

Pemanfaatan Material Pasir Sebagai Bahan Pengganti Fraksi Agregat Halus Untuk Lapis Pondasi Agregat Kelas A

Muhammad Bagus Santoso ¹⁾

Sasana Putra ²⁾

Rahayu Sulistyorini ³⁾

Dwi Herianto ⁴⁾

Abstract

The base course material uses mountain stone which is broken up with a stone crusher so that it has a high quality which makes it expensive. In this research we need an alternative material to replace fine aggregate that meets the specification requirements. One of the more affordable resources is sand aggregate. The purpose of this study was to determine the density and comparison of the California Bearing Ratio (CBR) value of the base course using sand as a substitute for fine aggregate. The method used in this research is laboratory scale testing to obtain data on aggregate characteristics, optimum moisture content, and CBR values. The base course aggregate mixture used was 55% coarse aggregate and 45% fine aggregate consisting of a mixture of fine crushed stone and 0%, 10%, and 20% sand substitution. The results showed that the KAO value decreased with the addition of sand aggregate. Laboratory CBR values increased with 0% sand substitution having a CBR value of 99.2%, 10% sand substitution having a CBR value of 90.6%, and 20% sand substitution having a CBR value of 84.1%. Only the laboratory CBR value with sand substitution of 20% does not meet the specifications for base A aggregate, namely a minimum value of 90%.

Key words : The base course, sand, california bearing ratio, optimum moisture content.

Abstrak

Bahan lapis pondasi atas agregat kelas A menggunakan batu gunung yang dipecah dengan alat pemecah batu (*stone crusher*) sehingga memiliki mutu yang tinggi yang membuat harganya mahal. Dalam penelitian ini diperlukan suatu material alternatif pengganti agregat halus yang memenuhi persyaratan spesifikasi. Salah satu sumber daya yang lebih terjangkau harganya yaitu agregat pasir. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kepadatan dan perbandingan nilai *California Bearing Ratio* (CBR) lapis pondasi agregat kelas A dengan menggunakan pasir sebagai material pengganti agregat halus. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengujian skala laboratorium untuk mendapatkan data karakteristik agregat, kadar air optimum, dan nilai CBR. Campuran agregat kelas A yang digunakan adalah 55% agregat kasar dan 45% agregat halus yang terdiri dari campuran batu pecah halus dan substitusi pasir 0%, 10%, dan 20%. Hasil penelitian menunjukkan, nilai KAO semakin menurun seiring dengan penambahan agregat pasir. Nilai CBR laboratorium meningkat dengan substitusi pasir 0% memiliki nilai CBR 99,2%, substitusi pasir 10% memiliki nilai CBR 90,6%, dan substitusi pasir 20% memiliki nilai CBR 84,1%. Hanya nilai CBR laboratorium dengan substitusi pasir sebesar 20% yang belum memenuhi spesifikasi untuk agregat kelas A yaitu nilai minimal 90%.

Kata kunci : lapis pondasi agregat kelas A, pasir, *california bearing ratio*, kadar air optimum.

¹⁾ Mahasiswa S1 pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.
Surel: muhammadisfanarif@gmail.com

²⁾ Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 . Gedung Meneng Bandar Lampung. 35145.

³⁾ Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro no. 1. Gedung Meneng Bandar Lampung. 35145.

⁴⁾ Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro no. 1. Gedung Meneng Bandar Lampung. 35145.

I. PENDAHULUAN

Salah satu lapisan dari struktur perkerasan jalan yang ikut mendukung beban adalah lapis pondasi atas (*base course*). Lapis pondasi atas yang berasal dari campuran agregat berbutir disebut lapis pondasi agregat, yang sangat umum digunakan di Indonesia terutama pada daerah-daerah yang mempunyai deposit material batu kali/batu sungai. Salah satu campuran lapis pondasi agregat yang banyak digunakan adalah lapis pondasi agregat kelas A.

Lapis Pondasi Agregat Kelas A merupakan bagian dari perkerasan jalan yang letaknya tepat di bawah lapis permukaan yang menerima sebagian besar distribusi beban akibat kendaraan ke tanah dasar, oleh karena itu material yang digunakan harus berkualitas lebih tinggi sebagaimana diatur dalam (Bina Marga 2010). Bahan Lapis Pondasi Atas Agregat Kelas A menggunakan batu gunung yang dipecah dengan alat pemecah batu (*stone crusher*). Sebelum pelaksanaan konstruksi lapis pondasi agregat kelas A, harus dilakukan pengujian material di laboratorium terlebih dahulu dan juga harus memenuhi persyaratan yang ditentukan.

Material agregat halus yang digunakan untuk lapis pondasi agregat harus memiliki mutu yang tinggi serta sebagian besar pada agregat halus membuat harga agregat halus menjadi mahal, maka diperlukan suatu material alternatif pengganti agregat halus yang memenuhi persyaratan spesifikasi. Salah satu sumber daya yang lebih terjangkau harganya yaitu agregat pasir. (Laintarawan *et al.* 2018) telah meneliti tentang pasir erupsi gunung agung dan pengaruhnya terhadap nilai cbr agregat kelas a pada lapis pondasi atas. Oleh karena itu, pada penelitian ini berfokus pada pembahasan pengaruh pasir terhadap nilai *california bearing ratio* (CBR) pada lapis pondasi agregat kelas A.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lapis Pondasi Agregat Kelas A

Lapis pondasi agregat merupakan bagian perkerasan lentur jalan raya yang terletak antara lapis permukaan dan tanah dasar. Lapis Pondasi Agregat kelas A umumnya disebut juga lapis pondasi atas (*Base Course*). Lapisan perkerasan ini berada diantara lapis pondasi bawah (*Subbase Course*) dan lapis permukaan (*Surface Course*). Untuk lapis pondasi atas tanpa bahan pengikat, umumnya menggunakan material dengan CBR $\geq 90\%$ dan Plastis Indeks (PI) $\leq 6\%$ berdasarkan (Bina Marga 2010). Adapun Spesifikasi Umum Tahun 2010 sebagai berikut:

Tabel 1. Sifat-Sifat Lapis Pondasi Agregat Kelas A

Sifat – sifat	Kelas A
Abrasi dan Agregat Kasar (SNI 2417 : 2008)	0 - 40%
Butiran pecah, tertahan ayakan 3/8" (SNI 7619 : 2012)	95/90
Batas Cair (SNI 1967 : 2008)	0 – 25
Indek Plastisitas (SNI 1966 : 2008)	0 – 6
Hasil kali Indek Plastisitas dengan % Lolos Ayakan No. 200	Maks. 25%
Gumpalan Lempung dan Butiran – Butiran Mudah Pecah (SNI 03-4141-1996)	0 – 5%
CBR Rendaman (SNI 1744 : 2012)	Min. 90%
Perbandingan Persen Lolos Ayakan No. 200 dan No. 40	Maks. 2/3

Sumber: (Bina Marga 2010)

2.2 Gradasi

Dalam penelitian nilai gradasi agregat ditentukan berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2010 yang terdapat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. Gradasi Batas Bawah, Batas Atas

Ukuran Ayakan		Persen Berat Yang Lolos	
ASTM	(mm)	Batas Bawah	Batas Atas
2"	50		
1 ½"	37,5	100	100
1"	25,0	79	85
¾"	19,0	44	58
No. 4	4,75	29	44
No. 10	2,0	17	30
No. 40	0,425	7	17
No. 200	0,075	2	8

Sumber: (Bina Marga 2010)

Dalam sebuah campuran agregat dapat ditentukan koefisien keseragaman agregat berdasarkan kurva sebaran gradasi yang dilambangkan dengan C_u . C_u (*coefisien uniformitas*) adalah Koefisien keseragaman dimana menunjukkan kemiringan kurva dan menunjukkan sifat seragam (*uniform*) agregat. Selain koefisien keseragaman dalam sebuah campuran dapat ditentukan C_c (*curvature coefisient*) atau koefisien gradasi. Dimana ini menunjukkan baik atau tidaknya sebuah gradasi dalam suatu campuran. Untuk mencari nilai C_u dan C_c , terlebih dahulu harus mencari nilai D_{10} , D_{30} , dan D_{60} .

Definisi dari nilai tersebut adalah sebagai berikut :

D_{10} = Diameter yang bersesuaian dengan 10% lolos ayakan.

D_{30} = Diameter yang bersesuaian dengan 30% lolos ayakan.

D_{60} = Diameter yang bersesuaian dengan 60% lolos ayakan.

Setelah menentukan nilai D_{10} , D_{30} , dan D_{60} berdasarkan kurva campuran agregat maka dapat ditentukan C_u dan C_c berdasarkan rumus dibawah ini:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (1)$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} + D_{10}} \quad (2)$$

Suatu agregat dianggap bergradasi baik (*well graded*) jika nilai C_c terletak pada rentang 1 (satu) sampai 3 (tiga) dan nilai C_u lebih dari 6 (enam).

2.3 Agregat

Agregat adalah material granural, misalnya pasir, kerikil, batu pecah, dan kerak, tangku besi, yang dipakai bersama sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu semen hidrolik atau adonan. Agregat diperoleh dari sumber daya alam yang telah mengalami pengecilan ukuran secara alamiah melalui proses pelapukan dan abrasi yang berlangsung lama. Agregat dapat juga diperoleh dengan memecah batuan induk yang lebih besar. Agregat juga perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui kualitas agregat tersebut. Pengujian agregat yang dilakukan pada penelitian

ini adalah pengujian abrasi, kadar air, dan berat jenis agregat. Untuk menghitung hasil pengujian, menggunakan rumus:

$$Keausan = \frac{a-b}{a} \times 100 \quad (3)$$

Dimana:

- a = Benda uji semula (gram)
b = Benda uji tertahan saringan No. 12 (1,70 mm) (gram)

Kadar air agregat adalah besarnya perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dengan agregat dalam keadaan kering, dinyatakan dalam persen. Tujuan pengujian ini untuk memperoleh angka persentase dari kadar air yang dikandung oleh agregat. Untuk menghitung hasil pengujian, menggunakan rumus:

$$Kadar\ Air\ Agregat = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (4)$$

Dimana:

- W_w = Berat air yang terkandung dalam agregat (gram)
 W_s = Berat agregat dalam keadaan kering (gram)

Berat jenis kering oven (*Bulk specific gravity*), adalah berat jenis dengan memperhitungkan berat agregat kering dan seluruh volume agregat. perhitungan berat jenis kering oven (S_d), pada temperature air 23°C dengan rumus berikut ini:

$$S_d = \frac{A}{B-C} \quad (5)$$

Dimana:

- S_d = Berat jenis kering oven (gram)
A = Berat benda uji kering oven (gram)
B = Berat benda uji kondisi SSD (gram)
C = Berat benda uji dalam air (gram)

Berat jenis kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry*) adalah berat jenis dengan memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering permukaan dan seluruh volume agregat. Perhitungan berat jenis kering permukaan (S_s), pada temperatur air 23°C dengan rumus berikut ini:

$$S_s = \frac{B}{B-C} \quad (6)$$

Dimana:

- S_s = Berat jenis kering permukaan jenuh
B = Berat benda uji kondisi SSD (gram)
C = Berat benda uji dalam air (gram)

Berat Jenis Semu (*Apparent Specific Gravity*) adalah berat jenis dengan memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering dan seluruh volume agregat yang tidak dapat diresapi oleh air. Perhitungan berat jenis semu (S_a) pada temperature 23°C dengan rumus berikut:

$$S_a = \frac{A}{A-C} \quad (7)$$

Dimana:

- S_a = Berat jenis semu

A = Berat benda uji kering oven (gram)

C = Berat benda uji dalam air (gram)

2.4 Pasir

Tanah pasir merupakan tanah muda (baru) yang dalam klasifikasi FAO termasuk dalam ordo Regosol. Lahan pasir didominasi oleh pasir dengan kandungan lebih dari 70%, porositas rendah atau kurang dari 40%, sebagian besar ruang pori berukuran besar sehingga aerasinya baik, daya hantar cepat, tetapi kemampuan menyimpan air dan zat hara rendah.

2.5 Pemadatan Agregat

Pemadatan berfungsi untuk meningkatkan daya dukung tanah. Dengan meningkatnya daya dukung tanah deformasi dapat dihindari. Uji pemadatan atau proctor standar adalah metode laboratorium untuk menentukan kadar air optimal dimana suatu jenis agregat tertentu akan menjadi lebih padat dan mencapai kepadatan kering maksimum. Variabel pemadatan agregat yaitu energi pemadatan, jenis tanah, kadar air dan berat jenis. Selain kadar air maka faktor lain yang mempengaruhi pemadatan adalah jenis tanah dan energi pemadatan. Ada dua jenis pemadatan di Laboratorium yang bisa dipakai untuk menentukan kadar air optimum dan berat kering maksimum. Percobaan ini disebut “*Standard Compaction Test*” dan “*Modified Compaction Test*”.

2.6 CBR (*California Bearing Ratio*)

Daya dukung tanah dasar (*subgrade*) pada perencanaan perkerasan lentur dinyatakan dengan nilai CBR (*California Bearing Ratio*). CBR pertama kali diperkenalkan oleh California Division of Highways. Orang yang banyak mempopulerkan ini adalah O.J.Porter. CBR adalah perbandingan antara beban yang dibutuhkan untuk penetrasi contoh tanah sebesar 0,1” dan 0,2”. Alat percobaan untuk menentukan besarnya nilai CBR berupa alat yang mempunyai piston dengan luas 3 inch². Piston digerakkan dengan kecepatan 0,05 inch/menit, dan mengarah vertikal ke bawah. *Proving ring* digunakan untuk mengukur beban yang dibutuhkan pada penetrasi tertentu yang diukur dengan arloji pengukur (*dial*). Beban yang diperlukan untuk melakukan penetrasi bahan standar adalah sebagai berikut:

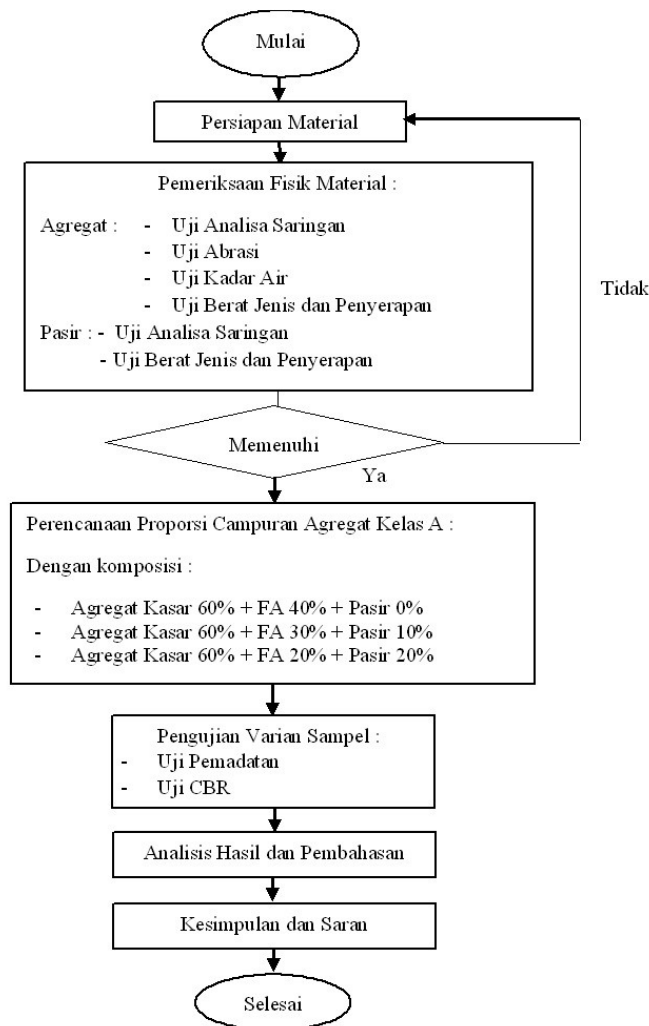
Tabel 2. Besarnya Beban Yang Dibutuhkan Untuk Melakukan Penetrasi Bahan Standar

Penetrasi (inch)	Beban Standar (lbs)	Beban Standar (lbs/inch ²)
0,1	3000	1000
0,2	4500	1500
0,3	5700	1900
0,4	6900	2300
0,5	7800	2600

Sumber : (Sukirman 1999)

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Inti Jalan Raya Teknik Sipil Universitas Lampung. Rancangan penelitian yang dilakukan oleh penulis dapat dilihat pada diagram alir dibawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

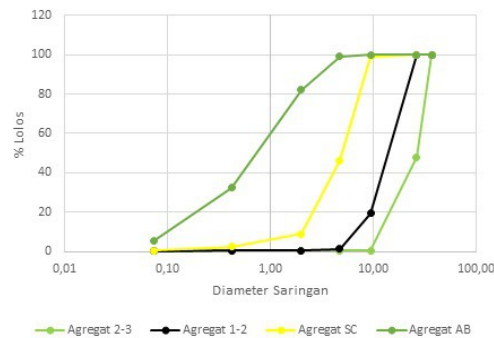
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Saringan

Pengujian dilakukan secara mekanis menggunakan alat uji analisa saringan yang dilakukan secara kering (*Dry Method*) untuk agregat kasar dan halus. Dalam penelitian ini ukuran saringan yang dipakai mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2010.

Tabel 3. Sebaran Gradasi Agregat Hasil Analisa Saringan

No. Saringan (mm)	Persentase lolos agregat (%)			
	2-3	1-2	SC	AB
37,5	100,00	100,00	100,00	100,00
26,5	47,80	100,00	100,00	100,00
9,5	0,55	19,35	99,06	99,88
4,75	0,46	1,23	46,29	99,11
2	0,45	0,50	8,94	82,13
0,425	0,37	0,44	2,37	32,48
0,075	0,15	0,06	0,51	5,57
pan	0,00	0,00	0,00	0,00



Gambar 2. Kurva Sebaran Gradasi Agregat Hasil Analisa Saringan

Berdasarkan grafik gradasi agregat kelas A dapat dilihat untuk agregat SC dan AB memiliki persentase lolos saringan lebih banyak dimana pada ukuran saringan 4,75 mm sampai 0,075 mm menunjukkan persentase tertahan saringan yang cukup untuk menstutstitusi pasir. Selain itu pasir memiliki rentang ukuran yang sama dengan agregat halus. Maka pasir dapat di substitusi pada agregat halus. Dari hasil analisa saringan dapat ditentukan gradasi campuran agregat kelas A.

4.2 Abrasi

Agregat yang dipakai untuk uji abrasi adalah agregat 2-3 dan 1-2 dimana total berat benda uji sebesar 5000 gram. Tabel hasil pengujian abrasi menggunakan *mesin loss angeles* dapat dilihat dibawah ini.

Tabel 4. Hasil Pengujian Abrasi Menggunakan Mesin *Loss Angeles*

Hasil Pengujian Abrasi Menggunakan Mesin <i>Loss Angeles</i>			
Berat benda uji awal		Berat benda uji tertahan saringan No. 12	
Benda uji 1	Benda uji 2	Benda uji 1	Benda uji 2
5000	5000	4159,4	4171,5
Persentase keausan		16,81%	16,57%
Rata-rata		16,69%	

Pada tabel didapat nilai rata-rata abrasi dari kedua sampel yaitu sebesar 16,69%. Berdasarkan penelitian ini nilai abrasi memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 dengan standar nilai abrasi yaitu sebesar 0 - 40%.

4.3 Kadar Air

Pengujian kadar air agregat dan pasir menggunakan 2 sampel benda uji. Kemudian diambil nilai rata-rata kadar air pada setiap bahan. Data tersebut digunakan untuk mengetahui nilai kadar air mula-mula dari setiap bahan yang akan digunakan. Berikut data hasil nilai rata-rata kadar air yang diperoleh.

Tabel 5. Nilai Rata-Rata Kadar Air

Perhitungan Kadar Air	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Agregat 1-2	3,06%	2,57%	2,82%
Agregat SC	2,50%	1,72%	2,11%
Agregat AB	2,40%	1,56%	1,98%
Pasir	2,00%	1,36%	1,68%
Rata-rata		2,15%	

Pada tabel di atas nilai rata-rata Kadar Air untuk Agregat 1-2 sebesar 2,82%, Agregat *Screening* sebesar 2,11%, Agregat Abu Batu sebesar 1,98%, dan Pasir sebesar 1,68%. Untuk rata-rata Kadar Air campuran agregat senilai 2,15%. Dari nilai rata-rata kadar air pada tabel diatas menunjukkan bahwa semakin besar ukuran butiran agregat maka kandungan air mula-mula pada agregat tersebut semakin besar, sehingga berpengaruh terhadap penyerapan air agregat tersebut. Semakin besar kadar air mula-mula pada agregat maka semakin kecil penyerapan agregat tersebut. Namun, penyerapan air pada agregat pasir paling rendah diantara agregat yang lainnya dikarenakan sifat dan karakteristik pasir memiliki daya serap air yang rendah. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penyerapan kadar air agregat halus lebih baik daripada pasir. Kadar air yang terkandung dalam agregat dapat mempengaruhi penyerapannya, karena pemadatan dibantu oleh penyerapan air. Namun seiring bertambahnya kadar air yang melebihi KAO dapat menyebabkan berkurangnya kepadatan dan kekuatan agregat.

4.4 Berat Jenis

Tujuan dari pengujian berat jenis adalah untuk mengetahui berat jenis (bulk), berat kering permukaan jenuh atau *saturated surface dry* (SSD) dan berat jenis semu (apparent). Hasil pengujian berat jenis dapat dilihat di tabel di bawah ini.

Tabel 6. Nilai Berat Jenis

Perhitungan	2-3	1-2	SC	AB	Pasir	Rata-Rata
Berat jenis	2,63	2,56	2,65	2,61	2,53	2,60
Berat jenis kering permukaan jenuh	2,65	2,60	2,73	2,70	2,56	2,65
Berat jenis semu	2,70	2,68	2,86	2,86	2,59	2,74

Setelah didapat nilai berat jenis dari masing-masing bahan, maka didapatkan nilai rata-rata berat jenis dari variasi yang sudah ditetapkan.

Tabel 7. Nilai Rata-Rata Berat Jenis

	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3
Nilai Berat Jenis	2,61	2,60	2,60

Keterangan :

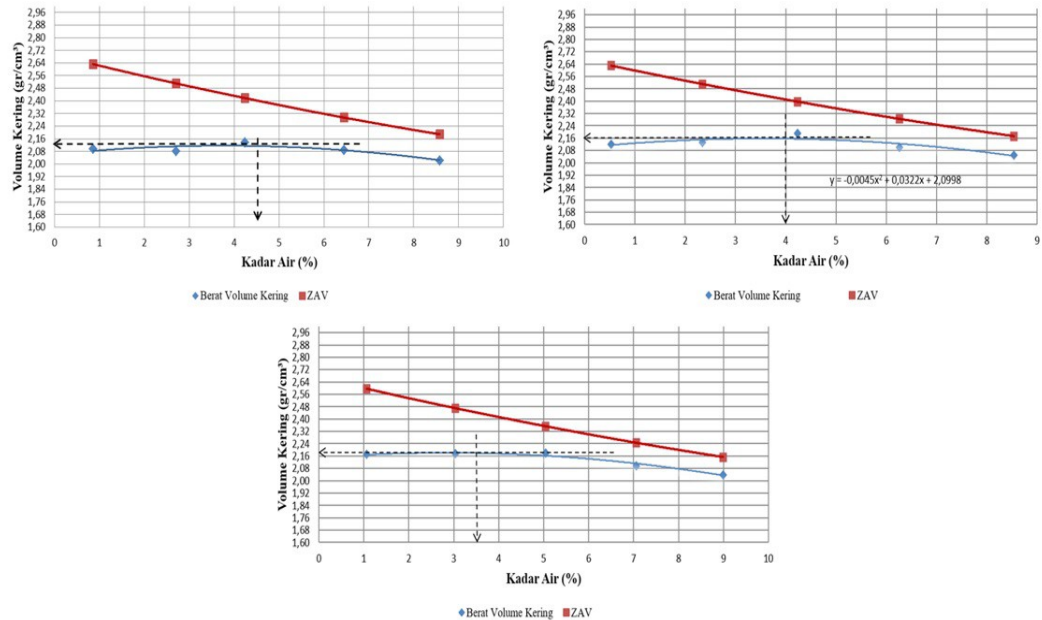
- Variasi 1 = 100% Agregat
- Variasi 2 = 90% Agregat + 10% Pasir
- Variasi 3 = 80% Agregat + 20% Pasir

Besarnya spesifik agregat penting ketika merencanakan campuran agregat karena menentukan jumlah porositas. Semakin besar nilai porositas agregat maka semakin kecil berat jenis agregat dan berat jenis maksimum campurannya. Sebaliknya semakin kecil nilai porositas agregat maka semakin besar berat jenis agregat dan berat jenis maksimum campurannya.

4.5 Uji Pemadatan (*Modified Proctor*)

Pengujian pemadatan tanah yang dilakukan di laboratorium dengan metode pemadatan (*Modified Proctor*) dan menggunakan sampel agregat yang sebelumnya sudah dijemur agar kadar air dalam sampel tersebut seragam. Kemudian sampel agregat tersebut dicampurkan dengan pasir menggunakan variasi persentase yang sudah direncanakan.

Dari pengujian ini nantinya akan didapatkan nilai kadar air optimum (KAO) dan nilai berat volume kering optimum (γ_{dmax}) untuk masing-masing variasi campuran. Selanjutnya hasil kadar air optimum (KAO) tersebut akan digunakan untuk kadar air pada pengujian CBR (*California Bearing Ratio*) di setiap variasi benda uji lapis pondasi agregat kelas A.



Gambar 3. Grafik Pemadatan Agregat Kelas A Variasi 1, 2, Dan 3

Pada hasil grafik pemadatan agregat kelas A dapat dilakukan perbandingan nilai kadar air optimum dan berat volume kering optimum yang dapat dilihat pada tabel 8 di bawah ini.

Tabel 8. Nilai Pemadatan Agregat Kelas A

	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3
Kadar Air Optimum (%)	4,5	4	3,5
Berat Volume Kering Optimum (gram/cm³)	2,11	2,16	2,18

Dari pembacaan grafik dan tabel diatas dapat disimpulkan bahwa semakin besar kadar pasir dalam campuran maka kadar air optimumnya semakin menurun dan berat volume kering optimumnya semakin meningkat. Kadar air optimum semakin menurun seiring bertambahnya variasi campuran pasir dikarenakan nilai penyerapannya lebih kecil dibandingkan dengan abu batu dan screening. Hal ini sejalan dengan pengujian pengujian berat jenis dan penyerapan agregat yang tercantum pada tabel 6 diatas dimana nilai penyerapan pasir 0,91% sedangkan abu batu bernilai 3,26%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar variasi penambahan pasirnya maka kualitas kadar air optimumnya semakin menurun dalam sebuah campuran. Akibat dari penurunan kadar air optimum ini berdampak pada nilai berat volume kering optimum campurannya semakin meningkat seiring penambahan kadar pasir.

4.6 Uji Cbr (*California Bearing Ratio*)

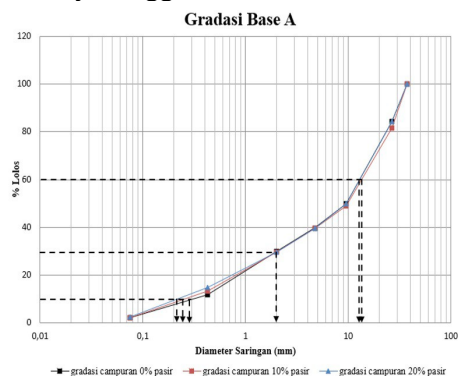
Pengujian CBR dilakukan dengan menggunakan 3 sampel benda uji lapis pondasi agregat kelas A di setiap masing-masing variasi benda uji, untuk nilai kadar air menggunakan nilai kadar air optimum yang didapatkan sebelumnya dari uji pemadatan tanah. Kemudian

sampel benda uji direndam selama 4 hari. Setelah dilakukan prendaman selama 4 hari kemudian benda uji dilakukan pemeriksaan nilai penetrasi pada alat pemeriksaan penetrasi. Hasil pengujian CBR dapat dilihat pada tabel 9 di bawah ini.

Tabel 9. Nilai *California Bearing Ratio*

	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3
Nilai CBR (%)	99,2	90,6	84,1
Berat Volume Kering Optimum (gram/cm ³)	2,11	2,16	2,18

Berdasarkan hasil tabel diatas diperoleh setiap penambahan pasir nilai CBR mengalami penurunan. Pada variasi 1 (100% Agregat) diperoleh nilai CBR sebesar 99,2%, pada variasi 2 (90% Agregat + 10% Pasir) diperoleh nilai CBR sebesar 90,6%, dan pada variasi 3 (80% Agregat + 20% Pasir) diperoleh nilai CBR sebesar 84,1%. Dikarenakan semakin menurunnya nilai CBR pada penambahan pasir, maka akan dilakukan perhitungan kerapatan gradasinya menggunakan nilai Cu dan Cc.



Gambar 4. Nilai D10, D30, dan D60.

Tabel 10. Nilai Cu dan Cc

Sampel	Nilai D10	Nilai D30	Nilai D60	Cu	Cc
variasi 1	0,3	2	12,7	42,33	1,05
variasi 2	0,26	2	13	50,00	1,18
variasi 3	0,22	2	12,7	57,73	1,43

Gradasi yang dianggap baik jika nilai $Cu > 6$ dan $1 > Cc < 3$. Dari nilai Cu dan Cc pada tabel diatas menunjukkan semua variasi sampel bergradasi baik. Namun dikarenakan sifat pasir yang kurang mempunyai daya lekat, maka seiring penambahan pasir semakin tidak saling mengunci antar agregatnya. Dikarenakan setiap variasi bergradasi baik, maka dapat dihitung kepadatan campurannya. Dimana menurut (BSN 1992) SNI 03-2828-1992 kepadatan merupakan berat volume kering tanah. Perhitungan berat volume kering saat pengujian CBR laboratorium berdasarkan (BSN 1989) SNI 03-1742-1989 dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 11. Kepadatan Campuran

Variasi	Volume mould (cm ³) (V1)	Persentase berat volume basah (%) (w1)	Berat agregat setelah tumbukan (gr) (w2)	persentase kandungan air (%) (a)	Berat Volume Kering (Kepadatan) (gr/cm ³) (w1/(1+(w2/100)))
1	2207,81	2,317	5115,1	4,61	2,215
2	2207,81	2,294	5065,3	4,12	2,203
3	2207,81	2,244	4955,1	3,74	2,163

Pada tabel dapat dilihat nilai kepadatan semakin menurun seiring pertambahan kadar pasir. Dengan ini dapat disimpulkan bahwa penambahan pasir dapat menurunkan daya dukung lapis pondasi agregat kelas A, dikarenakan gradasi ukuran butiran pasir lebih besar daripada gradasi ukuran butiran fraksi agregat halus, sehingga butiran pasir tidak dapat masuk ke dalam rongga diantara agregat yang menimbulkan celah atau pori.

4.7 Perbandingan Dengan Pengujian Sebelumnya

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Laintarawan *et al.* 2018) tentang Studi Propertis Pasir Erupsi Gunung Agung Dan Pengaruhnya Terhadap Nilai CBR Agregat Kelas A Pada Lapis Pondasi Atas, pada penelitian tersebut menunjukkan bahwa untuk agregat kelas A dengan substitusi pasir gunung berapi 10% dan 20% mendapatkan nilai CBR diatas batas minimum yang disyaratkan oleh spesifikasi umum 2010 yaitu sebesar 92,31% dan 90,18%. Untuk campuran agregat kelas A dengan substitusi 30% dan 40% tidak memenuhi syarat karena nilai CBR yang didapat dibawah 90%. Sedangkan pada penelitian di jurnal ini, menunjukkan bahwa untuk agregat kelas A dengan substitusi pasir sungai 0% dan 10% mendapatkan nilai CBR diatas batas minimum yang disyaratkan oleh spesifikasi umum 2010 yaitu sebesar 99,2% dan 90,6%. Untuk campuran agregat kelas A dengan substitusi 20% tidak memenuhi syarat karena nilai CBR yang didapat dibawah 90%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa batas maksimum substitusi pasir gunung berapi pada agregat kelas A sebesar 20%, sedangkan batas maksimum substitusi pasir sungai pada agregat kelas A sebesar 10%.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang dilakukan terhadap data hasil pengujian laboratorium, maka dapat disimpulkan bahwa pada lapis pondasi agregat kelas A tidak direkomendasikan pasir sebagai bahan untuk menstubsitisi agregat halus, dikarenakan dapat menurunkan nilai CBR. Hasil pengujian Subtitusi 20% pasir nilai CBRnya sebesar 84,1% dimana hasil pengujian ini tidak memenuhi spesifikasi bina marga 2010 dengan nilai CBR minimum 90%.

Penurunan nilai CBR ini dikarenakan sifat pasir yang kurang mempunyai daya lekat, maka seiring bertambahnya kadar pasir pada campuran membuat semakin tidak saling mengunci antar agregatnya. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan pasir dapat menurunkan daya dukung lapis pondasi agregat kelas A. Selain itu pengaruh substitusi pasir dapat menurunkan Kadar Air Optimum. Hal ini dikarenakan sifat pasir yang kurang mampu menyerap air dibandingkan dengan fraksi agregat halus.

Berdasarkan SNI 03-2828-1992 kepadatan merupakan berat volume kering dan dapat dihitung saat pengujian CBR laboratorium berdasarkan SNI 03-1744-1989. Hasil perhitungan menunjukkan nilai kepadatan semakin menurun seiring bertambahnya kadar pasir, hal ini membuktikan bahwa butiran pasir tidak dapat masuk ke dalam rongga diantara agregat sehingga menimbulkan celah atau pori pada lapis pondasi agregat kelas A.

DAFTAR PUSTAKA

- Bina Marga, 2010. *Spesifikasi umum 2010*.
BSN, 1989. *SNI 03-1742-1989 Metode Pengujian Kepadatan Berat Untuk Tanah*. Badan Standardisasi Nasional Indonesia.
BSN, 1992. *SNI 03-2828-1992 Metode Pengujian Kepadatan Lapangan Dengan Alat Konus Pasir*. Badan Standardisasi Nasional Indonesia.

- Laintarawan, I.P., Wirahaji, I., and Adi, G.A., 2018. Studi Propertis Pasir Erupsi Gunung Agung Dan Pengaruhnya Terhadap Nilai CBR Agregat Kelas A Pada Lapis Pondasi Atas. *Widya Teknik*, 011 (02), 69–82.
- Sukirman, S., 1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*.