

PAVING BLOCK RAMAH LINGKUNGAN BERBASIS LUMPUR DARI INSTALASI PENGOLAHAN AIR MINUM

Environmentally Friendly Paving Block Based on Sludge of Drinking Water Treatment Plant

Eko Siswoyo, Akbar Hanifanur Prayitno, Noor Shofia Rahma

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,

Universitas Islam Indonesia, Jalan Kaliurang KM 14,5 Yogyakarta 55584

Surel: eko_siswoyo@uii.ac.id; abayways@gmail.com; shofiarahma02@gmail.com

Diterima : 09 Desember 2021;

Disetujui : 28 April 2022

Abstrak

Lumpur yang dihasilkan dari instalasi pengolahan air minum di Indonesia masih belum dimanfaatkan dengan baik dan menjadi permasalahan bagi lingkungan. Salah satu alternatif yang dapat diterapkan yaitu dengan memanfaatkan lumpur tersebut sebagai bahan baku paving block. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa perbandingan limbah lumpur yang baik dari hasil uji daya serap air, uji kekuatan dan uji Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) kemudian juga untuk mengetahui mutu paving block serta nilai tambah ekonomi dalam produksi paving block. Pada penelitian ini dibuat beberapa variasi komposisi lumpur PDAM yaitu 0%, 10%, 30% dan 50% dari komposisi total bahan paving block. Proses pembuatan paving block mengikuti prosedur yang ada yaitu tahapan pembuatan komposisi beton yang diinginkan, melakukan pencetakan dengan mesin press, melakukan pengeringan selama 14 hari dan perendaman selama 14 hari berikutnya. Setelah melalui tahap pengerasan selama 28 hari, kemudian dilakukan pengukuran kuat tekan dan daya serap air yang mengacu pada SNI 03-1691-1996. Selain itu dilakukan juga uji TCLP untuk mengetahui potensi limbah berbahaya yang dapat timbul dari produk paving block yang dihasilkan. Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa komposisi limbah lumpur 10% memberikan hasil uji kuat tekan rata-rata sebesar 8,55 MPa dan daya serap air rata-rata sebesar 3,57%. Hasil uji ini dapat memenuhi uji mutu paving block kategori 'D' sesuai dengan SNI-03-0691-1996. Dan pada hasil uji TCLP menunjukkan kadar logam berat yang diujikan tidak melebihi dari baku mutu yang ada.

Kata Kunci: Daya serap air, kuat tekan, limbah lumpur PDAM, paving block, TCLP

Abstract

Sludge of drinking water treatment plants in Indonesia is still not utilized properly and caused problem for the environment. One alternative that can be applied is by utilizing the sludge waste as a substitution material for paving blocks. This study aims to analyze the best comparison of sludge waste substitution to make concrete bricks based from the results of the water absorbency test, compressive strength test and Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) test then also to find out the quality of paving block and knowing economic value added in the production of substituted paving block. In this study, several variations of the composition of DWTP sludge were made, the composition were 0%, 10%, 30% and 50% of the total composition of the paving block material. The process of making paving blocks were following the existing procedures, the steps that must be done including concrete mixture composing, molding with a press machine, doing drying for 14 days and soaking for the next 14 days. After going through the hardening stage for 28 days, then the measurements of compressive strength and water absorption were tested out referring to SNI 03-1691-1996. In addition, TCLP tests were also conducted to determine the potential of hazardous waste that can be leached from the produced paving block products. The results of the testing showed that the composition of the 10% sludge waste gave an average compressive strength test of 8.55 MPa and an average water absorption test of 3.57%. The results of this test can meet the quality test of category 'D' paving blocks in accordance with SNI-03-0691-1996. And the TCLP test results showed no levels of heavy metals tested were exceeding the existing standards and regulations.

Keywords: Water absorption, compressive strength, DWTP sludge, paving block, TCLP

PENDAHULUAN

Pengolahan air baku untuk persediaan yang dapat diminum biasanya melibatkan proses koagulasi, flokulasi, sedimentasi dan penyaringan untuk menghilangkan koloid serta padatan tersuspensi dari air baku. Semua Instalasi Pengolahan Air (IPA) menghasilkan limbah/residu yang dikenal sebagai air lumpur selama pemurnian air baku (Ahmad, et al., 2016). Limbah lumpur yang tidak ditangani dengan tepat dapat menyebabkan kerusakan lingkungan, salah satunya yaitu kerusakan tanah dan air tanah. Hal ini karena limbah lumpur terakumulasi secara kontinyu dalam badan air, tumbuhan dan berakhir pada manusia. Akumulasi polutan dalam jaringan tubuh dapat menyebabkan disfungsi organ bahkan kematian (Rizzardini and Goi, 2014).

Penanganan limbah lumpur dapat dilakukan dengan berbagai cara. Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa pemanfaatan lumpur sebagai alternatif agregat halus untuk campuran beberapa produk bahan bangunan dengan metode solidifikasi dapat memenuhi standar dan regulasi yang ada. Salah satu pemanfaatan limbah padat seperti halnya lumpur yaitu sebagai bahan campuran pembuatan paving (Udawattha et al., 2017; Zifeng et al., 2020). Dalam rangka ikut serta dalam menyelesaikan permasalahan limbah lumpur PDAM Bandarmasih, maka perlu dilakukan penelitian tentang pemanfaatan limbah lumpur untuk bahan bangunan paving block. Pada pemanfaatan limbah padat tersebut perlu diperhatikan bahwa produk paving block yang dihasilkan dapat memenuhi uji mutu yang berlaku dan memiliki nilai ekonomis yang bersaing (Wang et al., 2018). Beberapa penelitian terkait pemanfaatan limbah untuk pembuatan paving block sudah dilakukan antara lain limbah pecahan gelas dan abu dari pembakaran (Wang et al., 2019) serta penggunaan limbah plastik sebagai pengikat dalam pembuatan paving block (Agyeman et al., 2019).

Paving block tipe K-300 dipilih secara spesifik dikarenakan tipe ini merupakan jenis yang cukup fleksibel penggunaannya di pasaran. Paving block Tipe K-300 dapat memenuhi mutu A pada Standar Nasional Indonesia dan dapat diperuntukkan pada segala aspek termasuk di dalamnya dapat difungsikan sebagai pengganti dari mutu-mutu di bawahnya.

METODE

Pembuatan Sampel Uji

Untuk dapat mensubstitusikan lumpur sebagai agregat halus pengganti pasir, yang mana pasir

merupakan material yang biasa digunakan dalam pembuatan paving block konvensional. Setelah diketahui karakteristik awal dari lumpur sebagai bahan penyusun pengganti dari paving block K-300 yang akan dibuat. Selanjutnya akan dibuat sampel paving block. Sampel dibuat menggunakan mesin cetak hidrolik merk Vjar Johnson dengan kapasitas tekan 20 ton. Ukuran cetakan yang dipakai adalah 8x20x6cm. Sampel akan siap setelah melalui beberapa perlakuan awal.

Pengeringan Lumpur

Secara definitif, limbah lumpur merupakan zat padat, semi-padat ataupun cair yang dihasilkan dari effluent pengolahan limbah. Lumpur yang dimanfaatkan sebagai pengganti agregat halus, harus memiliki karakteristik yang sama atau yang mendekati sifat dan karakteristik dari agregat halus itu sendiri. Oleh karena itu, perlu adanya proses pengeringan untuk menghilangkan kandungan air dalam lumpur, sehingga spesifikasi limbah lumpur dapat mendekati persyaratan agregat halus pada umumnya. Lumpur kemudian dipindahkan ke dalam wadah dan dikeringkan di dalam oven selama 24 jam. Setelah dikeringkan, lumpur akan berbentuk seperti bongkahan-bongkahan batu.

Penggilingan Agregat

Lumpur yang sudah kering akan berbentuk seperti bongkahan batu, yang mana butuh dihaluskan untuk mempermudah mendapatkan ukuran agregat halus yang diinginkan. Lumpur kering dihaluskan menggunakan mesin abrasi Los Angeles dengan cara memasukkan lumpur kering ke dalam mesin dengan pengaturan putaran sebanyak 700 rotasi. Pemakaian dan penggunaan mesin dapat dilihat dalam Gambar 1.



Gambar 1 Penghalusan Lumpur Menggunakan Mesin Los Angeles

Prinsip kerja mesin abrasi Los Angeles adalah dengan memutar sebuah tabung (*chamber*) yang berisi agregat, bersama dengan bola-bola baja didalamnya. Selama pemutaran terjadi penumbukan agregat halus oleh bola-bola baja. Sehingga semakin banyak putaran yang diatur, hasil dari penggilingan mesin abrasi cenderung semakin halus. Hal ini juga dipengaruhi dari banyaknya jumlah agregat yang dimasukkan, semakin banyak agregat yang dimasukkan maka putaran yang dibutuhkan juga semakin banyak untuk memperoleh hasil agregat yang diinginkan (SNI 2417:2008).

Pengayakan Agregat

Sesuai dengan SK SNI-S-04-1989-F tentang bahan penyusun beton dan agregat. Agregat halus adalah semua material dari proses pemecahan, penumbukan dan penghalusan yang dapat melalui lubang saringan 4,8 mm (saringan no. 4). Lumpur yang sudah digiling kemudian diayak menggunakan mesin pengayak dan saringan no. 4 yang berukuran lubang 4,8 mm selama satu menit. Pemilihan saringan no. 4 disesuaikan dengan persyaratan ukuran maksimal agregat halus dalam standar.

Pada tahapan ini, lumpur yang pada awalnya tidak memenuhi standar sebagai agregat halus dikarenakan basah, lunak dan ukuran partikelnya belum dapat ditentukan setelah melalui beberapa perlakuan awal di atas, maka sifat dan karakteristik dari lumpur sudah mendekati agregat halus yang kering, keras dan ukurannya sudah disesuaikan dengan ketentuan standar agregat halus. Maka, agregat halus yang berasal dari lumpur sudah dapat digunakan sebagai bahan substitusi agregat halus *paving block* konvensional yaitu pasir.

Pembuatan Adonan *Paving Block* K-300

Dalam pembuatan adonan, SNI-7394-2008 tentang Pekerjaan Beton menyuguhkan data berupa *trial mix*, yaitu estimasi komposisi dan perbandingan material penyusun beton untuk mencapai mutu tertentu. Dituliskan dalam dokumen SNI tersebut bahwa untuk mencapai kualitas mutu K-300, maka diperlukan perbandingan antara zat pengikat (semen) dan agregat yaitu 1 : 3.

Dalam hal ini, dilakukan juga observasi kepada pengrajin *paving block* di sekitar Kampus Terpadu UII terkait komposisi adonan yang biasa dibuat dan informasi yang didapat mengenai komposisi adonan untuk mencapai mutu K-300 adalah 1 : 3 sampai dengan 1 : 4. *Paving block* yang dibuat dalam penelitian ini didasarkan pada percobaan pendahuluan terhadap kandungan semen dan total berat sampel, sehingga setelah *trial and error*

didapatkan komposisi konfigurasi variabel sebagaimana terlihat pada tabel 1.

Tabel 1 Komposisi *Paving Block*

(K-300/MUTU A)			
Variabel	Perbandingan Komposisi		
	Lumpur	Pasir	Semen
A	0%	75%	25%
B	50%	25%	25%
C	30%	45%	25%
D	10%	65%	25%

Pencetakan *Paving Block* K-300

Pencetakan dilakukan dengan memasukkan campuran material yang sudah terukur sesuai komposisinya, kedalam cetakan berukuran 8×20×6 cm. Satu set cetakan dapat diisi campuran material setara dengan 12 *paving block*. Setelah campuran material dimasukkan dan diratakan dalam cetakan, kemudian ditekan menggunakan mesin hidrolik merk Vjar Johnson dengan kekuatan tekan 20 ton. *Paving block* yang selesai diproduksi dapat dilihat dalam Gambar 2.



Gambar 2 Sampel *Paving Block* Hasil Produksi

Proses pencetakan dilakukan bertahap sesuai dengan variabel komposisi yang direncanakan. Setelah semua variabel komposisi berhasil dicetak, kemudian *paving block* disusun di atas papan sesuai dengan kategorinya untuk dikeringkan.

Pengeringan dan Perendaman *Paving Block*

Menurut pedoman Peraturan Beton Indonesia 1971 N.1.-2 tentang mekanisme campuran desain beton, bahwa campuran beton akan mengalami peningkatan kekuatan secara cepat hingga usia pengeringan selama 28 hari. Setelahnya kekuatan beton akan meningkat dengan tidak signifikan dan akan berakhir statis. Dalam buku *Teknologi Beton* oleh Tjokrodiluljo, data hubungan kekuatan beton dengan usia pengeringan dikutip dan dirangkum dalam Tabel 2.

Tabel 2 Waktu Pengeringan Paving Block

Umur Beton	Hari						
	3	7	14	21	28	90	365
Semen Portland Biasa	0,4	0,65	0,88	0,95	1,2	1,2	1,35
Semen Portland dengan kekuatan awal yang tinggi	0,55	0,75	0,9	0,95	1,15	1,15	1,2

Dalam penelitian sebelumnya mengenai usia pengeringan dan perbandingan antara beton dengan perendaman dan yang tanpa perendaman, menunjukkan bahwa kekuatan beton dengan perendaman akan lebih kuat dari pada beton tanpa perawatan (Kumaat, 2013). Mempertimbangkan hal tersebut, *paving block* yang diproduksi dalam penelitian ini akan direndam setelah 7 hari, pengeringan selama 14 hari, dan kemudian dikeringkan lagi hingga berusia 28 hari.

Uji Kualitas Kuat Tekan

Kuat tekan adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Uji kuat tekan dimaksudkan untuk mendapatkan nilai *compressive strength* dengan benda uji yang ditujukan untuk memenuhi standar penggunaan tertentu. Adapun cara pengujian berdasarkan metode standarisasi uji tekan, adalah:

1. Meletakkan benda uji secara sentris
2. Jalankan mesin tekan dengan penambahan beban yang konstan berkisar antara 2 sampai 4 kg/cm² per detik
3. Lakukan pembebanan sampai benda uji hancur dan catatlah beban maksimum yang terjadi selama benda diuji
4. Lalu melakukan kalkulasi
5. $Kuat\ tekan = \frac{Beban\ Maksimum}{Luas\ penampang}$
6. Catat hasil Kuat tekan benda uji

Daya Serap Air

Daya serap air adalah nilai besaran suatu benda uji dalam menyerap air dengan membandingkan berat basah dan berat kering suatu benda uji. Uji daya serap air dapat dilakukan dengan beberapa tahapan antara lain :

1. Merendam benda uji dalam air selama 24 jam.
2. Lalu mengeringkan benda uji dalam oven dengan suhu 105°C selama 24 jam
3. Membandingkan berat basah dan berat kering dengan kalkulasi

4. $Penyerapan\ air = \frac{Berat\ basah - Berat\ kering}{Berat\ kering} \times 100\%$

5. Mencatat hasil

Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP)

TCLP menurut PP Nomor 101 Tahun 2014 merupakan prosedur laboratorium untuk memprediksi potensi pelindian B3 dari suatu limbah. Suatu zat atau senyawa yang nantinya akan dimanfaatkan dan ditempatkan di suatu tempat yang dapat memapar lingkungan. Dalam hal ini, produk *paving block* yang dibuat perlu diuji untuk mengetahui berapa tingkat perlindian dari kandungan yang ada dalam komposisi campuran dari *paving block* itu sendiri.

Metode pengukuran TCLP dilakukan sesuai dengan arahan kerja yang ada dalam lampiran publikasi umum dari USEPA Nomor 1131 dan hasilnya akan disesuaikan dengan ambang baku mutu dari PP.101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah B3.

Uji Karakteristik Lumpur

Untuk mengetahui karakteristik awal dari lumpur yang akan dijadikan sampel uji, maka dilakukan uji Kristalografi menggunakan alat XRD (*X-Ray Diffraction*) dengan prinsip menembakkan cahaya *x-ray* dan memanfaatkan fenomena difraksi. Sehingga akan didapatkan data berupa grafik yang berisi informasi mengenai puncak difraksi, jarak bidang, struktur kristal dan spektrum identitas kristal. Kemudian data yang dihasilkan akan diproses menggunakan aplikasi *Match!* yang berisi database spektrum kristalografi. Prinsip kerja aplikasi ini adalah dengan membandingkan data yang dihasilkan dari XRD dengan database yang tersedia terkait data kristalografi yang diperoleh (Cullity, 1956).

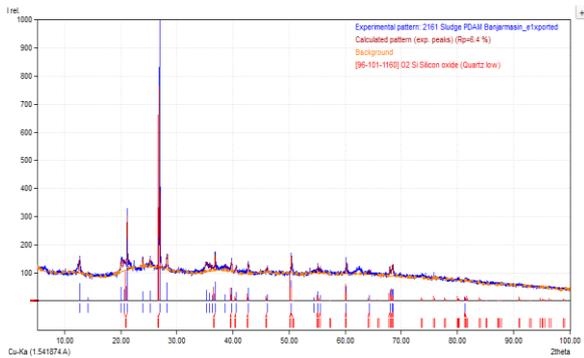
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kandungan dan Karakteristik

Untuk mengetahui kandungan dan karakteristik awal dari lumpur yang dijadikan bahan campuran pembuatan *paving block*, maka dilakukan uji kristalografi menggunakan alat *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui kecenderungan sifat dan karakteristik lumpur yang menjadi bahan substitusi atau bahan pengganti agregat halus dalam pembuatan *paving block*.

Kemudian untuk mengetahui senyawa apa saja yang terkandung dalam spektrum difraksi tersebut, maka kemudian data tersebut dikonversi ke dalam data digital yang selanjutnya dibandingkan dalam database kristalografi dengan program komputer

Match! untuk mengidentifikasi senyawa apa yang terkandung dalam lumpur tersebut. Hasil uji XRD dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Hasil Uji XRD

Dari pencocokan yang dioperasikan oleh algoritma dalam aplikasi Match! , diperoleh kecocokan paling mendekati yaitu dengan faktor kesalahan sebesar 6,4% bahwa yang terkandung dalam lumpur tersebut adalah senyawa SiO₂ dengan kecocokan sebesar 84%. Untuk data yang lebih mendetail dapat di simplifikasikan dalam cuplikan report dari aplikasi yang dirangkum dalam Tabel 3.

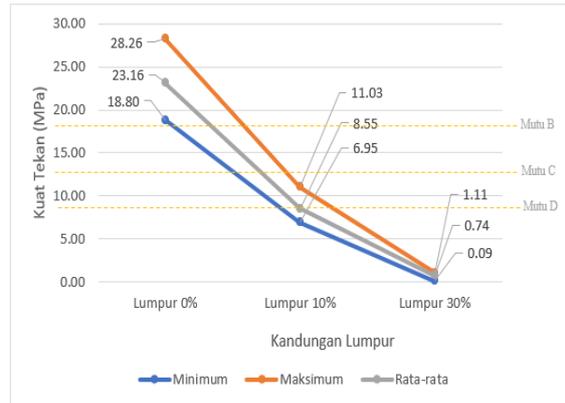
Tabel 3 Kandungan Senyawa Dalam Lumpur

Index	Amount (%)	Name	Formula Sum
A	84.3	Silicon Quartz Low	O ₂ Si
B	7.9	Molybdenum Fluoride	F ₆ Mo
C	7.8	Jamborite	HNiO ₂
	6.8	Unidentified	

Kuat Tekan

Sesuai dengan SNI 03-0691-1996 tentang bata beton, salah satu prosedur uji yang diatur sebagai ketetapan teknis yang harus dipenuhi oleh paving block yang di produksi adalah kuat tekan. Paving block yang telah produksi di potong menggunakan gerinda hingga mendapatkan ukuran 6 x 6 x 6 cm. Kemudian sampel tersebut diuji menggunakan Universal Test Machine dengan mempertimbangkan dimensi dari kubus yang di uji. Hasil dari pengujian kuat tekan pada masing-masing variabel dapat dilihat dalam Gambar 4.

Dari hasil pengujian tersebut dapat diidentifikasi bahwa semakin banyak kandungan lumpur yang disubstitusikan sebagai pengganti pasir menyebabkan semakin menurunnya kekuatan tekan dari paving block yang diuji. Hanya pada kandungan lumpur 10% yang dapat terkategori sebagai paving block yang layak pakai, yaitu memenuhi kategori paving block mutu D.

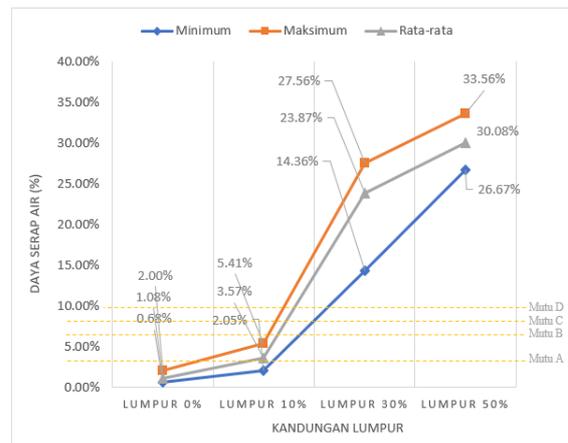


Gambar 4 Hasil Uji Kuat Tekan

Pada pengujian kuat tekan sampel paving block, untuk kandungan lumpur 50% tidak dilakukan pengujian. Hal ini dikarenakan paving block yang diproduksi memiliki bentuk fisik yang cacat, rapuh dan dapat hancur ketika digenggam. Melalui pertimbangan ini, uji kuat tekan tidak perlu dilakukan karena hasil yang diperoleh dapat diasumsikan buruk atau lemah. Diterangkan bahwa kandungan lumpur dapat mempengaruhi kuat tekan, kuat tarik dan berat jenisnya. Hal ini dikarenakan lumpur menghalangi ikatan antar semen dan butiran agregat halus dalam campuran bata beton yang di produksi (Septianto, 2017).

Daya Serap Air

Masih dalam tahapan prosedur uji yang diatur dalam SNI 03-0691-1996 tentang bata beton. Paving block yang telah di produksi harus dapat memenuhi uji daya serap air. Sampel dikeringkan di dalam oven selama 24 jam untuk mendapatkan berat kering. Kemudian setelah dipastikan benar-benar kering, sampel kemudian direndam di dalam wadah berisi air selama 24 jam, kemudian diukur daya serap airnya. Berikut hasil dari pengujian daya serap air dari setiap variabel komposisi dapat dilihat pada Gambar 5. Terlihat bahwa dengan



Gambar 5 Hasil Uji Daya Serap Air

meningkatnya jumlah lumpur, daya serap airnya juga meningkat. Daya serap air dipengaruhi oleh komposisi material dalam *paving block* (Udawattha et al., 2017).

Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP)

Dalam penelitian kali ini, parameter toksisitas yang diujikan khusus logam berat. Pengujian hanya dilakukan pada variabel kandungan lumpur 10% dikarenakan hanya variabel tersebut yang memenuhi standar kualitas yang diujikan. Beberapa penelitian sebelumnya sudah dilakukan upaya mengidentifikasi kandungan logam berat limbah lumpur PDAM. Diantaranya dalam penelitian Karakterisasi Lumpur Hasil Pengolahan Air PDAM Tirta Pakuan Bogor, menunjukkan kadar logam yang cukup tinggi antara lain : Cu 1036,9 µg/g dan Cd 2,0 µg/g (Shelvi, 2012). Maka dilakukan analisis kandungan logam berat setelah melalui uji TCLP antara lain Zn, Cd, Cu, Pb dan Cr. Hasil dari pengukuran alat uji AAS (*Atomic Absorbtion Spektrofotometri*) ditunjukkan oleh Tabel 4.

Tabel 4 Hasil Uji TCLP

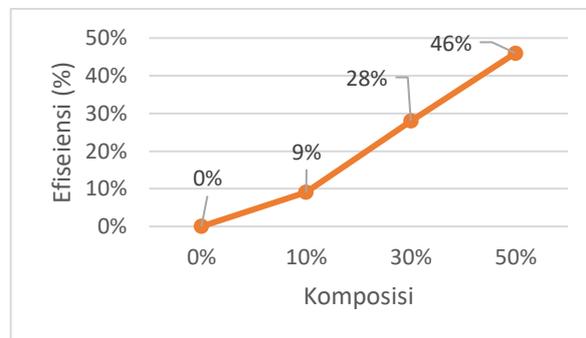
Nama Sampel	Parameter yang diujikan (mg/L)				
	Pb	Zn	Cu	Cd	Cr
K-300	0.287	1.533	3.610	0.175	1.023
Parameter PP.101 Tahun 2014	3	300	60	0.9	15

Berdasarkan hasil pembacaan AAS, limbah lumpur yang telah diekstraksi menggunakan prosedur TCLP tidak menunjukkan hasil yang melebihi baku mutu atau tidak termasuk ke dalam kategori limbah B3 berdasarkan PP. 101 Tahun 2014 tentang pengelolaan limbah. Lumpur dari instalasi pengolahan air minum aman untuk digunakan sebagai bahan campuran *paving block* karena kandungan logam berat yang ada masih memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan (Siswoyo et al., 2014; Siswoyo et al., 2019).

Analisis Nilai Tambah Ekonomi

Pemanfaatan material limbah padat sebagai bahan campuran *paving block* dapat memberikan nilai ekonomi lebih (Li et al., 2019). Analisis nilai tambah ekonomi pada dasarnya dilakukan untuk mengetahui berapa banyak nilai ekonomi yang dapat dihemat jika mensubstitusi agregat halus yang biasa dipakai (pasir) dengan limbah lumpur. Nilai tambah ekonomi dikalkulasi dengan cara membandingkan jumlah biaya produksi *paving block* yang dibuat dengan metode standar dan jumlah biaya produksi *paving block* yang dibuat

menggunakan limbah lumpur. Perbandingan biaya produksi yang dimaksud adalah perbandingan biaya penggunaan material bahan dalam pembuatan *paving block* konvensional dan biaya penggunaan material bahan dalam pembuatan *paving block* yang disubstitusi oleh limbah lumpur. Hasil perbandingan nilai tambah ekonomi dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Analisa Nilai Ekonomi *Paving Block*

Grafik diatas menunjukkan bahwa semakin banyak agregat halus yang disubstitusi oleh limbah lumpur maka semakin efisien biaya produksinya. Hal ini disebabkan oleh menurunnya biaya produksi setiap *paving block* dikarenakan keperluan bahan utama (pasir) tergantikan dengan lumpur yang sudah tersedia dan tidak memerlukan biaya penyediaan material.

Namun dari segi persyaratan mutu, yang dapat digunakan kembali dan memenuhi fungsi *paving block* adalah dengan substitusi limbah lumpur sebesar 10%. Sehingga efisiensi nilai ekonomi yang dapat dicapai hanya sebesar 9%. Melalui data yang didapat, PDAM Bandar masih menghasilkan sekitar 7200 – 9000 m³ limbah lumpur setiap bulannya. Sementara ukuran *paving block* dengan bahan substitusi sebesar 10% hanya setara dengan 9,6 cm³ limbah lumpur per satu buah *paving block*. Pemanfaatan limbah lumpur dalam penelitian ini tidak dapat mereduksi limbah lumpur yang dihasilkan secara efektif, namun jika dilakukan produksi secara massal akan memberikan dampak yang cukup signifikan dalam mengurangi permasalahan dari pembuangan limbah lumpur ke sungai yang hingga saat ini masih dilakukan.

KESIMPULAN

Limbah lumpur diujikan menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk mengetahui elemen yang terkandung melalui pembacaan spektrum kristalografi, teridentifikasi bahwa limbah lumpur mengandung SiO₂. Setelah dilakukan pengujian, hanya variabel komposisi lumpur 10% yang dapat

memenuhi persyaratan teknis kuat tekan dan daya serap air yang tercantum dalam SNI-03-0691-1996 tentang bata beton yakni dengan kekuatan rata-rata sebesar 8,55 MPa yang terkategori dalam kuat tekan kategori D serta daya serap air rata-rata sebesar 3,57% yang terkategori dalam daya serap air kategori B. Setelah diujikan toksisitasnya dengan metode TCLP, hasilnya tidak melebihi baku mutu yang ada untuk logam berat Zn, Cd, Cr, Cu dan Pb. Mutu *paving block* yang diujikan hanya dapat dicapai oleh variabel komposisi lumpur 10% dan berdasarkan SNI-30-0691-1996 dapat dikategorikan sebagai mutu D dan dapat digunakan sebagai keperluan dekorasi dan taman. Efisiensi nilai tambah ekonomi yang dapat dicapai oleh variabel komposisi 10% hanya sebesar 9%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada RISTEKDIKTI yang telah memberikan dukungan anggaran serta PDAM Bandarmasih, Banjarmasin atas kerjasama dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Agyeman, S., Obeng-Ahenkora, N. K., Assiamah, S., Twumasi, G., 2019. Exploiting recycled plastic waste as an alternative binder for paving blocks production, *Case Studies in Construction Materials*, Volume 11, (e00246), 1-8.

Ahmad, T., Ahmad, K., Alam, M., 2016. Characterization of Water Treatment Plant's *Lumpur* and its Safe Disposal Options. *Procedia Environmental Sciences*. 35. 950-955. S.

Badan Standarisasi Nasional. 1989. SNI-03-2417-1989. Cara uji keausan. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional

Badan Standarisasi Nasional. 1996. SNI-03-0691-1996. *Paving Block* (Bata Beton) Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.

Badan Standarisasi Nasional. 2002. SNI 03-6820-2002. Agregat Halus. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional

Badan Standarisasi Nasional. 2002. SNI-03-2491-2002. Metode pengujian kuat tarik beton. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional

Badan Standarisasi Nasional. 2004. SNI-15-0302-2004. Semen Portland. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional

Badan Standarisasi Nasional. 2008. SNI 1970-2008. Agregat Kasar. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional

Badan Standarisasi Nasional. 2008. SNI 2417:2008. Cara Uji Keausan Agregat dengan mesin abrasi Los Angeles. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional

Badan Standarisasi Nasional. 2008. SNI 7394:2008. Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Beton Untuk Konstruksi Bangunan Gedung Dan Perumahan. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional

Badan Standarisasi Nasional. 2011. SNI-03-1974-2011. Metode pengujian kuat tekan beton. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Cullity, B. D., 1956. *Elements of X-Ray Diffraction*. Dover books. 154-157.

Li, J., Feinping, X., Lanfang, Z., Serji, N. A., 2019. Life cycle assessment and life cycle cost analysis of recycled solid waste materials in highway pavement: A review. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 233. 1182-1206.

Rizzardini, C. B., Goi, D., 2016. Sustainability of Domestic Sewage *Lumpur* Disposal. *Sustainability Journal*. 6. 5. 2424-2434.

Septianto, H. 2017. Pengaruh Kandungan Lumpur Pada Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton Normal. Tugas Akhir. Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Siswoyo, E., Mihara, Y., Tanaka, S., 2014a. Determination of key components and adsorption capacity of a low-cost adsorbent based on sludge of drinking water treatment plant to adsorb cadmium ion in water. *Applied Clay Science*. 97-98, 146-152.

Siswoyo, E., Qoniah, I., Lestari, P., Fajri, J.A., Sani, R.A., Sari, D.G., Boving, T., 2019. Development of a floating adsorbent for cadmium derived from modified drinking water treatment plant sludge, *Environmental Technology and Innovation*, 14, 1-9.

Tjokrodiluljo, K., 1996, *Teknologi Beton*, UGM Press. 144-147.

Udawattha, C., Galabada, H., Halwatura, R., 2017. Mud concrete paving block for pedestrian pavements. *Case Studies in Construction Materials*. 7. 249-262.

Wang, L., Chen, L., Tsang, D., Li, J.S., Baek, K., Hou, D., Ding, S., Poon, C.S., 2018. Recycling dredged sediment into fill materials, partition blocks, and paving blocks: Technical and economic assessment. *Journal of Cleaner Production*. 199. 69-76.

Wang, X., Chin, C.S. and Xia, J., 2019. Material characterization for sustainable concrete paving blocks. *Applied Sciences*, 9(6), p.1197.

Zifeng, Z., Feipeng, X., Serji, A., 2020. Recent Application of Solid Waste Materials in Pavement Engineering. *Waste Management*. Vol. 108. 78-105.