UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Potensi Geothermal Sludge sebagai Substitusi Parsial Pasir pada Paving Block: Evaluasi Kualitas Teknis dan Pelindian Unsur Jejak
Wulandari Mega Pratiwi, Vempi Satriya Adi Hendrawan, S.T., M.Env., Ph.D
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

INTISARI

Kebutuhan pasir sebagai bahan baku material konstruksi terus meningkat, sedangkan ketersediaannya semakin terbatas, dan aktivitas eksplorasi melalui penambangan menimbulkan kerusakan lingkungan yang cukup signifikan. Di sisi lain, operasional pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) menghasilkan limbah *geothermal sludge* yang menjadi tantangan operasional akibat penumpukan yang cukup tinggi dan berpotensi mencemari lingkungan. Penelitian ini, memanfaatkan *geothermal sludge* sebagai substitusi sebagian pasir pada paving block sebagai upaya konservasi sumber daya pasir, dengan tujuan mengkarakterisasi *geothermal sludge*, melakukan evaluasi pengaruh substitusinya terhadap kualitas teknis paving block, mengevaluasi keamanan lingkungan melalui uji pelindian arsenik dan antimon, serta menentukan komposisi optimal.

Geothermal sludge, didapatkan dari Tempat Penampungan Silika PLTP Unit Dieng dengan metode pengumpulan menggunakan *grab sampling* sedangkan untuk pasir yang digunakan berasal dari Sungai Progo. Sebelum digunakan, *geothermal sludge* dikeringkan pada suhu 110°C selama 24 jam lalu dihaluskan dengan ball mill, kemudian dikaraktirisasi melalui *X-Ray Diffraction* (XRD), *Energi Dispersive X-Ray* (EDX), kadar air, berat jenis dan *sieve analysis*. Paving block dibuat secara manual dengan ukuran 125 cm^3 dengan perbandingan volume semen dan pasir ditentukan 1:4, nilai FAS 0,38, serta *mix design* ditentukan dengan metode volume absolut. Paving block kemudian diuji pada variasi 0%, 10%, 15%, dan 20% terhadap parameter teknis yaitu kuat tekan, daya serap air, dan ketahanan aus yang mengacu pada SNI 03-0691-1996 sedangkan untuk keamanan lingkungan dievaluasi melalui uji *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) pada parameter arsenik (As) dan antimon (Sb) yang mengacu pada PP No. 22 Tahun 2021. Secara keseluruhan, hasil pengujian paving block dievaluasi dan komposisi optimalnya ditentukan melalui metode *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS).

Hasil karakterisasi, menunjukkan *geothermal sludge* berupa silika amorf dengan kandungan SiO_2 sebesar 94,69% dengan total oksida reaktif 97,96% sehingga sesuai dengan kriteria komposisi pozzolan kelas F ASTM C618. Substitusi 10% memberikan hasil teknis terbaik, yaitu kuat tekan 46,04 MPa (mutu A) dan daya nserap air 4,80% (mutu B), sementara hasil uji ketahanan aus pada seluruh variasi memenuhi mutu A. Hasil ini cukup konsisten dengan mekanisme *filler effect* dan reaksi pozzolanik. Pada uji TCLP, arsenik berada jauh di bawah baku mutu dengan margin keamanan yang cukup besar sedangkan pada antimon melampaui baku mutu pada seluruh variasi yang sesuai dengan perbedaan karakter geokimia kedua unsur tersebut. Analisis TOPSIS menempatkan variasi 10% sebagai komposisi paling optimal dengan nilai preferensi 0,648, meskipun kelayakannya masih bersyarat pada penanganan keamanan lingkungan lebih lanjut.

Kata kunci: *geothermal sludge*; paving block; substitusi pasir *dual-role*; uji teknis dan TCLP; TOPSIS

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Potensi Geothermal Sludge sebagai Substitusi Parsial Pasir pada Paving Block: Evaluasi Kualitas Teknis dan Pelindian Unsur Jejak
Wulandari Mega Pratiwi, Vempi Satriya Adi Hendrawan, S.T., M.Env., Ph.D
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRACT

The demand for sand as a raw construction for material continues to increase, while its availability grows more limited, and extraction through mining causes significant environmental damage. On the other hand, the operation of Geothermal Power Plant (PLTP) produces geothermal sludge, a waste that becomes an operational challenge due to its considerable accumulation and its potential to pollute the environment. This study utilizes geothermal sludge as a partial substitute for sand in paving blocks as an effort to conserve sand resources, with the objectives of characterizing the geothermal sludge, evaluating the effect of its substitution on the technical quality of the paving blocks, evaluating the environmental safety through leaching tests of arsenic and antimony, and determining the optimal composition using the TOPSIS method.

The geothermal sludge was obtained from the Silica Storage Facility of the Dieng Geothermal Power Plant Unit using the grab sampling method, while the sand used was taken from the Progo River. Before use, the geothermal sludge was oven dried at 110°C for 24 hours and then ground using a ball mill, after which it was characterized through X-Ray Diffraction (XRD), Energi Dispersive X-Ray (EDX), moisture content, specific gravity, and sieve analysis. The paving blocks were then tested at substitution variations of 0%, 10%, 15%, and 20% for the technical parameters of compressive strength, water absorption, and abrasion resistance in accordance with SNI 03-0691-1996, while environmental safety was evaluated through the Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) for arsenic (As) and antimony (Sb) in accordance with Government Regulation No. 22 of 2021. Overall, the test results of the paving blocks were evaluated and the optimal composition was determined using the Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS).

The characterization showed that the geothermal sludge is an amorphous silica material with SiO_2 content of 94,69% and total reactive oxides of 97,96%, which meets the Class F pozzolan composition criteria of ASTM C618. The 10% substitution provided the best technical results, namely a compressive strength of 46,04 MPa (Grade A) and a water absorption of 4,80% (Grade B), while the abrasion resistance of all variations met Grade A. These results are fairly consistent woth the filler effect and pozzolanic reaction mechanism. In the TCLP test, arsenic remained far below the regulatory limit with a considerable safety margin, whereas antimony exceeded the regulatory limit in all variations, which is consistent with the difference in geochemical character of the two element. The TOPSIS analysis idetified the 10% variation as the most optimal composition with a preference value of 0,648, although its feasibility remains conditional upon further environmental safety treatment.

Keywords: geothermal sludge; paving blocks; dual role sand substitution, technical testing and TCLP; TOPSIS