

Pemanfaatan Abu Batu Hasil Proses Pemecah Batu Sebagai Material Pengganti Lapis Drainase Pada Pondasi Perkerasan Jalan Beton: A Systematic Literature Review

Obo Pulih Budilaksono¹⁾, Bagus Hario Setiadji²⁾, Kresno Wikan Sadono³⁾

^{1, 2, 3)} Program Doktor Ilmu Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jalan Hayam Wuruk No. 5—7, Semarang, Indonesia 50241

Email: obopulih@yahoo.com¹⁾, bhsetiadji@lecturer.undip.ac.id²⁾,
kresnowikansadono@lecturer.undip.ac.id³⁾

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v14i2.1182>

(Received: 13 August 2024 / Revised: 15 September 2024 / Accepted: 22 September 2024)

Abstrak

Limbah Konstruksi dihasilkan adanya pembangunan infrastruktur yang memberikan dampak negatif terhadap lingkungan. Pesatnya pembangunan infrastruktur di Indonesia tentunya hal ini juga akan menghasilkan limbah konstruksi yang jumlahnya banyak dan cepat penambahannya. Sumber limbah konstruksi bisa dalam bentuk padat, cair, gas atau kombinasi dari semua bentuk tersebut. Proyek konstruksi merupakan penghasil limbah padat yang sangat besar. Manajemen pengelolaan dan pemanfaatan limbah konstruksi perlu dilaksanakan secara seksama, Indonesia merupakan negara berkembang yang laju pembangunan infrastrukturnya sangat pesat sekarang ini tetap mendukung pencapaian *SDGs* Agenda 2030, salah satu *SDGs* adalah *Zero Waste Project* dengan melaksanakan prinsip "*The 6 Rs of sustainability*". Beberapa penelitian sebelumnya terkait pemanfaatan abu batu digunakan sebagai pengganti agregat halus campuran pembuat beton. Mengacu penelitian sebelumnya terkait pemanfaatan abu batu belum terdapat pemanfaatan abu batu digunakan sebagai material pengganti lapis drainase pada pondasi pekerasan jalan beton, sehingga masih terdapat gap pada penelitian sebelumnya yang akan dilakukan penelitian ini.

Kata Kunci: *Limbah Konstruksi, Abu Batu, Lapis Drainase, Perkerasan Beton*

Abstract

Construction waste is generated by infrastructure development that has a negative impact on the environment. The rapid development of infrastructure in Indonesia will certainly also produce construction waste in large quantities and increasing rapidly. Sources of construction waste can be in the form of solid, liquid, gas or a combination of all these forms. Construction projects are very large producers of solid waste. Management of construction waste management and utilization needs to be carried out carefully, Indonesia is a developing country with a very rapid rate of infrastructure development currently still supporting the achievement of the *SDGs* Agenda 2030, one of the *SDGs* is the *Zero Waste Project* by implementing the principle of "*The 6 Rs of sustainability*". Several previous studies related to the utilization of stone ash were used as a substitute for fine aggregate in concrete mixtures. Referring to previous studies related to the utilization of stone ash, there has been no use of stone ash as a substitute material for drainage layers on concrete road pavement foundations, so there is still a gap in previous research that will be carried out in this study.

Keyword: *Construction waste, Stone Ash, Drainage Layer, Concrete Pavement*

1. Latar Belakang

Limbah Konstruksi (*Construction Waste*) dihasilkan adanya pembangunan infrastruktur yang memberikan dampak negatif terhadap lingkungan. Proyek konstruksi merupakan penghasil limbah padat yang sangat besar (Bossink and Brouwers, 1996) memperkirakan bahwa 15% hingga 30% limbah padat yang dibuang ke *landfill* merupakan limbah konstruksi. Menurut (J. Glynn Henry and Gary W. Heinke, 1996) limbah padat adalah limbah yang tidak dapat diangkut oleh air dan tidak dapat digunakan lagi. Limbah ini berasal dari konstruksi bangunan baru maupun perubahan bangunan lama. Hal serupa juga dikemukakan oleh (Ekanayake and Ofori, 2000) bahwa jumlah limbah padat yang dihasilkan pada pembangunan proyek konstruksi di Belanda sekitar 10% dari total jumlah limbah. Limbah padat juga dihasilkan dari proyek konstruksi pembangunan infrastruktur baru antara lain: pembangunan jalan tol maupun jalan nasional, pembangunan jembatan, pembangunan bendungan, pembangunan pelabuhan, pembangunan bandara dan sebagainya.

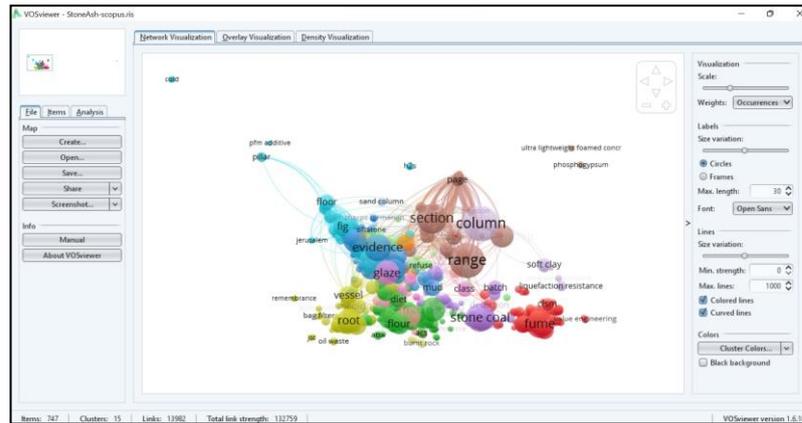
Konstruksi jalan tol di Indonesia sekarang ini pada umumnya menggunakan konstruksi perkerasan jalan beton, sehingga material beton menjadi material utama. Beton merupakan campuran antara agregat halus dan semen portland atau jenis semen hidraulik yang lain dan air (SNI 03 – 2847 - 2002, 2002). Perbandingan volume bahan pembuat beton air 7–15%, semen 15-20%, agregat halus (pasir) 25-30%, agregat kasar (batu pecah) 30-50%. Batu pecah merupakan komponen terbanyak untuk pembuatan beton.

Proses pembuatan batu pecah pada umumnya menggunakan alat pemecah batu mekanik (*stone crusher*) karena kapasitas produksinya besar, dengan menggunakan pemecahan batu secara mekanis yang tentunya juga menghasilkan material abu batu (*stone ash*) yang jumlahnya banyak, tetapi untuk saat ini penggunaan abu batu (*stone ash*) sebagai bahan konstruksi masih terlalu sedikit, maka kondisi ini akan mengakibatkan banyaknya limbah konstruksi dari proses pemecahan batu berupa abu batu. Potensi banyaknya limbah abu batu akibat proses produksi batu pecah yang akan mengakibatkan dampak lingkungan, maka perlu adanya inovasi dan penelitian yang lebih lanjut agar limbah abu batu dapat digunakan sebagai material konstruksi dan atau bermanfaat lainnya.

Manajemen pengelolaan dan pemanfaatan limbah konstruksi perlu dilaksanakan secara seksama, karena Indonesia merupakan negara yang berkembang yang laju pembangunan infrastrukturnya sangat pesat sekarang ini tetap mendukung pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan / *Sustainable Development Goals* (TPB/SDGs) Agenda 2030, yang merupakan kesepakatan pembangunan berkelanjutan berdasarkan hak asasi manusia dan kesetaraan. Salah satu SDGs proyek-proyek di Indonesia adalah *Zero Waste Project* dengan melaksanakan prinsip-prinsip "*The 6 Rs of sustainability*". *Rethink, Refuse, Repair, Reduce, Reuse & Recycle* dan atau menerapkan *Reverse Logistics*.

Sebelum penelitian ini ada beberapa penelitian terkait pemanfaatan limbah abu batu yang digunakan berbagai macam bahan konstruksi. Hasil penelitian (Fitria Handayani, 2019) abu batu dapat digunakan sebagai campuran *paving block*. Sesuai hasil penelitian (Muhammad Malik Ibrahim, 2019) abu batu dapat digunakan untuk mensubstitusi agregat halus pada campuran beton hingga kadar 40%. Abu batu dapat mengurangi kuat tekan beton maka agat kuat tekan beton tidak berkurang digunakan teori *Dreux* dengan peningkatan faktor *granular* (*G*).

Beberapa penelitian tersebut yang terkait dengan topik penelitian pemanfaatan abu batu digunakan sebagai pengganti/substitusi agregat halus campuran pembuat beton. Dan dengan menggunakan bantuan aplikasi *VOSviewer* (gambar 1-3) populasi penelitian ini masih belum banyak, sehingga memungkinkan masih terdapat *gap/novelty* pada penelitian ini. Mengacu penelitian sebelumnya terkait pemanfaatan abu batu belum terdapat pemanfaatan abu batu digunakan sebagai material pengganti lapis drainase pada pondasi pekerasan jalan beton, sehingga masih terdapat *gap/nonelty* pada penelitian sebelumnya yang akan dilakukan di penelitian ini.



Gambar 3 *Re-Search GAP*, Keyword: *Stone Ash*, Source: *Scopus*, By: *VOSviewer*

Beberapa penelitian tersebut yang terkait dengan topik penelitian pemanfaatan abu batu digunakan sebagai pengganti / substitusi agregat halus campuran pembuat beton. Dan dengan menggunakan bantuan aplikasi *VOSviewer* (gambar 1 -- 3) populasi penelitian ini masih belum banyak, sehingga memungkinkan masih terdapat *gap/novelty* pada penelitian ini. Mengacu penelitian sebelumnya terkait pemanfaatan abu batu belum terdapat pemanfaatan abu batu digunakan sebagai material pengganti lapis drainase pada pondasi pekerasan jalan beton, sehingga masih terdapat *gap/nonelty* pada penelitian sebelumnya yang akan dilakukan di penelitian ini.

2. Metode Penelitian

2.1 Kerangka Berfikir

Kerangka berpikir merupakan bentuk alur berpikir tentang dasar penelitian untuk mendapatkan hasil penelitian sesuai yang dikehendaki agar dapat menjawab atas pertanyaan dalam topik penelitian. Permasalahan utama yang menjadi topik penelitian ini adalah abu batu yang selama ini pemanfaatnya sedikit dan hasil produksi cukup banyak, sehingga masih dianggap limbah, dengan harapan hasil penelitian ini abu batu dapat dimanfaatkan sebagai material lapis drainase pada pondasi perkerasan jalan beton, sehingga pemanfaatan abu batu semakin beragam dan volume terpakai sebagai bahan konstruksi lebih banyak juga, maka abu batu tidak lagi dianggap sebagai limbah padat konstruksi.

2.2 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, tinjauan pustaka, pengujian material dan penelitian terdahulu dengan ini didapatkan hipotesis penelitian ini yaitu dari bentuk

fisik abu batu yang menyerupai pasir, secara bentuk, ukuran dan mempunyai sifat permeabilitas dan kepadatan serta nilai *CBR*. Sehingga material abu batu diperkirakan dapat digunakan sebagai material lapis drainase pada pondasi perkerasan jalan beton.

Tabel 1 Isian Hasil Pengujian Abu Batu digunakan sebagai Lapis Drainase pada Pondasi Perkerasan Jalan Beton

No	Ketebalan Lapis Drainase (<i>T</i>)	Kemiringan Lapis Drainase (<i>i</i>)	Volume Air (<i>V₁</i>)	Waktu Penyempapan (<i>t₁</i>)	Koefisien Permeabilitas (<i>k</i>)	Waktu Pengaliran (<i>t₂</i>)	Volume Air Hasil Pengaliran selama 24 Jam (<i>V₂</i>)	Debit Pengaliran (<i>q</i>)	Ket
1	10 cm	2%	50 liter	.. mnt	.. cm/dtk	24 Jam liter	. cm ³ /dtk	Masing-masing kondisi (<i>T</i>) dan (<i>i</i>) dilakukan 3 (tiga) kali pengujian / pengamatan
2	10 cm	4 %	50 liter	.. mnt	.. cm/dtk	24 Jam	..... liter	.. cm ³ /dtk
3	15 cm	2 %	50 liter	.. mnt	.. cm/dtk	24 Jam	..... liter	.. cm ³ /dtk
4	15 cm	4 %	50 liter	.. mnt	.. cm/dtk	24 Jam	..... liter	.. cm ³ /dtk
5	20 cm	2 %	50 liter	. mnt	.. cm/dtk	24 Jam	..... liter	.. cm ³ /dtk
6	20 cm	4 %	50 liter	.. mnt	.. cm/dtk	24 Jam	..... liter	.. cm ³ /dtk

2.3 Uji Validitas

Dari data-data/sample pengujian yang diperoleh, untuk mengukur data yang diperoleh dari pengamatan / penelitian ini apakah merupakan data yang valid atau tidak. Pengukuran data valid atau tidaknya menggunakan Uji Validitas. Cooper dan Schindler dalam Zulganef (2006) menyatakan validitas adalah suatu ukuran yang menunjukkan bahwa variabel yang diukur memang benar-benar variabel yang hendak diteliti oleh peneliti. Suatu data pengujian dapat dikatakan memiliki validitas yang tinggi jika data pengujian tersebut menjalankan fungsi ukurnya atau memberikan hasil ukur yang tepat dan akurat sesuai dengan maksud yang dikenakannya data pengujian tersebut. Suatu data pengujian menghasilkan data yang tidak relevan dengan tujuan diadakannya pengukuran dikatakan sebagai data pengujian yang memiliki validitas rendah. Uji Validitas penelitian ini menggunakan Aplikasi SPSS. Teknik pengujian yang sering digunakan para peneliti untuk uji validitas adalah menggunakan korelasi Bivariate Pearson (Produk Momen Pearson). Analisis ini dengan cara mengkorelasikan masing-masing skor item dengan skor total. Skor total adalah penjumlahan dari keseluruhan item. Item-item data pengujian yang berkorelasi signifikan dengan skor menunjukkan item-item tersebut mampu memberikan dukungan dalam mengungkap apa yang ingin diungkap dengan valid. Jika r hitung $\geq r$ table (uji 2 sisi dengan sig. 0,05) maka instrument atau data-data yang diperoleh berkorelasi signifikan terhadap skor total (dinyatakan valid).

2.4 Uji Reliabilitas

Selain uji validitas, untuk mengetahui konsistensi instrument pengukuran maka dalam penelitian ini juga dilakukan uji reliabilitas. Apakah instrument pengukuran dapat diandalkan dan tetap konsisten jika dilakukan pengukuran ulang. Reliabilitas atau keandalan adalah konsisten dari serangkaian pengukuran atau serangkaian alat ukur. Hal tersebut bisa berupa pengukuran dari alat ukur yang sama (tes dengan tes ulang) akan memberikan hasil yang sama atau untuk pengukuran yang lebih subjektif, apakah masing-masing penilai memberikan data yang mirip

(reliabilitas antar penilai). Tinggi rendahnya reliabilitas secara empirik ditunjukkan oleh suatu angka yang disebut nilai koefisien reliabilitas. Reliabilitas yang tinggi ditunjukkan dengan nilai r_{xx} mendekati angka 1. Kesepakatan secara umum reliabilitas yang dianggap sudah cukup memuaskan jika $\geq 0,7$.

Pengujian reliabilitas instrumen dengan menggunakan rumus Alpha Cronbach. Rumus Alpha Cronbach sebagai berikut:

$$r_{11} = \left(\frac{n}{n-1} \right) \left(1 - \frac{\sum \sigma_i^2}{\sigma^2} \right) \quad (1)$$

di mana,

- r_{11} : reliabilitas yang dicari
- n : jumlah item / data yang diuji
- $\sum \sigma_i^2$: jumlah varian skor tiap-tiap item
- σ^2 : varian total

Jika nilai alpha $> 0,70$ artinya reliabilitas mencukupi (*sufficient reliability*) sementara jika nilai alpha $> 0,80$ ini mensugestikan seluruh item reliabel dan seluruh tes secara konsisten memiliki reliabilitas yang kuat. Ada pula yang memaknai nilai reliabilitas sebagai berikut:

- nilai alpha $> 0,90$ maka reliabilitas sempurna.
- nilai alpha antara $0,7 - 0,9$ maka reliabilitas tinggi.
- nilai alpha $0,5 - 0,7$ maka reliabilitas moderat.
- nilai alpha $< 0,5$ maka reliabilitas rendah.
- Jika alpha rendah, kemungkinan satu atau beberapa data tidak reliabel.

Uji reliabilitas pada penelitian ini dibantu dengan menggunakan aplikasi SPSS, dalam aplikasi SPSS yang sering digunakan untuk uji reliabilitas adalah menggunakan metode *Alpha Cronbach's*. Uji dilakukan pada taraf signifikan α sebesar $0,05$. Instrumen dapat dikaitkan reliabel bila nilai $R_{Cronbach's\ Alpha} > R_{table}$.

2.5 Analisis dan Pengujian Data

Analisis statistik penelitian ini menggunakan analisis statistik inferensial yaitu sebuah metode yang mampu dipakai untuk menganalisis kelompok kecil dari data induknya atau sample yang diambil dari populasi sampai pada peramalan dan penarikan kesimpulan pada kelompok data induknya atau populasi. Statistika inferensial merupakan rangkuman seluruh metode yang berhubungan dengan analisis sebagian data kemudian sampai pada peramalan atau penarikan kesimpulan mengenai keseluruhan data induk (populasi) tersebut.

Statistika Inferensial/induktif merupakan statistik yang bertujuan menaksir secara umum suatu populasi dengan memakai hasil sampel, termasuk didalamnya teori penaksiran dan pengujian teori. Statistika Inferensial digunakan untuk melakukan generalisasi dari sampel ke populasi maupun uji hipotesis.

Pengolahan data yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan aplikasi SPSS (*Statistical Program for Social Sciences*). Hal ini dilakukan supaya pengolahan data statistik dapat dilakukan dengan cepat dan tepat. Dalam penyajian data pada penelitian ini berupa tabel dalam menjelaskan hasil penelitian yang akan diuji, seperti hasil perhitungan uji validitas dan uji reliabilitas merupakan koefisien determinasi (parsial dan simultan). Uji statistik pada penelitian ini antara lain:

2.5.1 Uji T-Test

Uji T-test merupakan metode statistis yang digunakan untuk menguji apakah terdapat perbedaan signifikan antara dua kelompok atau populasi. Uji T-test mengasumsikan bahwa data yang diuji memiliki distribusi normal (atau mendekati normal) dan memiliki varian yang sama. Uji T-test sering digunakan dalam penelitian ilmiah untuk menguji hipotesis yang telah diajukan. Dalam melakukan Uji T-test, peneliti harus mempertimbangkan tingkat signifikansi yang diinginkan. Tingkat signifikansi menunjukkan seberapa besar kemungkinan terjadinya kesalahan dalam menolak hipotesis nol. Jika tingkat signifikansi yang diinginkan kecil (misalnya 0,01 atau 0,05), maka perbedaan yang terlihat harus lebih besar untuk dapat ditolak hipotesis nol. Sebaliknya, jika tingkat signifikansi yang diinginkan lebih besar (misalnya 0,10 atau 0,20), maka perbedaan yang terlihat harus lebih kecil untuk dapat ditolak hipotesis nol.

2.5.2 Uji ANOVA

Analisis varians (analysis of variance) atau ANOVA adalah suatu metode analisis statistika yang termasuk ke dalam cabang statistika inferensi. Uji dalam anova menggunakan uji *F* karena dipakai untuk pengujian lebih dari 2 sampel. Dalam praktik, analisis varians dapat merupakan uji hipotesis (lebih sering dipakai) maupun pendugaan (estimation, khususnya di bidang genetika terapan).

Anova (Analysis of variances) digunakan untuk melakukan analisis komparasi multivariabel. Teknik analisis komparatif dengan menggunakan tes “t” yakni dengan mencari perbedaan yang signifikan dari dua buah mean hanya efektif bila jumlah variabelnya dua. Untuk mengatasi hal tersebut ada teknik analisis komparatif yang lebih baik yaitu *Analysis of variances* yang disingkat Anova.

Analisis ANOVA pada penelitian eksperimen ini digunakan dimana terdapat beberapa perlakuan. Analisis ANOVA akan menguji apakah ada perbedaan bermakna antar perlakuan tersebut berdasarkan data penelitian yang diperoleh.

2.5.3 Analisis Regresi

Uji Regresi merupakan jenis uji statistik parametrik yang digunakan untuk menguji hubungan antar variabel, lebih tepatnya menguji atau memprediksi pengaruh suatu variabel bebas terhadap variabel terikat. Uji / analisis regresi pada umumnya dibagi menjadi dalam tiga jenis berdasarkan bentuk model kurvanya. Model regresi parametrik, non parametrik dan regresi semiparametric merupakan tiga model yang analisis regresi miliki. Jika bentuk kurva diketahui, maka pendekatan model regresi yang digunakan adalah pendekatan model regresi parametrik.

Analisis regresi bertujuan untuk memprediksi besar variabel terkait (*dependent variable*) dengan menggunakan data variabel bebas (*independent variable*) yang sudah diketahui besarnya. Dengan analisis regresi ini maka dapat juga diketahui formulasi hubungan pada penelitian ini. Persamaan model regresi dinyatakan dalam rumusan sebagai berikut :

$$Y = a + bX_1 + cX_2 \quad (2)$$

di mana,

Y : variabel dependen

X₁, X₂ : variabel-variabel independent

a, b, c : konstanta-konstanta regresi

Data-data analisis regresi ini berdasarkan hasil pengujian penelitian, analisis regresi dianalisa menggunakan bantuan aplikasi SPSS. Maka dari output analisa regresi diperoleh formulasi antar hubungan variabel-variabel data penelitian

2.5.4 Uji Korelasi

Uji korelasi adalah suatu metode statistik yang digunakan untuk mengevaluasi kekuatan dan arah hubungan antara dua variabel. Dalam uji korelasi, kita mengukur kekuatan hubungan antara dua variabel dengan menggunakan koefisien korelasi. Koefisien korelasi mengukur derajat kecenderungan antara dua variabel untuk bergerak bersama-sama. Analisis Korelasi merupakan sebuah analisis yang digunakan untuk mengetahui keeratan hubungan antara beberapa variabel. Biasanya uji korelasi ini akan sangat berhubungan dengan uji regresi yang menunjukkan apakah masing-masing variabel saling mempengaruhi. Meskipun variabel tersebut saling berhubungan erat atau berkorelasi, belum tentu variabel tersebut saling mempengaruhi. Dalam analisis korelasi ini, output yang dihasilkan hanya dalam rentang -1 sampai 1 dan terbagi menjadi korelasi positif (hasil positif), korelasi negatif (hasil negatif), dan tidak berkorelasi sama sekali (0).

Tabel 2 Tingkat Koreksi & Kekuatan Hubungan Uji Korelasi

Nilai Korelasi (r)	Tingkat Hubungan
0	Tidak Berkorelasi
0,01 – 0,2	Sangat Rendah
0,21 – 0,40	Rendah
0,41 – 0,60	Agak Rendah
0,61 – 0,80	Cukup
0,81 – 0,99	Tinggi
1	Sangat Tinggi

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen, pengambilan data dilakukan dari hasil uji coba di laboratorium. Metode yang digunakan penelitian ini juga mengacu pada studi literatur dan hasil kajian pustaka yang relevan dari penelitian-penelitian sebelumnya. Penelitian di laboratorium dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat properties dan teknis material abu batu, abu batu akan digunakan sebagai lapis drainase maka harus memenuhi syarat permeabilitas dan mempunyai sifat dapat dipadatkan sesuai syarat minimum yang dipersyaratkan. Material abu batu akan diuji nilai permeabilitas dan nilai *CBR*. Prosedur pengujian dilakukan sesuai Standart Nasional Indonesia (SNI), *American Society for Testing Materials* (ASTM).

Bahan yang diteliti adalah Abu Batu hasil produk *Stone Crusher* PT. Adhi Karya Proyek Pembangunan Jalan Tol Ruas Sigli – Banda Aceh. Penelitian diawali dengan melakukan pengujian properties bahan baku (*raw material*) dengan mengacu syarat-syarat spesifikasi Jalan Bebas Hambatan dan Jalan Tol 2020, Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

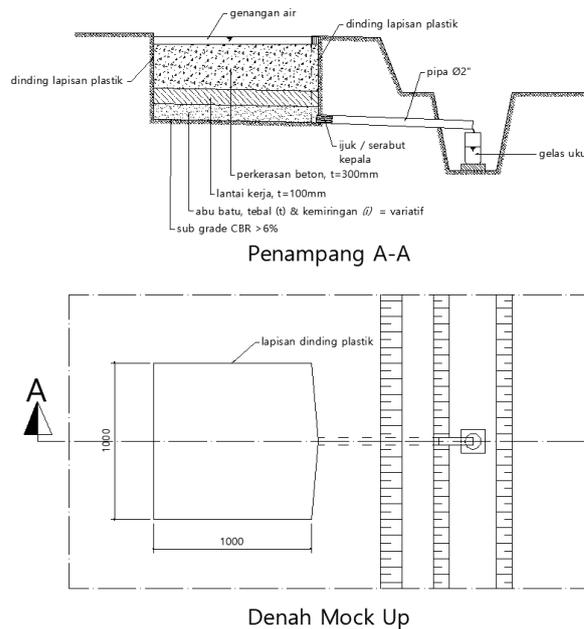
Setelah hasil pengujian properties *raw material* selanjutnya dilakukan uji properties abu batu, hal ini bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat properties alami abu batu. Kondisi sebelum adanya spesifikasi terkait material lapis drainase, agregat klas A digunakan juga sebagai lapis drainase di lapangan. Kegunaan

agregat kelas A sebelumnya pada pondasi perkerasan jalan beton, maka perlu juga dilakukan pengujian agregat kelas A terhadap fungsi sebagai lapis pondasi dan lapis drainase.

Ada 3 jenis material yang akan diuji yang difungsikan sebagai lapis drainase pada perkerasan jalan beton yaitu Agregat Kelas A, Lapis Drainase & Abu Batu. Sebelum pengujian gradasi Agregat Kelas A dan Lapis Drainase sesuaikan dengan syarat gradasi Spesifikasi Jalan Bebas Hambatan dan Jalan Tol 2020, Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Masing-masing jenis material siapkan 3 sampel untuk diuji di laboratorium. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian *CBR* dan permeabilitas.

Pengujian *CBR* mengacu SNI 1744:2012 Metode Uji *CBR* Laboratorium dengan metode pemadatan benda uji sesuai SNI 1742:2008 Cara Uji Kepadatan Ringan Untuk Tanah. Sedangkan pengujian permeabilitas laboratorium dilakukan terhadap benda uji yang dipadatkan dengan metode *Modified Proctor* dan tekanan tetap (*constant head test*) dengan mengacu SNI 2435:2008.

Dari pengujian *CBR* dan permeabilitas ketiga jenis material dapat membandingkan kinerja masing-masing jenis material tersebut, jenis material apa yang baik berfungsi sebagai drainase dan jenis material apa yang mempunyai nilai *CBR* paling baik. Hasil pengujian juga menentukan posisi kinerja abu batu jika digunakan sebagai lapis drainase pada perkerasan jalan beton dibanding dengan jenis material agregat kelas A dan material lapis drainase.



Gambar 4 Rencana Pemodelan Fisik / *Mock Up*

Selanjutnya dilakukan pengujian dengan membuat *mock up*/pemodelan fisik abu batu digunakan sebagai lapis drainase dengan susunan lapisan perkerasan dan dimensi seperti pada gambar 6 Pemasangan/penempatan abu batu sebagai lapis drainase dengan ketebalan dan kemiringan berbagai kondisi, untuk ketebalan akan dicoba pada ketebalan (t) abu batu 10 cm, 15 cm, 20 cm dan masing-masing ketebalan juga akan dipasang dengan berbagai kondisi kemiringan (i) 2% dan 4%,

dengan acuan kondisi pengujian ketebalan 3 variabel dan kemiringan 2 variabel maka didapat 6 kondisi pengujian/sampel data pengujian.

Roscoe (1975) dalam Uma Sekaran (1992: 252) memberikan pedoman penentuan jumlah sampel untuk penelitian eksperimen yang sederhana, dengan pengendalian yang ketat, ukuran sampel bisa antara 10 (sepuluh) sampai dengan 20 (dua puluh). Dengan mengacu pedoman dari Roscoe maka masing-masing kondisi pengujian dilakukan 3 kali, sehingga sampel/data pengujian yang dipadat sebanyak 18 (delapan belas) data pengujian/sampel. Jadi 18 (delapan belas) jumlah sampel masih sesuai dengan pedoman Roscoe.

Menurut *Federal Highway Administration "FHWA"*, 2002 Ketebalan lapis drainase minimal 4 inchi (101,6mm), dengan berdasarkan acuan ini maka percobaan dilakukan mulai dari ketebalan 10cm s/d 20cm. Ketebalan lapisan drainase berpengaruh pada koefisien permeabilitas (k), sedangkan kemiringan (i) pemasangan lapis drainase mempengaruhi kecepatan pengaliran. Penelitian ini dicoba dengan dua kondisi kemiringan (i) yaitu 2% & 4%, karena kondisi kedua kemiringan (i) tersebut yang sering atau biasa dilaksanakan di lapangan.

Penelitian Abu Batu sebagai lapis drainase pada pondasi jalan perkerasan beton ditentukan dengan variabel dependen penelitian ini yaitu menentukan/memprediksi nilai waktu penyerapan Abu Batu berdasarkan ketebalan lapis drainase dan nilai debit air (q) yang dapat dialirkan pada lapis drainase berupa Abu Batu berdasarkan kemiringan (i) pemasangan lapis drainase.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan *study literature* melalui *systematic literature review* ini dengan analisa *research gap* dan hipotesis bahwa abu batu belum pernah dimanfaatkan/dipakai sebagai lapis drainase pada pondasi perkerasan jalan beton. Sampai saat ini abu batu lebih banyak digunakan sebagai bahan pengganti pasir untuk campuran beton, *paving block* & batako.

4.2 Saran

Dengan adanya *novelty* dan *outcome* yang positif penelitian ini, maka penelitian akan dilanjutkan lebih mendalam dengan tetap mengacu kedisiplinan ilmu yang terkait.

Daftar Kepustakaan

- Afif, A., Akbar Bale, H., 2019. Pengaruh Abu Batu Sebagai Substitusi Agregat Halus dan Penambahan Superplasticizer Terhadap Karakteristik Beton Mutu Tinggi.
- American Association of State Highway Officials, 2004. Standard specifications for Transportation materials and Methods of Sampling and Testing. USA.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia, 2012. Panduan pengujian CBR laboratorium. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia, 2002. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. Standar Nasional Indonesia, Bandung.

- Bai, Y., Li, Y., Zhang, R., Zhao, N. & Zeng, X., 2019. Comprehensive Performance Evaluation System based on Environmental and Economic Benefits for Optimal Allocation of LID Facilities.
- Bossink, B.A.G., Brouwers, H.J.H., 1996. Construction Waste: Quantification and Source Evaluation. *J. Constr. Eng. Manag.* 122, 55–60. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9364\(1996\)122:1\(55\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(1996)122:1(55))
- Cetin, A. Kaya, Z. Cetin, Aydilek, 2014. Influence of laboratory compaction method on mechanical and hydraulic characteristics of unbound granular base materials. *Road Mater. Pavement Des.* 15:1, 220–235.
- Choi, YJ., Nguyen, TH., & Ahn, J., 2018. Assessment of Field Compaction of Aggregate Base Materials for Permeable Pavement Based on Plate Load Test.
- Chu, X., Campos-Guereta, I., Dawson, A., Thom, N., 2023. Sustainable pavement drainage systems: Subgrade moisture, subsurface drainage methods and drainage effectiveness. *Constr. Build. Mater.* 364. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129950>
- D. K. Phillips, 1984. Drainage of Highway Pavement. U.S. Department of Transportation, Virginia.
- Ekanayake, L.L., Ofori, G., 2000. Construction Material Waste Source Evaluation.
- Fahriansyah Anugrah Lubis, AhmadRafii, FitriyahPatriotika, 2022. Analisa Penggunaan Drainage Layer di Jalan Tol Prabumulih – Muara Enim. *Statika* 5, 119–126.
- Fitria Handayani, 2019. Manfaat Limbah Abu Batu Sebagai Tambahan Material Bahan Bangunan. *Semin. Nas. Tah. VI.*
- Ghavami, M.S.M., Hosseini, M.S., Zavattieri, P.D., Haddock, J.E., 2019. Investigating the Need for Drainage Layers in Flexible Pavements. Joint Transportation Research Program, West Lafayette, IN. <https://doi.org/10.5703/1288284316881>
- J. Glynn Henry, Gary W. Heinke, 1996. Introducing the Environment Environmental Science and Engineering. *Environ. Sci. Eng.* 47, 258–259. <https://doi.org/10.2307/1313082>
- Kalore, S.A., Sivakumar Babu, G.L., 2023. Hydraulic design of granular and geocomposite drainage layers in pavements based on demand-capacity modeling. *Geotext. Geomembr.* 51, 131–143. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2023.06.001>
- Kusumaningrum, E., Faizah, R., Nurul Chotimah, dan, 2023. Sifat Fisik dan Mekanik Mortar dengan Campuran Limbah Abu Batu Batuan Vulkanik Sebagai Pengganti Pasir. *J. Ris. Rekayasa Sipil* Vol. 6 No. 2, 138–146.
- Liu, Y., Hao, W., He, W., Meng, X., Shen, Y., Du, T., Wang, H., 2022. Influence of Dolomite Rock Powder and Iron Tailings Powder on the Electrical Resistivity, Strength and Microstructure of Cement Pastes and Concrete. *Coatings* 12. <https://doi.org/10.3390/coatings12010095>
- Ma, H., Sun, Z., Ma, G., 2022. Research on Compressive Strength of Manufactured Sand Concrete Based on Response Surface Methodology (RSM). *Appl. Sci. Switz.* 12. <https://doi.org/10.3390/app12073506>
- Madrazo-Uribeetxebarria, E., Garmendia Antín, M., Alberro Eguilegor, G., Andrés-Doménech, I., 2023. Analysis of the hydraulic performance of permeable pavements on a layer-by-layer basis. *Constr. Build. Mater.* 387. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131587>

- Mantri, L.R., Ram, V.V., Raju, S., 2023. Effect of compaction on the hydraulic conductivity of granular subbase layers in road pavements. *Innov. Infrastruct. Solut.* 8. <https://doi.org/10.1007/s41062-023-01196-5>
- Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015. Pedoman Perencanaan Teknis Drainase Bawah Permukaan Dengan Menggunakan Filter Geotekstil. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Jakarta.
- Muhammad Malik Ibrahim, Priyanto Saellan, 2019. Studi Perancangan Campuran Beton Menggunakan Abu Batu Sebagai Agregat Halus. *J. Online Inst. Teknol. Nas.*
- Oktariza, H., Gofar, N., 2023. Evaluasi Agregat Lokal Sebagai Lapisan Base Perkerasan Permeabel. *Cantilever J. Penelit. Dan Kaji. Bid. Tek. Sipil* 12, 1–8. <https://doi.org/10.35139/cantilever.v12i1.201>
- Patil, H., Dwivedi, A., Bidkar, K., 2022. Prediction of upgraded properties of the concrete with the wash sand waste. *J. Build. Pathol. Rehabil.* 7. <https://doi.org/10.1007/s41024-022-00171-4>
- Princeton, N.J.; Research Council, T., Washing-Ton, D.C., 1962. Characteristics of Base and Subgrade Drainage of Pavements, *Journal of Transportation Engineering.* ASCE.
- Raditya Pradhipta, 2022. Analisis Pengaruh Penggunaan Abu Batu Sebagai Substitusi Parsial Agregat Halus Terhadap Karakteristik Beton Pada Mutu 30 MPa. UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA, Yogyakarta.
- Suresh Babu, T., Venkata, M., Surya, S., Chowdary, P., 2018b. Effect on Concrete by Metakaolin and Manufacturing Sand as Alternatives. *Int. J. Res. Rev. Wwwwijrrjournalcom* 5, 208.
- Suresh Babu, T., Venkata, M., Surya, S., Chowdary, P., 2018a. Effect on Concrete by Metakaolin and Manufacturing Sand as Alternatives. *Int. J. Res. Rev. Wwwwijrrjournalcom* 5, 208.
- Tajudin, A.N., Luh, N., Shinta, P., Setyarini, E., Khalik, J., Devy, D., Darmawati, S., 2018. Pengaruh Kekuatan Tanah Dasar Dan Koefisien Drainase Lapisan Terhadap Tebal Perkerasan Lentur. *J. Muara Sains Teknol. Kedokt. Dan Ilmu Kesehat.* Vol. 2, No. 1, 312–321.
- Thang, V.L., Cung, L., Nguyen, D.S., 2022. An Application of Artificial Neural Network to Predict the Compressive Strength of Concrete using Fly Ash and Stone Powder Waste Products in Central Vietnam. *Int. J. Eng. Trans. B Appl.* 35, 967–976. <https://doi.org/10.5829/ije.2022.35.05b.12>
- Zamzam Nurjaman, B., Walujodjati, E., Konstruksi Sekolah Tinggi Teknologi Garut Jl Mayor Syamsu No, J., 2021. Pengaruh Penggunaan Agregat Abu Batu Sebagai Pengganti Agregat Halus Alami Terhadap Sifat-Sifat Beton. *J. Konstr.* Vol. 19, No. 1, 31–42.