



Analisis Tanah Putih dan Abu Batu Sebagai Pengganti Pasir Pada Lapis Pondasi Agregat A

Donatus Pajjama Manuk^{1*}, Olvi Pamadya²

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kahuripan Kediri, Kediri, Indonesia

Email: donatus.pajjama.manuk@students.kahuripan.ac.id¹, olvikusuma@kahuripan.ac.id²

Abstrak

Batu pecah, kerikil, pasir, dan mineral lainnya dari alam atau sumber buatan manusia membentuk agregat. Lapisan pondasi agregat Kelas A, yang berada di antara lapisan pondasi bawah dan lapisan permukaan dan terbuat dari campuran batu pecah halus dan kasar berukuran 3/2", berfungsi sebagai pondasi perkerasan beton dan aspal. Dalam pencampuran agregat kelas A, pasir merupakan material yang digunakan sebagai agregat halus. Adanya keterbatasan material pasir di Kota Kupang, sehingga pada penelitian ini mengkaji dampak penggunaan tanah putih (*lime stone*) 15% dan abu batu 25% sebagai pengganti pecahan halus massa jenis lapisan pondasi agregat kelas A dan untuk memastikan nilai CBR lapisan pondasi agregat kelas A. Pengujian ini menggunakan metode California Bearing Ratio (CBR), sedangkan Spesifikasi Bina Marga Revisi II 2018 dan SNI pekerjaan lapisan pondasi agregat kelas A digunakan untuk memeriksa atau menganalisis sifat fisik dan gradasi agregat. Material diperoleh dari *quarry* PT. Bumi Indah dan sumber data untuk penelitian ini dari hasil penelitian di laboratorium PT. Bumi Indah. Hasil penelitian yang didapatkan nilai CBR sebesar 103,155% dan kepadatan kering maksimum sebesar 2,049 gr/cm³. Sehingga penggunaan lime stone dan abu batu layak digunakan sebagai fraksi agregat halus.

Kata Kunci: Agregat Kelas A; Tanah Putih; Abu Batu; Gradasi; CBR

ABSTRACT

*Crushed stone, gravel, sand, and other minerals from natural or man-made sources form aggregates. Class A aggregate foundation layer, which is between the subbase layer and the surface layer and is made from a mixture of fine and coarse crushed stone measuring 3/2", functions as a foundation for concrete and asphalt pavement. In mixing class A aggregate, sand is the material used as fine aggregate. There is limited sand material in Kupang City, so this research examines the impact of using 15% white soil (*lime stone*) and 25% stone ash as a substitute for fine fractions, the density of the class A aggregate foundation layer and to ensure the CBR value of the foundation layer. class A aggregate. This test uses the California Bearing Ratio (CBR) method, while the 2018 Revision II Bina Marga Specifications and SNI for class A aggregate foundation layer work are used to check or analyze the physical properties and gradation of the material obtained from the PT Bumi Indah quarry The data source for this research is from research results at the PT. Bumi Indah laboratory. The research results obtained a CBR value of 103.155% and a maximum dry density of 2.049 gr/cm³. So the use of lime stone and stone ash is suitable as a fine aggregate fraction.*

Keywords: Class A Aggregate; Lime Stone; Stone Ash; Gradation; CBR

1. PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, Provinsi Nusa Tenggara Timur mengencakan pembangunan infrastruktur dan fasilitas jalan. Kebutuhan agregat juga meningkat seiring dengan banyaknya proyek pembangunan jalan di Nusa Tenggara Timur. Berdasarkan pengamatan, banyak konstruksi jalan rusak dan tidak memenuhi umur rencana. Kualitas agregat lapisan pondasi yang digunakan atau penggunaan material yang tidak memenuhi spesifikasi yang ditentukan atau tidak layak pakai merupakan dua dari sekian banyak faktor yang dapat menurunkan daya dukung jalan.

Bahan perkerasan jalan adalah campuran antara agregat kasar dan halus yang berfungsi sebagai material pengikat untuk menanggung beban dari lalu lintas (Fathurrozi, 2020). Agregat merupakan material utama yang mempengaruhi daya dukung lapisan permukaan jalan dan merupakan material pembentuk lapisan permukaan jalan. Lapisan pondasi agregat kelas A terbuat dari batu gunung yang dihancurkan menggunakan *stone crusher*, menghasilkan kualitas tinggi yang berdampak pada harga yang lebih mahal (Santoso, 2023). Fraksi agregat halus merupakan partikel atau pecahan batu yang keras dan tahan lama yang memenuhi standar yaitu lolos saringan 4,75 mm dan ditetapkan dalam Spesifikasi Umum tahun 2018 (Kementrian PUPR Direktorat Jendral Bina Marga, 2020). Tanah putih atau tanah kapur juga dapat mempengaruhi kinerja campuran beton aspal dengan cara meningkatkan ikatan antara aspal dan agregat. Penggunaan tanah putih dalam mortar memungkinkan material tersebut mencapai kelas mortar M, S, dan N. Hal ini berarti mortar tersebut cocok untuk berbagai konstruksi, seperti *box culvert*, perkerasan kaku, jembatan komposit, hingga bangunan rumah tinggal (Trisnoyuwono et al., 2021).

Untuk menggantikan agregat halus pada penelitian ini diperlukan material alternatif yang memenuhi spesifikasi. Agregat pasir merupakan salah satu sumber daya yang terjangkau, namun permasalahan utamanya adalah kelangkaan pasir di berbagai wilayah, termasuk Kota Kupang. Salah satu lokasi di Kota Kupang yang banyak terdapat Tanah Putih adalah di Jalan Lingkar No. 40, Bello, Kecamatan Maulafa, Kota Kupang, Nusa Tenggara Timur. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh penggantian fraksi halus (pasir) dengan tanah putih (*lime stone*) dan abu batu terhadap kepadatan agregat kelas A dan membandingkan nilai *California Bearing Ratio* (CBR).

2. METODE

2.1 Populasi dan Sampel

Penelitian ini dilakukan di Basecamp PT. Bumi Indah yang bertempat di Matani, Kupang, Nusa Tenggara Timur. Material yang diambil dari Jalur 40. Waktu pelaksanaan penelitian dilakukan terhitung dari Mei 2023 sampai Desember 2023. Penelitian ini menggunakan populasi lapisan pondasi agregat kelas A. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Agregat halus yaitu Tanah putih dan abu batu yang lolos saringan No. 4 (atau 4,75 mm) dan tertahan saringan No. 200 (0,075 mm) sebagai pembentuk agregat halus.
- b. Agregat sedang adalah batu pecah yang setelah melewati saringan 3/8" (9,5 mm) dan tertahan pada saringan 4 (4,75 mm).
- c. Agregat kasar yaitu Batu pecah yang lolos saringan nomor 1 (25,4 mm) dan tertahan pada saringan No. 4 (4,75mm).
- d. Sepuluh sampel benda uji atau briket digunakan.

2.2. Teknik pengumpulan data

Berikut ini adalah metode yang digunakan dalam penelitian ini untuk mengumpulkan data.

- a. Teknik studi literatur dilakukan dengan memperoleh referensi dari buku, jurnal, makalah, dan sumber lain yang memuat landasan teori dan rumusan yang mendukung penulisan penelitian ini.
- b. Teknik observasi dilakukan melalui survei awal atau pengecekan lokasi pengambilan bahan pada Jalur 40, serta penyiapan bahan dan pemeriksaan alat-alat yang akan diperlukan untuk pengujian laboratorium. Inspeksi abrasi, batas *Atterberg*, berat jenis, dan gradasi agregat adalah langkah selanjutnya dalam proses inspeksi awal. Komposisi agregat yang optimal akan tercipta setelah selesainya semua pemeriksaan. Lima sampel untuk pemadatan dibuat dari campuran ini. Bahan yang tertahan pada saringan 3/4" (19 mm) diganti dengan bahan yang lolos saringan 3/4" (19 mm) dan tertahan pada saringan No.4 (4,75 mm). Bahan tersebut kemudian dicampur dengan air dan diuji untuk memastikan kandungan airnya cukup. Bahan siap untuk percobaan CBR (*California Bearing Ratio*) setelah mencapai kadar air ideal. Bahan direndam selama empat hari sebelum pengujian, setelah itu sampel dapat diuji. Nilai CBR akan diperoleh dari hasil pengujian dan dianalisis untuk dijadikan tolak ukur dalam menentukan kelayakan dan kelas agregat.

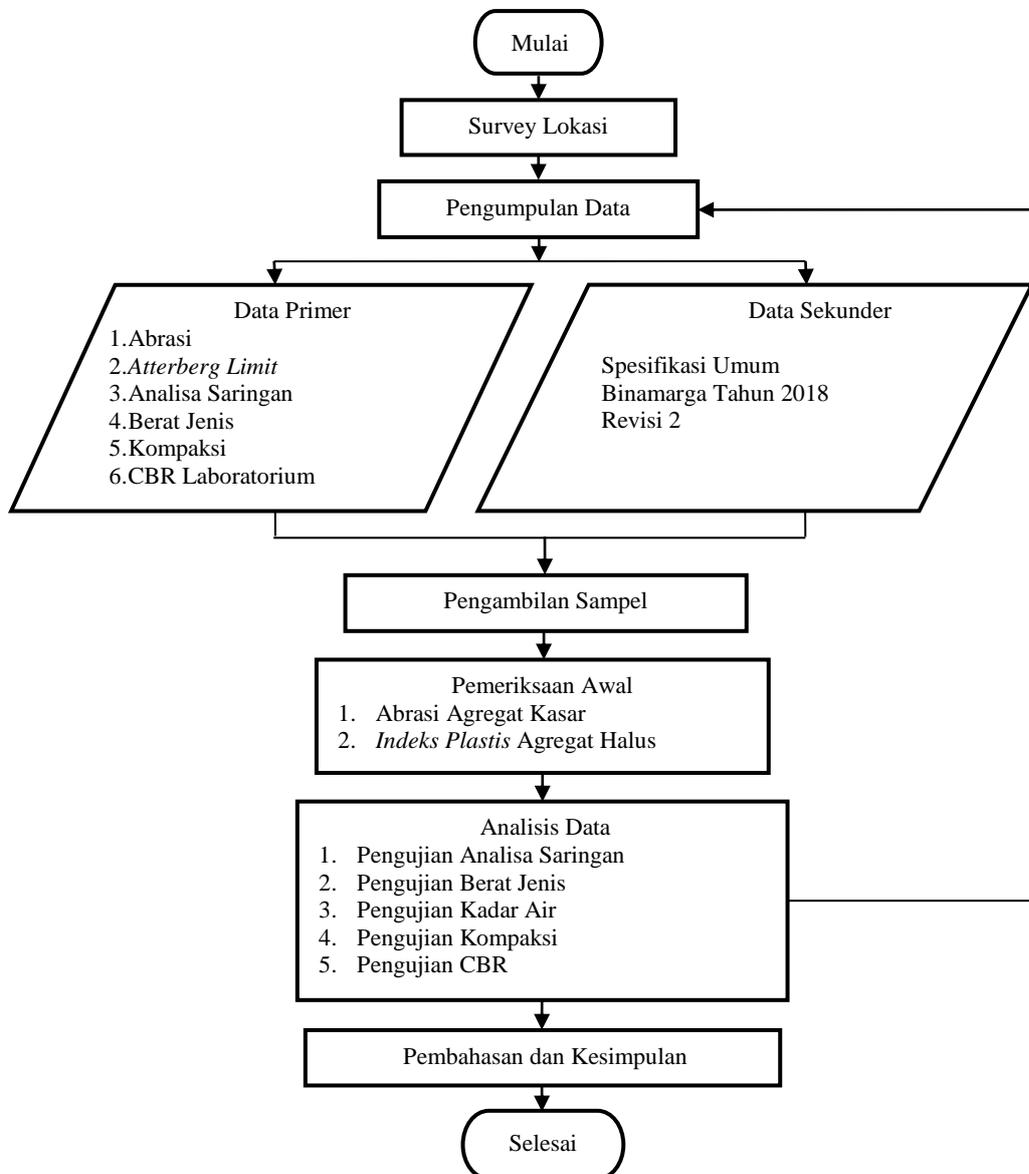
- c. Teknik dokumentasi dilakukan dengan cara mengumpulkan data dan dokumen yang berkaitan dengan penelitian.

2.3 Teknik Analisis Data

Analisis deskriptif dan inferensi merupakan metode analisis data yang digunakan dalam penelitian ini. Pada penelitian ini, analisis data menggunakan Standar Nasional Indonesia (SNI) tentang pengujian Agregat Kelas A dengan persyaratan sesuai Spesifikasi Umum 2018 Revisi 2.

2.4 Diagram Alir Penelitian

Untuk memperlancar proses pembuatan skripsi dibuat sebuah diagram alir penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengujian Abrasi atau Keausan Agregat Kasar

Daya tahan agregat terhadap beban mekanis dapat diperiksa dengan melakukan pengujian abrasi sesuai dengan (SNI 2417:2008). Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui tingkat keausan yang dapat dihitung sebagai berat bahan aus yang melewati saringan No. dibagi 12. Tabel 1 di bawah ini menampilkan hasil pengujian abrasi.

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Abrasi Agregat Kasar

Ukuran Saringan		I	II
Lolos	Tertahan	Abrasi Metode (B)	Abrasi Metode (B)
mm (ASTM)	mm (ASTM)	gr	gr
50,8 (2")	36,1 (1 1/2")		
36,1 (1 1/2")	25,4 (1")		
25,4 (1")	19,1 (3/4")		
19,1 (3/4")	12,7 (1/2")	2500	2500.0
12,7 (1/2")	9,52 (3/8")	2500	2500.0
9,52 (3/8")	6,35 (1/4")		
6,35 (1/4")	4,75 (No.4)		
4,75 (No.4)	2,36 (No.8)		
Jumlah Berat		5000	5000
Berat Tertahan Saringan No.12 setelah Percobaan (B)		4202,8	4180

$$\begin{aligned} \text{Keausan percobaan I} &= \frac{\text{Jumlah berat} - \text{berat tertahan saringan No.12}}{\text{Jumlah berat}} \\ &= \frac{5000 \text{ gr} - 4202,8 \text{ gr}}{5000 \text{ gr}} = 15,944 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Keausan percobaan I} &= \frac{\text{Jumlah berat} - \text{berat tertahan saringan No.12}}{\text{Jumlah berat}} \\ &= \frac{5000 \text{ gr} - 4180 \text{ gr}}{5000 \text{ gr}} = 16,392 \% \end{aligned}$$

$$\text{Rata-rata nilai abrasi} = \frac{15,944 \% + 16,392 \%}{2} = 16,168 \%$$

Terlihat dari perhitungan di atas, hasil uji abrasi agregat kasar yang mengandung material pasir sungai memenuhi standar uji yang dipersyaratkan yaitu maksimum sebesar 40% dengan nilai keausan sebesar 16,168%.

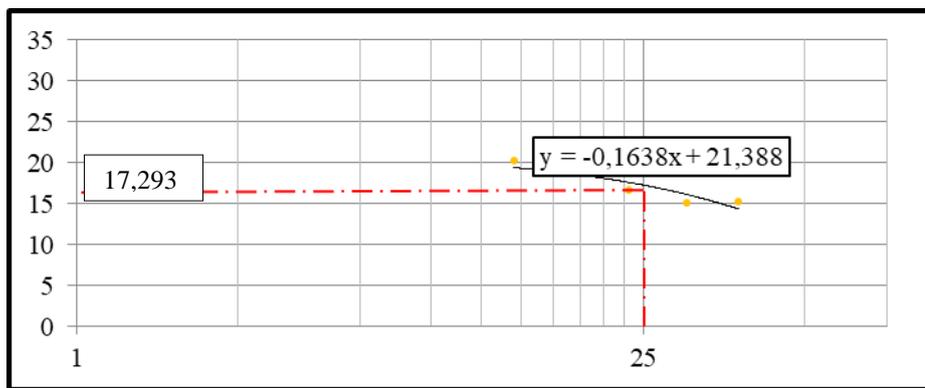
3.2. Pengujian Atterberg Limit

Pengujian batas Atterberg terdiri dari dua langkah: menentukan nilai indeks plastisitas (PI) dengan memeriksa batas plastis (PL) dan batas cair (LL). Tanah berbutir halus dan kasar yang lolos saringan No. 40 (0,425 mm) digunakan untuk pengujian ini. Berdasarkan Tabel 2 di bawah, batas cair tanah diperiksa dengan menggunakan (SNI 1966:2008).

Tabel 2. Hasil pemeriksaan batas cair tanah

Ketukan	12	23	32	43
Berat Kurus + Tanah Basah (g)	55.3	56.9	51	39.6
Berat Kurus + Tanah Kering (g)	47.9	50.8	45.8	35.9
Berat Kurus (g)	11.5	14.4	11.5	11.7
Berat Tanah Kering (g)	36.4	36.4	34.3	24.2
Berat Air (g)	7.4	6.1	5.2	3.7
Kadar Air (%)	20.33	16.76	15.16	15.29

Gambar 2 menunjukkan hasil penggunaan grafik semi logaritma untuk menentukan nilai batas cair tanah.



Gambar 2. Grafik Penentuan Nilai Batas Cair Tanah

Batas plastis tanah, atau batas kadar air terendah pada saat tanah masih dalam keadaan plastis, diuji setelah nilai batas cair telah ditentukan. Tabel 3 menampilkan hasil pengujian batas plastis tanah.

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Batas Plastis

Uraian	I	II	Rata-rata	Satuan
Berat Kurus + Tanah basah (W1)	24,20	27,40		Gram
Berat Kurus + Tanah Kering (W2)	23,00	25,40		Gram
Berat Kurus (W3)	14,40	14,40		Gram
Berat Tanah Kering (Wt) = W2 - W3	8,60	11,00		Gram
Berat Air (Wa)	1,20	2,00		Gram
Berat Air = Wa/Wt x 100%	13,95	18,18	16,07	%
Batas Plastis (PL)	1,23			%

Uji batas Atterberg pada lapisan pondasi kelas A memenuhi spesifikasi dengan spesifikasi batas cair maksimum 0 – 25% dan indeks plastisitas maksimum 0 – 6%.

3.3. Pengujian Gradasi atau Analisa Saringan

Tujuan uji analisis saringan adalah untuk menentukan ukuran butir setiap jenis bahan sesuai dengan persyaratan proporsi agregat gabungan. Tabel 4 sampai Tabel 6 menampilkan hasil pemeriksaan gradasi butir agregat gabungan dengan Metode Uji Analisis Saringan Agregat (SNI 03-1968-1990).

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan Gradasi Batu Pecah 1 ½"

Berat Contoh (gr) : 2859.6					Rata Rata	Berat Contoh (gr): 3060.4				
SARINGAN		Berat Trthan	PERSEN (%)			SARINGAN		Berat Trthan	PERSEN (%)	
(ASTM)	(mm)		Trthan	Lolos		(ASTM)	(mm)		Trthan	Lolos
1 1/2"	37,5	0,0	0,00	100,00	100,00	1 1/2"	37,5	0,0	0,00	100,00
1"	25,0	736,9	25,77	74,23	68,28	1"	25,0	1153,1	37,68	62,32
3/8"	9,50	2625,8	91,82	8,18	9,85	3/8"	9,50	2707,9	88,48	11,52
No.4	4,75	2853,7	99,79	0,21	0,80	No. 4	4,75	3017,5	98,60	1,40
No.10	2,00					No. 10	2,00			
No.40	0,425					No. 40	0,425			
No.200	0,075					No. 200	0,075			

Contoh perhitungan analisis saringan diberikan di bawah ini, dengan menggunakan saringan No. 4 (4,75 mm) dan material agregat batu pecah berukuran 1 ½" sebagai representasi dari total material yang dianalisis.

1. Benda uji I

- a. Berat benda uji I : 2859,6 gram
- b. Jumlah berat tertahan benda uji I : 2853,7 gram
 - (a). Komulatif persen tertahan : $\frac{2853,7}{2859,6} \times 100 \% = 99,79 \%$
 - (b). Persen lolos : $100 - 99,79 = 0,21 \%$

2. Benda uji II

- a. Berat benda uji II : 3060,4 gram
- b. Jumlah berat tertahan benda uji II : 3017,5 gram
 - (a). Komulatif persen tertahan : $\frac{3017,5}{3060,4} \times 100 \% = 98,60 \%$
 - (b). Persen lolos : $100 - 98,60 = 1,40 \%$

3. Nilai rata – rata persen lolos : $\frac{(0,21 + 1,40)}{2} = 0,80 \%$

Tabel 5. Hasil Pemeriksaan Gradasi Abu Batu

Berat Contoh (gr) : 2402.3					Rata Rata	Berat Contoh (gr): 2277.6				
SARINGAN		Berat Trthan	PERSEN (%)			SARINGAN		Berat Trthan	PERSEN (%)	
(ASTM)	(mm)		Trthan	Lolos		(ASTM)	(mm)		Trthan	Lolos
1 1/2"	37,5	0,00	0,00	100	100,00	1 1/2"	37,5	0,00	0,00	100,00
1"	25,0	0,00	0,00	100,00	100,00	1"	25,0	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,50	9,60	0,40	99,60	99,80	3/8"	9,50	0,00	0,00	100,00
No.4	4,75	51,40	2,14	97,86	98,18	No. 4	4,75	34,10	1,50	98,50
No.10	2,00	968,50	40,32	59,68	60,47	No. 10	2,00	882,30	38,74	61,26
No.40	0,425	1953,20	81,31	18,69	18,55	No. 40	0,425	1858,40	81,59	18,41
No.200	0,075	2307,70	96,06	3,94	4,07	No. 200	0,075	2182,00	95,80	4,20

Tabel 6. Hasil Pemeriksaan Gradasi Lime Stone

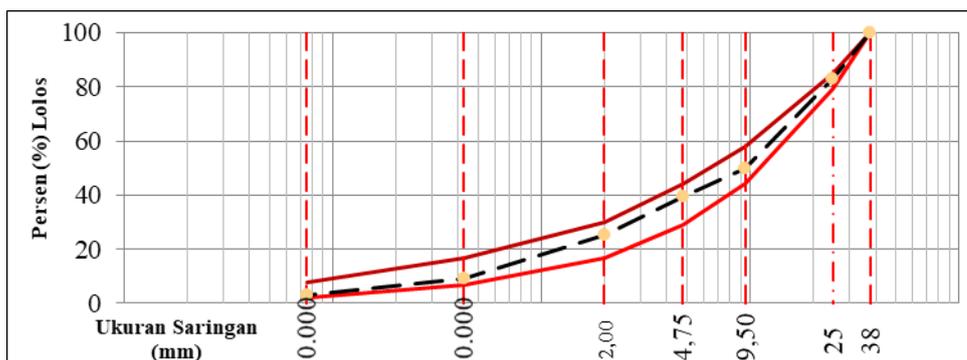
Berat Contoh (gr) : 1716.2					Berat Contoh (gr): 1879.4					
SARINGAN		Berat Trthan	PERSEN (%)		Rata Rata	SARINGAN		Berat Trthan	PERSEN (%)	
(ASTM)	(mm)		Trthan	Lolos		(ASTM)	(mm)		Trthan	Lolos
1 1/2"	37,5	0,00	0,00	100	100,00	1 1/2"	37,5	0,00	0,00	100,00
1"	25,0	0,00	0,00	100,00	100,00	1"	25,0	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,50	82,50	4,81	95,19	95,28	3/8"	9,50	86,90	4,62	95,38
No.4	4,75	431,60	25,15	74,85	73,97	No. 4	4,75	505,60	26,90	73,10
No.10	2,00	810,00	47,20	52,80	51,52	No. 10	2,00	935,20	49,76	50,24
No.40	0,425	1345,20	78,38	21,62	21,63	No. 40	0,425	1472,50	78,35	21,65
No.200	0,075	1566,60	91,28	8,72	9,48	No. 200	0,075	1686,90	89,76	10,24

Data gradasi dari fraksi agregat kasar (CA) yang tertahan pada saringan No. 8, fraksi halus (FA) yang lolos saringan No. 4 tetapi tertahan pada saringan No. 200, dan bahan pengisi (FF) yang lolos saringan No. 200, digabungkan untuk menghasilkan komposisi agregat gabungan. Kurva distribusi ukuran butir agregat pada Gambar 3 dan Tabel 7 merupakan hasil pengujian analisis saringan agregat gabungan.

Tabel 7. Hasil Gradasi Gabungan

Komponen		Proporsi	
Fraksi Kasar :	Batu Pecah 1 1/2"	54%	
	Abu Batu	20%	
Fraksi Halus :	Sirtu (<i>Lime Stone</i>)	26%	

SARINGAN	Batu pecah 1 1/2"	Gradasi Abu Batu			Lime stone		HASIL	SPESIFIKASI	
ASTM	mm	100	54,00%	100,00%	20,00%	100	26%		
1 1/2	37,5	100,00	54,00	100,00	20,00	100,00	26,00	100,00	100 - 100
1	25,0	68,28	36,87	100,00	20,00	100,00	26,00	82,87	79 - 85
3/8	9,50	9,85	5,32	99,80	19,96	95,28	24,77	50,05	44 - 58
No.4	4,75	0,80	0,43	98,18	19,64	73,97	19,23	39,30	29 - 44
No.10	2,00			60,47	12,09	51,52	13,40	25,49	17 - 30
No.40	0,425			18,55	3,71	21,63	5,62	9,33	7 - 17
No.200	0,075			4,07	0,81	9,48	2,46	3,28	2 - 8



Gambar 3. Grafik Gradasi Gabungan Agregat Kelas A

Gabungan gradasi agregat, atau garis persen yang melewati setiap saringan, dapat ditemukan di dalam garis batas atas dan bawah grafik di atas. Berdasarkan temuan tersebut, hasil gradasi agregat secara keseluruhan memenuhi spesifikasi umum Bina Marga 2018 Revisi 2.

3.4. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengukur berat jenis agregat, atau berat kering, serta berat jenis kering permukaan jenuhnya, berat jenis nyata, dan penyerapan air. Tabel 8 sampai Tabel 10 berikut menampilkan hasil pemeriksaan dan analisa berat jenis dan penyerapan yang dilakukan dengan menggunakan SNI 03-1969-1990 (agregat kasar) dan SNI 03-1970-1990 (agregat halus).

Tabel 8. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Batu Pecah 1 ½

URAIAN		I	II	Satuan
Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh (Bj)		2136,30	2353,00	Gram
Berat Benda Uji Dalam Air (Ba)		1332,9	1480,90	Gram
Berat Benda Uji Kering Oven (Bk)		2124,4	2343,40	Gram
URAIAN		I	II	Rata – Rata
Berat Jenis (<i>Bulk</i>)	$\frac{Bk}{Bj - Ba}$	2,644	2,687	2,666
	$\frac{Bj}{Bj - Ba}$	2,659	2,698	2,679
Berat Jenis (<i>SSD</i>)	$\frac{Bk}{Bk - Ba}$	2,684	2,717	2,701
	$\frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\%$	0,560	0,410	0,485

Tabel 9. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus *Lime Stone*

No.	Nomor Contoh	I	II	Satuan
1	Berat Botol + Tanah (w2)	136,90	138,60	gram
2	Berat Botol (w1)	51,50	58,30	gram
3	Berat Tanah (w2 – w1)	85,40	80,30	gram
4	Berat Botol + air (w4)	150,00	157,30	gram
5	w2 - w1 + w4	235,40	237,60	
6	Berat Botol + air + Tanah w3	198,50	201,50	
7	Volume Tanah (w2 - w1)+ (w4- w3)	36,90	36,10	gr/cm ³
8	Berat Jenis Tanah	2,31	2,22	gr/cm ³
Rata – Rata		2,269		gr/cm³

Tabel 10. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Abu Batu

Nomor Contoh		1	2	Rata-rata	Spec.
Berat contoh kering permukaan jenuh SSD (Bj)	500	500,00	500,00		
Berat piknometer + Air (Ba)	B	634,30	719,00		
Berat Piknometer + Air + Contoh (Bt)	Bt	940,70	1025,2		
Berat contoh + kering (Bk)	Bk	492,90	492,50		
Berat jenis <i>Bulk</i>	$\frac{Bk}{(Ba+Bj-Bt)}$	2,546	2,541	2,544	
Berat jenis SSD	$\frac{Bj}{(Ba+Bj-Bt)}$	2,583	2,580	2,581	
Berat jenis <i>Apparent</i>	$\frac{Bk}{(Ba+Bk-Bt)}$	2,643	2,644	2,643	
Penyerapan	$\frac{(Bj-Bk)}{Bk} \times 100$	1,440	1,523	1,482	Max. 10%

Berat jenis efektif ditentukan berdasarkan hasil analisis berat jenis gabungan yang disajikan pada Tabel 11 berikut ini.

Tabel 11. Hasil Analisa Berat Jenis Gabungan

FRAKSI	Proporsi (%)	Berat Jenis		
		Bulk	SSD	Apparent
1. Batu Pecah 1 1/2"	54%	2,666	2,679	2,701
2. Abu Batu < # No. 4	20%	2,544	2,581	2,643
3. Sirtu Gunung (<i>Lime Stone</i>) < # No. 4	26%	2,269	2,269	2,269

Perhitungan untuk mendapatkan hasil berat jenis efektif dapat dilihat dibawah ini.

1. Berat jenis bulk

$$Bj \text{ Bulk} = \frac{100}{\left(\frac{54}{2,666} + \frac{20}{2,544} + \frac{26}{2,269}\right)} = 2,527$$

2. Berat jenis SSD

$$Bj \text{ SSD} = \frac{100}{\left(\frac{54}{2,697} + \frac{20}{2,581} + \frac{26}{2,269}\right)} = 2,5403$$

3. Berat jenis *apparent*

$$Bj \text{ apparent} = \frac{100}{\left(\frac{54}{2,701} + \frac{20}{2,643} + \frac{26}{2,269}\right)} = 2,563$$

4. Berat jenis efektif

$$Bj \text{ efektif} = \frac{Bj \text{ Bulk} + Bj \text{ apparent}}{2} = \frac{2,527 + 2,563}{2} = 2,563$$

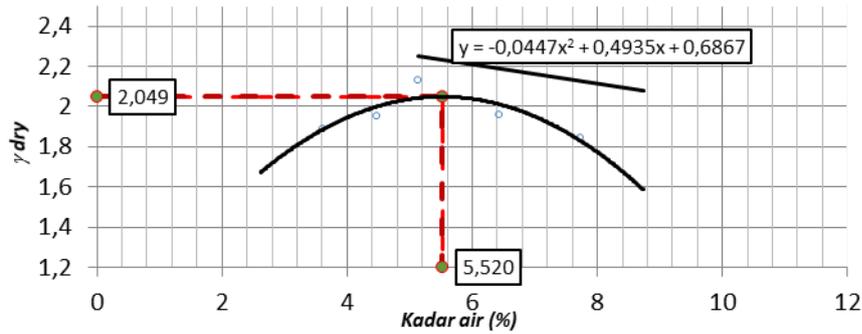
3.5. Pengujian Pemadatan Agregat A

Pengujian ini menggunakan tamper untuk memadatkan tanah ke dalam cetakan silinder dengan ukuran tertentu untuk memastikan hubungan antara berat jenis dan kadar air. Tabel 12 di bawah ini menampilkan temuan pemeriksaan dana analitik untuk uji coba pemadatan agregat kelas A.

Tabel 12. Hasil Pemeriksaan Pemadatan Agregat Kelas A

PENAMBAHAN AIR (%)		I	II	III	IV	V
1	Berat Mold + Cth basah	9860.70	10020.40	10405.80	10103.00	9923.20
2	Berat Mold	6059.60	6059.60	6059.60	6059.60	6059.60
3	Berat Cth basah (1 – 2)	3801.10	3960.80	4346.20	4043.40	3863.60
4	Volume Mold	1942.80	1942.80	1942.80	1942.80	1942.80
5	Berat Isi basah (3 : 4)	1.957	2.039	2.237	2.081	1.989
6	Berat Isi kering ((5)/(1+(Ka)))	1.888	1.951	2.128	1.955	1.846
KADAR AIR						
1	Berat cawan + Cth basah	1208.90	1418.10	1203.60	1572.60	1322.10
2	Berat cawan + Cth kering	1166.70	1357.40	1144.80	1477.60	1227.20
3	Berat Air (1 – 2)	42.20	60.70	58.80	95.00	94.90
4	Berat cawan	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	Berat cth kering (2 – 4)	1166.70	1357.40	1144.80	1477.60	1227.20
6	Kadar Air ((3:5)*100%)	3.617	4.472	5.136	6.429	7.733
7	ZAV (Zero Air Voids Line) $B_{j_{\text{eff}}}/(1+(B_{j_{\text{eff}}}\cdot Ka))$	2.330	2.285	2.251	2.187	2.126

Gambar 4 menunjukkan grafik hiperbolik yang dibuat berdasarkan temuan pengujian di atas untuk menentukan kadar air ideal dan berat kering maksimum. Grafik tersebut menunjukkan bahwa 2,049 gr/cm³ merupakan berat isi kering dan 5,520% merupakan kadar air ideal untuk pemadatan lapisan pondasi kelas A.



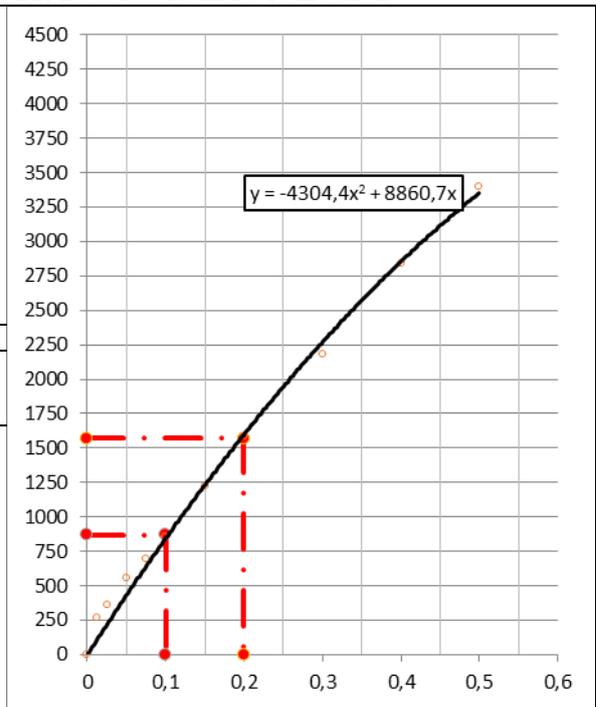
Gambar 4. Grafik Pemadatan Agregat Kelas A

3.6. Pengujian CBR Agregat Kelas A

SNI 1744-2012 digunakan di laboratorium untuk pemeriksaan CBR. Setelah menentukan kadar air dan penetrasi, pengujian dilanjutkan dengan pembuatan grafik hiperbolik untuk mengetahui nilai CBR yang dihasilkan dari penetrasi 0,1 dan 0,2 inci. Tabel 13 menunjukkan analisa dan pemeriksaan CBR Laboratorium 10 tumbukan.

Tabel 13. Hasil Pemeriksaan CBR Laboratorium 10 Tumbukan

1	Berat Mold + Cth basah	12313,20	
2	Berat Mold + Plat	8528,30	
3	Berat Cth basah (1 – 2)	3784,90	
4	Volume Mold	2105,76	
5	Berat Isi basah (3 : 4)	1,797	
6	Berat Isi kering (5)/(1+(6/100))	1,688	
KADAR AIR			
1	Berat cawan + Cth basah	2068,80	
2	Berat cawan + Cth kering	1943,10	
3	Berat Air (1 – 2)	125,70	
4	Berat cawan	0,00	
5	Berat cth kering (2 – 4)	1943,10	
6	Kadar Air ((3:5)*100%)	6,469	
PENETRASI CBR			
Kalibrasi Proving Ring :		33,000	Lbs/Div
Waktu (menit)	Penurunan (inch)	Pembacaan (div)	Beban (lbs)
0,25	0,0125	8	264
0,50	0,0250	11	363
1,00	0,0500	17	561
1,50	0,0750	21	693
2,00	0,1000	26	858
3,00	0,1500	37	1221
4,00	0,2000	48	1584
6,00	0,3000	66	2178
8,00	0,4000	86	2838
10,00	0,5000	103	3399



Hasil analisa berdasarkan tabel dan garfik hiperbolik diatas diperoleh nilai CBR sebagai berikut :

$$\text{Penurunan 0,1 Inch} = \frac{870,26}{3000} \times 100 \% = 29,01 \%$$

$$\text{Penurunan 0,2 Inch} = \frac{1570,03}{4500} \times 100 \% = 34,89 \%$$

Hasil pemeriksaan nilai CBR Laboratorium pada 35 tumbukan dapat dilihat pada Tabel 14 berikut ini.

Tabel 14. Hasil Pemeriksaan CBR Laboratorium 35 Tumbukan

1	Berat Mold + Cth basah	13066,60			
2	Berat Mold + Plat	8780,50			
3	Berat Cth basah (1 – 2)	4286,10			
4	Volume Mold	2105,76			
5	Berat Isi basah (3 : 4)	2,035			
6	Berat Isi kering (5)/(1+(6/100))	1,912			
KADAR AIR					
1	Berat cawan + Cth basah	2068,80			
2	Berat cawan + Cth kering	1943,10			
3	Berat Air (1 – 2)	125,70			
4	Berat cawan	0,00			
5	Berat cth kering (2 – 4)	1943,10			
6	Kadar Air ((3:5)*100%)	6,469			
PENETRASI CBR					
Kalibrasi Proving Ring :		33,000	Lbs/Div		
Waktu (menit)	Penurunan (inch)	Pembacaan (div)	Beban (lbs)		
0,25	0,0125	7	231		
0,50	0,0250	14	462		
1,00	0,0500	27	891		
1,50	0,0750	38	1254		
2,00	0,1000	47	1551		
3,00	0,1500	66	2178		
4,00	0,2000	82	2706		
6,00	0,3000	115	3795		
8,00	0,4000	135	4455		
10,00	0,5000	155	5115		

Hasil analisa berdasarkan Tabel 14 dan grafik hiperbolik diatas diperoleh nilai CBR sebagai berikut :

$$\text{Penurunan 0,1 Inch} = \frac{1530,46}{3000} \times 100 \% = 51,02 \%$$

$$\text{Penurunan 0,2 Inch} = \frac{2761,27}{4500} \times 100 \% = 61,36 \%$$

Hasil pemeriksaan nilai CBR Laboratorium pada 65 tumbukan dapat dilihat pada Tabel 15 berikut ini. Hasil CBR pada tabel ini menjadi landasan kesimpulan analisis.

Tabel 15. Hasil Pemeriksaan CBR Laboratorium 65 Tumbukan

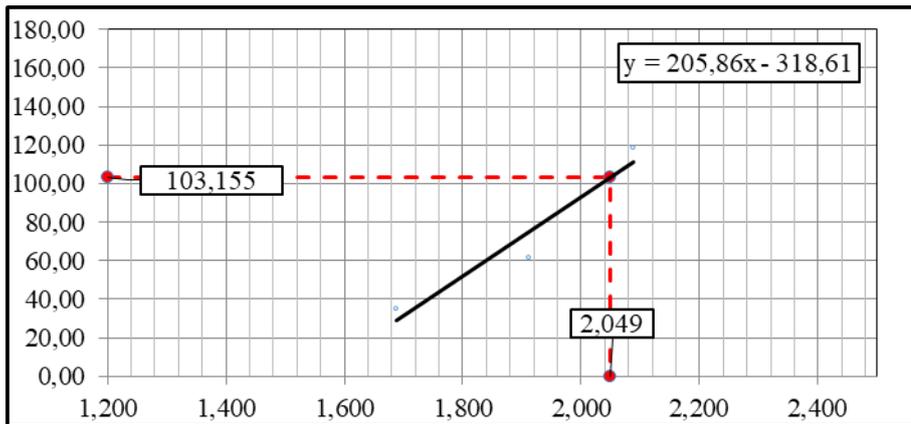
1	Berat Mold + Cth basah	12760,30			
2	Berat Mold + Plat	8102,50			
3	Berat Cth basah (1 – 2)	4657,80			
4	Volume Mold	2096,06			
5	Berat Isi basah (3 : 4)	2,222			
6	Berat Isi kering (5)/(1+(6/100))	2,087			
KADAR AIR					
1	Berat cawan + Cth basah	2068,80			
2	Berat cawan + Cth kering	1943,10			
3	Berat Air (1 – 2)	125,70			
4	Berat cawan	0,0			
5	Berat cth kering (2 – 4)	1943,10			
6	Kadar Air ((3:5)*100%)	6,47			
PENETRASI CBR					
Kalibrasi Proving Ring :		33,000	Lbs/Div		
Waktu (menit)	Penurunan (inch)	Pembacaan (div)	Beban (lbs)		
0,25	0,0125	9	297		
0,50	0,0250	18	594		
1,00	0,0500	43	1419		
1,50	0,0750	73	2409		
2,00	0,1000	95	3135		
3,00	0,1500	133	4389		
4,00	0,2000	164	5412		
6,00	0,3000	213	7029		
8,00	0,4000	250	8250		
10,00	0,5000	289	9537		

Hasil analisa berdasarkan Tabel 15 dan grafik hiperbolik diatas diperoleh nilai CBR sebagai berikut :

$$\text{Penurunan 0,1 Inch} = \frac{2933,04}{3000} \times 100 \% = 97,77 \%$$

$$\text{Penurunan 0,2 Inch} = \frac{5339,61}{4500} \times 100 \% = 118,66 \%$$

Berdasarkan hasil pengujian CBR laboratorium agregat kelas A, dengan menggunakan uji CBR 10, 35, dan 65 tumbukan didapatkan nilai CBR laboratorium untuk uji CBR 10 tumbukan sebesar 34,890%, uji CBR 35 tumbukan sebesar 61,36%, dan uji CBR 65 tumbukan sebesar 118,658%. Nilai CBR desain yang diinginkan merupakan korelasi antara hasil hubungan kepadatan kering maksimum dan kadar air optimal pada Gambar 4 serta nilai CBR masing-masing n10, n35, dan n65. Gambar 5 menggambarkan model CBR ini. Nilai CBR sebesar 103,155% diperoleh pada kepadatan kering maksimum 2,049 gr/cm3.



Gambar 5. Grafik Hubungan Kepadatan & CBR

Dari Gambar 5 dapat diketahui bahwa hasil dari pengujian menghasilkan nilai CBR sebesar 103,155%. Sesuai dengan persyaratan spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 bahwa nilai CBR setelah perendaman 4 hari minimum 90% maka dapat dikatakan bahwa penggunaan tanah putih dan abu batu cocok untuk mengganti pasir sebagai fraksi agerat halus dalam lapisan pondasi agregat kelas A.

4. PENUTUP

Simpulan dan Saran

Dari seluruh pengujian terhadap sifat sebenarnya total halus yang dimulai dari Quarry PT. Bumi Indah memperoleh hasil pengujian batu kapur dengan daya serap air sebesar 2,269, berat jenis SSD sebesar 2,269, berat jenis curah sebesar 2,269, dan berat jenis semu sebesar 2,269. Abu batu memiliki hasil pengujian sebagai berikut: daya serap air sebesar 1,502, berat jenis curah 2,543, berat jenis SSD 2,581, dan berat jenis semu sebesar 2,644. Sesuai spesifikasi umum Bina Marga revisi 2, nilai minimum penyerapan air dan berat jenis untuk pengujian material agregat kelas A masing-masing adalah 2,5 dan 3%. Sedangkan bahan batu kapur dan abu batu semuanya lolos uji ayakan sesuai standar yang ditentukan. Nilai berat curah kering sebesar 2,049 gr/cm³, dan kadar air optimal sebesar 5,520 persen. Dengan menggunakan metode CBR, dilakukan pengujian kekuatan atau daya dukung agregat, dan agregat mempunyai berat jenis kering maksimum sebesar 2,049 gr/cm³. Dapat disimpulkan bahwa material batu kapur dan abu batu layak digunakan sebagai pengganti pecahan agregat halus pada lapisan pondasi agregat kelas A karena nilai CBR minimal sesuai pedoman spesifikasi umum Binamarga 2018 adalah 90 persen. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat melakukan penelitian tambahan mengenai topik ini dengan menyeleksi *quarry* yang

berbeda sehingga dapat mengetahui perbedaan sifat material dan kelayakan terhadap material *lime stone* dan abu batu sebagai bahan agregat halus dari *quarry* PT. Bumi Indah.

DAFTAR PUSTAKA

- Afif, A. & B. H. A. (2019). Pengaruh Abu Batu sebagai Substitusi Agregat Halus dan Penambahan Superplasticizer terhadap Karakteristik Beton Mutu Tinggi. Naskah Publikasi, 1–10.
- Akbar, S. J., & Mukhlis, M. (2021). Tinjauan Mutu Agregat Lapisan Pondasi Bawah Pada Perkerasan Jalan Batas Kota Lhokseumawe-Panton Labu. *TERAS JURNAL: Jurnal Teknik Sipil*, 5(2).
- Badan Standar Nasional. (1990). SNI 03-1970-1990 tentang Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus.
- Badan Standarisasi Nasional. (n.d.). SNI 1744-2012 tentang Uji CBR Laboratorium.
- Badan Standarisasi Nasional. (1989b). SNI 03-1973-1989 tentang Percobaan Pematatan.
- Badan Standarisasi Nasional. (1990a). SNI 03-1968-1990 tentang Analisa Saringan Agregat Halus dan kasar.
- Badan Standarisasi Nasional. (1990b). SNI 03-1969-1990 tentang Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008a). SNI 1966:2008 tentang Cara uji penentuan batas plastis dan indeks plastisitas tanah. Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008b). SNI 2417:2008 tentang Cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles.
- Fathurrozi, F. S. F. S. F. (2020). Uji Kualitas Material Lapis Pondasi Agregat Kelas A pada Tumpukan Material yang Berasal Dari Bentok dan Awang Bangkal pada Pekerjaan Jalan Hercules Kecamatan Landasan Ulin. *Gradasi Teknik Sipil*, 4(1), 61–69.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jendral Bina Marga. (2020). spesifikasi umum 2018 untuk pekerjaan konstruksi jalan dan jembatan revisi 2.
- Saleh, S. M., & Anggraini, R. (2015). Evaluasi Umur Layan Jalan dengan Memperhitungkan Beban Berlebih di Ruas Jalan Lintas Timur Provinsi Aceh. *Jurnal Transportasi*, 15(2).
- Santoso, M. B. (2023). Pemanfaatan Material Pasir sebagai Bahan Pengganti Fraksi Agregat Halus Untuk Lapis Pondasi Agregat Kelas A.
- Trisnoyuwono, D., Mata, A. E., & Daga, W. M. W. L. (2021). Kajian Kelayakan Penggunaan Material Tanah Putih Dari Pulau Rote Sebagai Pengganti Pasir Alam Dalam Produk Mortar Dan Beton. *JUTEKS: Jurnal Teknik Sipil*, 6(1), 24–31.