp 1.333,61 atau naik sekitar Rp 30,75 (2,36%) terhadap biaya pembuatan *paving block* tanpa penambahan Lumpur Lapindo (*paving block* normal). Sedangkan variasi Lumpur Lapindo sebagai substitusi semen sebesar 30%, kuat tekan mengalami peningkatan yang cukup signifikan menjadi 408 kg/cm<sup>2</sup>, dan mengalami peningkatan sebesar 101 kg/cm<sup>2</sup> (24,75%). Daya serap air juga mengalami peningkatan menjadi 10,17%, dan naik sekitar 4,58 (45,13%). Biaya pembuatan *paving block* mengalami penurunan menjadi Rp 1.059,40 atau turun

sekitar Rp 243,47 (18,67%) terhadap biaya pembuatan *paving block* tanpa penambahan lumpur lapindo (*paving block* normal).

Menurut Munir (2008), penggunaan Lumpur Lapindo sebagai substitusi berlebih diatas 30% membuat kualitas kuat tekan menurun secara drastis. Hal ini disebabkan karena jumlah pasir yang semakin sedikit daripada jumlah Lumpur Lapindo yang membuat daya ikatan (*setting*) atau proses pengikatan antara pasir dan semen tidak berjalan dengan sempurna. Pengikatan ini dipengaruhi oleh senyawa trikalsium silikat ( $C_3S$ ) dan dikalsium silikat ( $C_2S$ ) yang sedikit dan proses pengikatan tidak berjalan dengan baik.

Apabila dilihat dari penyerapan air maksimal sebesar 6%, maka *paving block* tanpa penambahan lumpur lapindo (variasi 0%) dikategorikan bermutu B yang dapat digunakan untuk peralatan parkir, dan memenuhi standar SNI 03-0691-1996 tentang *paving block*. Untuk *paving block* dengan variasi Lumpur Lapindo sebagai substitusi semen sebesar 30%, mutu *paving block* adalah A dengan kuat tekan sebesar  $408 \text{ kg/cm}^2$  yang dapat digunakan untuk jalan. Namun untuk penyerapan air terlalu tinggi, yaitu sebesar 10,17%, sebagaimana disebutkan pada SNI 03-0691-1996 tentang *paving block* untuk *paving block* mutu A dengan penyerapan air maksimal adalah 3%. Pada variasi 30% ini biaya pembuatan jauh lebih murah daripada tanpa penambahan Lumpur Lapindo, dikarenakan harga lumpur Lapindo lebih murah daripada harga semen.

Semua variasi Lumpur Lapindo sebagai substitusi pasir dan semen aman untuk diaplikasikan dan memenuhi baku mutu PP no.18/1999. Kecilnya konsentrasi Pb dan Cu setelah dilakukan proses solidifikasi disebabkan karena kontaminan dijebak dalam padatan yang terbentuk oleh proses solidifikasi. Kontaminan tidak dapat berinteraksi langsung dengan kontaminan lain, dan hanya dapat berinteraksi dengan reagen solidifikasi (Pranjoto, 2007). Menurut LaGrega, *et. al.* (1994), stabilisasi dengan semen merupakan yang paling cocok untuk limbah anorganik, terutama logam berat. Logam berat seperti Pb, Cu, Zn, dan Cd akan ditahan dan terikat oleh bentuk terlarut dari hidroksida dan garam karbonat yang terbentuk dari hasil hidrasi semen, sehingga dapat

membatasi/menghambat pergerakan senyawa  $B_3$  dan membentuk struktur yang kuat dan keras. Menurut Moerdwiyono (1998) dalam Anastasia (2010), bahan pengikat dalam proses stabilisasi/solidifikasi berupa semen, logam akan dihentikan atau dibatasi kelarutannya dalam bentuk garam karbonat atau hidroksida. Dari reaksi, diketahui logam Pb membentuk garam karbonat  $Pb(CO_3)_2$  dan hidroksida  $Pb(OH)_2$ . Senyawa tersebut dibatasi dalam struktur keras yang dibentuk semen dan pasir sehingga tidak larut dalam air rendaman. Menurut Pudjaatmaka (1993) dalam Nisita (2010), reaksi kimia yang terjadi terhadap logam Cu dalam limbah jika bereaksi dengan hidroksida Ca dalam pasta semen adalah tembaga (*cuprum*) akan membentuk hidroksida  $Cu(OH)_2$ . Pb (*timbal*) merupakan logam berat yang berbahaya bila terpapar di lingkungan secara bebas. Sedangkan logam tembaga (Cu) merupakan salah satu logam esensial yang diperlukan oleh makhluk hidup dalam pertumbuhannya. Menurut Setyowati (2007), bila kandungan logam Cu terlalu berlebih dapat menyebabkan diare, muntah, kerusakan liver dan ginjal bila lebih dari 1 mg/hari.

Penggunaan Lumpur Lapindo sebagai substitusi pasir tidak direkomendasikan untuk digunakan dikarenakan biaya produksi lebih besar. Selain itu dikarenakan harga Lumpur Lapindo lebih mahal daripada harga pasir, dan kualitas kuat tekan tidak terlalu bagus bila dibandingkan dengan *paving block* standar maupun penggunaan Lumpur Lapindo sebagai substitusi semen. Peranan Lumpur Lapindo sebagai substitusi sebagian pasir, mempengaruhi daya serap air pada *paving block*. Fungsi Lumpur Lapindo sebagai bahan pengisi (*filler*) kurang baik karena kadar lumpur terlalu banyak. Berdasarkan analisis pendahuluan, kadar air Lumpur Lapindo cukup tinggi, yaitu 43,34%. Oleh karena itu, ketika proses hidrasi semen terjadi, rongga udara yang terbentuk semakin banyak karena air yang menguap akan lebih besar. Rongga rongga udara inilah yang akan meningkatkan daya serap air pada *paving block*. Menurut Murdock dan Brook (1991), beton dan *paving block* mempunyai kecenderungan berisi rongga akibat adanya gelembung-gelembung udara yang terbentuk selama atau sesudah pencetakan. Sehingga rekomendasi hasil penelitian optimum ditentukan pada

penggunaan Lumpur Lapindo sebagai substitusi semen. Berdasarkan matriks perbandingan mutu, variasi Lumpur Lapindo sebagai substitusi semen sebesar 30% merupakan komposisi yang layak digunakan, ditinjau dari aspek kualitas kuat tekan, perlindungan, pembiayaan dan banyaknya pemanfaatan lumpur lapindo, yang diketahui sebagai bencana dan mengandung kandungan logam berat yang cukup tinggi. Walaupun daya serap air nya jauh dari standar yang ditentukan, namun sudah cukup aman bila diaplikasikan. *Paving block* yang baik memiliki kuat tekan yang tinggi, namun memiliki daya serap air yang kecil. Semakin tinggi kuat tekannya, semakin rendahnya daya serap air *paving block*, maka *paving block* akan semakin kuat dan bermutu baik (Putra, 2010).

## KESIMPULAN

Kesimpulan penelitian ini didapatkan matriks perbandingan mutu dimana komposisi optimum solidifikasi Lumpur Lapindo sebagai bahan campuran *paving block*, adalah pada variasi penambahan Lumpur Lapindo sebagai substitusi semen sebesar 30%, dimana kuat tekan mengalami peningkatan yang cukup signifikan dari kuat tekan 307 kg/cm<sup>2</sup> menjadi 408 kg/cm<sup>2</sup>, dan mengalami peningkatan sebesar 101 kg/cm<sup>2</sup> (24,75%). Daya serap air juga mengalami peningkatan dari 5,58% menjadi 10,17%, dan naik sekitar 4,58 (45,13%), dengan kandungan logam Pb dan Cu dibawah baku mutu sesuai PP no.18/1999. Biaya pembuatan *paving block* mengalami penurunan dari harga Rp 1059,40 atau turun sekitar Rp 243,47 (18,67%) terhadap biaya pembuatan *paving block* tanpa penambahan Lumpur Lapindo (*paving block* normal).

## DAFTAR PUSTAKA

- Alit, I. M. (2007). *Perbandingan Kuat Tekan dan Permeabilitas Beton yang Menggunakan Semen Portland Pozzolan dengan yang Menggunakan Semen Portland Tipe I*. Bahan Seminar Konstruksi Tahan Gempa di Indonesia, Yogyakarta.
- Jamaluddin, M. F. (2010). *Studi Pemanfaatan Lumpur Lapindo Sebagai Bahan Baku Tambahan Pembuatan Paving Block*. Universitas Muhammadiyah Malang: Malang.
- Juniawan, A., Rumhayati, B. dan Ismuyanto, B. (2012), *Karakteristik Lumpur Lapindo Dan Fluktuasi Logam Berat Pb dan Cu Pada Sungai Porong dan Aloo*. Jurnal Sains dan Terapan Kimia Vol 7, No 1, p. 50-59
- Kepmenkes no.907/2002, *Syarat dan Pengawasan Kualitas Air Minum*.
- LaGrega, M. D., Buckingham, P. L and Evans, J. C. (1994), *Hazardous Waste Management*. Mc Graw Hill Companies Inc.:USA.
- Mulyono, T. (2003). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: ANDI.
- Munir, M. (2008).. *Pemanfaatan Abu Batubara (Fly Ash) Untuk Hollow Block Yang Bermutu dan Aman Bagi Lingkungan*. Tesis Program Magister Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Diponegoro: Semarang.
- Murdock, L. J. dan Brook, J. J. (1991). *Bahan dan Praktek Beton*. Jakarta: Erlangga.
- Mutiawati, I. (2010). *Kajian Eksperimental Pada Beton Dengan Menggunakan Agregat Kasar Buatan Dari Lumpur Lapindo*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro: Semarang.
- Nisita, D. (2010). *Pemanfaatan Limbah Fly Ash Sisa Pembakaran Batu Bara Dengan Metode Solidifikasi-Stabilisasi Sebagai Bahan Campuran Paving Block Geopolimer (Studi Kasus: PLTU Tanjung Jati B Jepara)*. Tugas Akhir Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro: Semarang.
- Putra, R. N. (2010). *Optimasi Kuat Tekan, Resapan, dan Keausan Paving Block Abu Vulkanik Dengan Pendekatan The Fuzzy Logics*. Institut Sepuluh November: Surabaya.
- PP no.82/2001, *Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran*
- PP no.18/1999, *Pengelolaan Limbah B3*
- Setyowati, S., Suprpti, N. H. dan Wiryani, E. (2007). *Kandungan Logam Tembaga (Cu) dalam Eceng Gondok, Perairan dan Sedimen Berdasarkan Tata Guna Lahan di Sekitar Sungai Banger Pekalongan*. Universitas Diponegoro: Semarang.
- SNI 03-0691-1996, I

---

**Ganjar S., Mochtar H., Fakhrian A.R.**  
*Penentuan Campuran Lumpur Lapindo  
sebagai Substitusi Pasir dan Semen*

Widya, A. (2010). *Stabilisasi – Solidifikasi Bottom Ash Hasil Pembakaran Batu Bara Dari Unit Boiler di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (Studi Kasus: PLTU Tanjung Jati B Jepara)*. Tugas Akhir Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro: Semarang.

Wiryasa, Ngk. M. A dan Sudarsana, I. W. (2009). *Pemanfaatan Lumpur Lapindo Sebagai Bahan Substitusi Semen Dalam Pembuatan Bata Beton Pejal*. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Vol. 13, No. 1, Hal. 38-46