

PENGARUH PENAMBAHAN ABU LIMBAH BATU BARA TERHADAP KARAKTERISTIK PASIR SEBAGAI LAPISAN PONDASI JALAN

Tjok. Gde Suwarsa Putra, Made Dodiék Wiryá Ardána dan Kadék Satria Adí

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Email: suwarsaputra@gmail.com

Abstrak: Lapisan pondasi jalan adalah bagian dari perkerasan jalan raya terletak di antara lapisan permukaan jalan (*surface*) dan tanah dasar (*subgrade*). Perkerasan lentur lapisan pondasi jalan berfungsi menyebarkan beban kendaraan yang melintas di atasnya agar tegangan yang sampai ke tanah dasar tidak melampaui tegangan yang menimbulkan deformasi berlebih. Lapisan pondasi jalan memiliki spesifikasi khusus untuk material yang akan dipakai, baik ukuran butiran, sifat fisik, maupun nilai daya dukung (*California Bearing Ratio*, CBR). CBR merupakan daya dukung dari lapisan pondasi jalan dan sekaligus dapat dipakai acuan dalam menentukan ketebalan lapisan pondasi jalan. Material yang dominan dipakai sebagai lapisan pondasi jalan adalah pasir/kerikil. Pasir/kerikil memiliki ukuran butiran lebih besar dari pada tanah lempung. Ketidaksiesuaian material yang dipakai dengan spesifikasi yang disyaratkan, terutama untuk material yang kekurangan fraksi butiran halus dapat diatasi dengan penambahan suatu material tertentu yang berguna untuk melengkapi fraksi butiran yang kurang, sehingga dapat meningkatkan daya dukung (CBR). Dalam penelitian ini, bahan yang ditambahkan pada material yang tidak sesuai dengan spesifikasi lapisan pondasi jalan adalah abu limbah batu bara. Persentase penambahan material abu limbah batu bara pada material yang tidak sesuai dengan spesifikasi lapisan pondasi jalan dicoba untuk mendapatkan kondisi yang memenuhi persyaratan spesifikasi. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa persentase paling ideal dari penambahan abu limbah batu bara pada material tanah dalam spesifikasi gradasi lapisan pondasi jalan adalah sebesar 13% dari berat kering tanah tersebut. Selain itu dengan penambahan abu limbah batu bara dapat menghasilkan kerapatan relatif dan kepadatan tanah yang semakin meningkat, sehingga nilai CBR tanah juga semakin meningkat. CBR mula-mula sebelum penambahan abu limbah batu bara adalah sebesar 62%, sedangkan setelah ditambahkan abu limbah batu bara nilai CBR mengalami peningkatan menjadi 94%.

Kata kunci: abu limbah batu bara, CBR, lapis pondasi jalan, spesifikasi

THE EFFECT OF COAL BARROW WASTE ADDITION ON THE SAND CHARACTERISTICS FOR BASE COURSE LAYER OF A ROAD PAVEMENT

Abstract: *The road base course layer is a part of highway pavement lied between the road surface layer and the subgrade. The base course layer on the flexible pavement spreads the load of the vehicle so that the stresses on the subgrade will not exceed the allowable stress that can cause excessive deformation. The base course layer has a specifications in determining the material to be used, both grain size, physical properties, and carrying capacity values (The California Bearing Ratio, CBR) where the CBR value is the carrying capacity of the base course layer and can also be used as a reference in determining the thickness of the base course layer. The dominant material used in the base course layer is sand/gravel. Sand/gravel has a larger grain size than clay. The incompatibility of the material used with the specifications used for the base course layer, especially for grain grading problems that lack fine grains can be overcome by adding a certain material that is useful for completing less granular gradations, and can increase the carrying capacity (CBR) of the foundation layer road. In this study, the material that will be added to material that does not conform to the specifications of the base course layer is coal waste ash, where the addition will be sought for the percentage of coal ash waste mixture with material that does not fit the specifications of the best road foundation for entry specifications of road foundation gradation. The results of this study found the percentage of addition of coal waste ash to the soil material tested most included in the specifications of the base course layer gradation of 13% of the dry weight of the soil. In addition, the addition of coal waste ash produces a relative density of soil and soil density increases, therefore the CBR value of the soil also increases. The initial CBR value was 62% and the value increased to 94% after the coal waste ash was added to the base course material.*

Keywords: *coal waste ash, CBR, base course layer, specifications*

PENDAHULUAN

Pasir merupakan salah satu material yang berbentuk butiran. Diameter butiran pada pasir umumnya berukuran antara 0,075 mm sampai dengan 5 mm. Pasir juga merupakan suatu material yang selalu berhubungan dengan konstruksi bangunan sipil, baik dijadikan sebagai campuran pembuatan beton, campuran pembuatan jalan, sebagai lantai kerja atau sebagai lapisan pondasi.

Pasir mempunyai sifat yang mudah mengalirkan air dan memiliki tekstur yang padat. Hal tersebut, menjadikan pasir memiliki daya dukung yang lebih besar daripada tanah lempung. Oleh karena itu, pada pekerjaan konstruksi bangunan sipil pasir kerap dijadikan sebagai lapisan lantai kerja. Dalam bidang konstruksi jalan, selain kegunaan sebagai campuran dari pembuatan perkerasan jalan, pasir juga dapat berfungsi sebagai lapisan pondasi jalan yang berada di atas lapisan tanah dasar (*subgrade*) yang menopang lapisan di atasnya. Pondasi jalan memiliki kriteria khusus yang harus terpenuhi seperti gradasi dari butiran tanah yang akan dipakai dan juga daya dukungnya. Namun, tidak semua pasir masuk kriteria gradasi butiran dan juga daya dukung yang dibutuhkan untuk lapisan pondasi jalan. Hal itu dikarenakan butiran-butiran pasir memiliki diameter yang lebih besar daripada tanah lainnya seperti tanah lempung, organik, dan lanau. Sehingga pasir harus ditambahkan suatu material yang berguna untuk melengkapi gradasi butiran yang dibutuhkan untuk lapisan pondasi jalan tersebut.

Pada penelitian ini, material yang ditambahkan dengan pasir adalah abu limbah batu bara. Pasir ditambahkan abu limbah batu bara dalam jumlah persentase tertentu yang kemudian diayak kembali untuk mendapatkan gradasi terbaik yang memenuhi spesifikasi dari lapisan pondasi jalan. Selain bertujuan untuk menambah fraksi yang kurang/hilang untuk lapisan pondasi jalan, penelitian ini juga bertujuan untuk menguji karakteristik dari pasir jika dicampur dengan abu limbah batu bara serta daya dukungnya.

Muhardi et al (2007) menyatakan penambahan abu limbah batu bara perlu dicoba karena abu limbah batu bara ini mengandung beberapa unsur kimia SiO₂, Al₂O₃, dan Fe₂O₃ yang cukup tinggi. Kandungan silika (SiO₂) adalah unsur pembentuk utama untuk pembuatan semen karena mempunyai sifat pozzolanik yaitu sifat yang ketika bereaksi dengan senyawa alumina yang terkandung dalam tanah pasir, seiring bertambahnya waktu akan membantu proses pengerasan pozzolanik tersebut.

TINJAUAN PUSTAKA

Lapisan Pondasi Jalan

Perkerasan lentur jalan meliputi beberapa lapisan yang dibangun di atas tanah dasar (*subgrade*) yang telah dipadatkan. Fungsi dari lapisan-lapisan tersebut adalah untuk menerima beban lalu lintas yang melaluinya dan menyebarkan beban ke lapisan yang berada di bawahnya Sukirman (1995). Lapisan perkerasan lentur pada jalan terdiri dari tanah dasar (*subgrade*) yang berupa tanah asli yang dipadatkan atau tanah yang didatangkan dari tempat lain yang berfungsi sebagai tanah urug dan dipadatkan. Diatas tanah dasar (*subgrade*) terdapat lapisan pondasi yang dibagi menjadi dua yaitu lapisan pondasi atas (*subbase*) dan lapisan pondasi atas (*base*) dimana lapisan pondasi atas memiliki daya dukung yang lebih besar daripada lapisan pondasi bawah. Lapisan pondasi jalan memiliki fungsi untuk menahan gaya lintang yang berasal dari beban roda yang melaju di atasnya dan kemudian beban akan disebarkan agar tegangan yang sampai pada lapisan tanah dasar (*subgrade*) tidak terlalu besar yang dapat menimbulkan deformasi yang berlebihan. Lapisan pondasi jalan memiliki spesifikasi tertentu yang diambil di spesifikasi umum (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018) yang dipakai untuk pekerjaan konstruksi jalan dan jembatan.

Apabila lapisan pondasi jalan terdiri atas agregat, maka gradasi agregat tersebut harus disesuaikan dengan gradasi yang tercantum dalam spesifikasi yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Spesifikasi Gradasi

Ukuran Ayakan		Persentase Berat Yang Lolos		
ASTM	(mm)	Kelas A	Kelas B	Kelas S
2"	50		100	
1 ½ "	37,5	100	88 – 95	100
1"	25,0	79 – 85	70 – 85	89 – 100
¾ "	9,50	44 – 58	30 – 65	55 – 90
No. 4	4,75	29 – 44	25 – 55	40 – 75
No. 10	2,0	17 – 30	15 – 40	26 – 59
No. 40	0,425	7 – 17	8 – 20	12 – 33
No. 200	0,075	2 – 8	2 – 8	4 – 22

Selain spesifikasi gradasi, lapisan pondasi jalan juga memiliki spesifikasi untuk sifat-sifat lapisan pondasi pada jalan yang dicantumkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Spesifikasi sifat-sifat lapisan pondasi pada jalan

No	Sifat-sifat	Kelas A	Kelas B	Kelas C
1	Abrasi dari Agregat Kasar (SNI 2419:2008)	0 – 40%	0 – 40%	0 – 40%
2	Indek Plastisitas (SNI 1966:2008)	0 – 6	6 - 12	4 - 15
3	Hasil kali indek Plastisitas dengan persentase lolos ayakan No.200	Maks. 25	-	-
4	Batas Cair (SNI 1967:2008)	0 - 25	0 - 35	0 - 35
5	Bagian yang lunak (SNI 03-4141-1996)	0 - 5%	0 - 5%	0 - 5%
6	CBR (SNI 03-1744-1989)	Min. 90%	Min. 60%	Min. 50%

Sifat Fisik Tanah

a. Ukuran Butiran Tanah

Tanah memiliki ukuran butiran yang berbeda-beda tergantung jenis dari tanah tersebut. Pasir merupakan jenis tanah yang memiliki ukuran butiran berkisar 0,075 mm sampai 5 mm, dan krikil memiliki ukuran butiran 37,5 mm sampai 5 mm. Penentuan ukuran butiran tanah dapat dilakukan dengan cara menyaring contoh tanah menggunakan saringan yang telah disusun dari ukuran saringan terbesar sampai yang terkecil.

b. Kadar Air Pada Tanah (*water content*)

Kadar air pada tanah (*w*) disebut juga sebagai *water content* yang didefinisikan sebagai perbandingan antara massa air dan massa butiran tanah padat dari volume tanah yang diselidiki. Kadar air pada tanah dapat dihitung dengan Persamaan 1 sebagai berikut:

$$w = \frac{mw}{ms} \times 100\% \tag{1}$$

c. Berat Jenis Tanah (*specific of gravity*)

Berat jenis tanah (*G_s*) yaitu suatu perbandingan antara massa butiran tanah dengan massa air suling dengan volume yang sama pada suhu tertentu. Massa butiran tanah ialah perbandingan antara massa butiran tanah dan isi butir. Sedangkan berat isi ialah suatu perbandingan antara massa air dengan isi air. Untuk isi air yang sama dengan isi butir pada tanah maka berat jenis tanah ialah perbandingan antara massa butiran pada tanah dengan air destilasi pada saat temperatur tertentu. Besarnya berat jenis (*G_s*) pada suatu tanah dapat dicari dengan menggunakan Persamaan 2 berikut ini:

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{W_s}{V_w \cdot \gamma_w} = \frac{(W_2 - W_1)}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \tag{2}$$

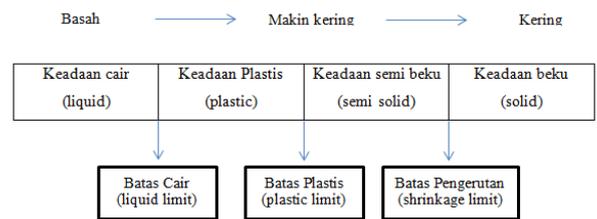
d. Berat Volume

Perbandingan berat tanah kering dengan volume suatu tanah termasuk volume pori-pori tanahnya disebut juga sebagai berat volume. Berat volume dapat dicari dengan Persamaan 3 sebagai berikut:

$$\gamma_b = \frac{W_2 - W_1}{V} \tag{3}$$

e. Batas-batas *Atterberg*

Batas-batas *Atterberg* merupakan batas-batas antara masing-masing wujud tanah yang terdiri dari batas cair tanah (*LL*), batas plastis tanah (*PL*), dan batas susut tanah (*SL*) menurut penelitian Das et al. (1988), dapat diamati pada Gambar 1.



Gambar 1 Batas-batas dari Konsistensi Tanah

Menurut Bowles (1997) pengukuran batas-batas tersebut dilakukan secara rutin untuk sebagian besar penyelidikan yang meliputi tanah berbutir halus. Penelitian yang paling penting dari batas-batas konsistensi tanah adalah batas cair dan batas plastis yang disebut dengan batas-batas *Atterberg*. Menurut Wesley (1977) penentuan batas-batas *Atterberg* ini dilakukan pada bagian tanah yang melalui saringan no. 40. Pemeriksaan yang dilakukan untuk menentukan batas-batas *Atterberg* adalah sebagai berikut:

1. Batas Cair (*liquid limit*)

Pemeriksaan batas cair pada tanah dimaksud untuk mengetahui kadar air dari suatu tanah pada keadaan batas cair. Batas cair (*LL*) pada tanah merupakan batas kadar air tanah dimana suatu tanah berubah yang tadinya dalam keadaan cair menjadi plastis. Data jumlah pukulan dan kadar air dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan nilai dari batas cair yang dijabarkan dengan Persamaan 4 sebagai berikut:

$$LL = W_c \left[\frac{N}{25} \right]^{0,121} \tag{4}$$

2. Batas Plastis (*plastic limit*)

Batas plastis (*PL*) pada tanah dapat dicari ketika tanah digulung sampai mencapai diameter 1/8 in (3,2 mm) menjadi retak-retak. Menurut Das (1988), batas plastis tanah

merupakan batas terendah dari tingkat keplastisan suatu tanah. Cara pengujian batas plastis pada tanah sangat sederhana dengan cara menggulung contoh tanah dengan telapak tangan di atas permukaan kaca datar sehingga menjadi retak-retak rambut pada gulungan tanah tersebut.

3. Indek Plastisitas (*plastic index*)

Menurut Das (1988) bilangan dalam persen yang merupakan selisih antara batas cair dengan batas plastis suatu tanah bisa disebut juga Indeks plastisitas (PI). Suatu pendekatan yang dilakukan untuk menentukan indeks plastisitas suatu tanah dapat dicari dengan Persamaan 5 sebagai berikut:

$$IP = LL - PL \tag{5}$$

4. Batas Susut (*shrinkage limit*)

Apabila air yang terkandung dalam suatu tanah secara perlahan akan hilang maka tanah tersebut akan mengalami penyusutan. Dengan hilangnya air dalam tanah secara terus menerus, tanah tersebut akan mencapai suatu tingkat keseimbangan. Kehilangan air pada tanah tidak akan menyebabkan perubahan volume dari tanah tersebut. Menurut Das (1988) batas susut (*shrinkage limit*) pada tanah merupakan kadar air yang dinyatakan dalam persen serta perubahan volume suatu massa tanah berhenti. Menurut Bowles (1997) jika batas susut tanah semakin kecil maka tanah akan lebih mudah mengalami perubahan volume. Hal ini menyebabkan semakin sedikit jumlah air yang dibutuhkan untuk menyusut. Perhitungan batas susut ini dapat digunakan Persamaan 6 berikut ini:

$$SL = W - \frac{v_1 - v_2}{w} \tag{6}$$

Sifat Mekanik

a. Kerapatan Relatif

Dalam menunjukkan tingkat kerapatan tanah berbutir kasar di lapangan dapat menggunakan Kerapatan relatif (*Dr*). Untuk menentukan nilai dari kerapatan relatif dapat dicari dengan menggunakan Persamaan 7 berikut ini:

$$Dr = \frac{\rho_{d_{max}}}{\rho_d} \times \frac{\rho_d - \rho_{d_{min}}}{\rho_{d_{max}} - \rho_{d_{min}}} \times 100\% \tag{7}$$

b. Koefisien Permeabilitas Pada Tanah Pasir

Nilai permeabilitas pada tanah ialah cepat lambatnya air untuk merembes ke dalam tanah yang melalui pori makro maupun pori mikro pada tanah, serta merembes dari arah horizontal

maupun ke arah vertikal. Untuk menentukan koefisien permeabilitas tanah granular (pasir) digunakan parameter dengan tinggi tetap (*Constant Head Permeameter*). Nilai dari koefisien permeabilitas dapat dicari dengan Persamaan 8 berikut ini:

$$k = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot t} \tag{8}$$

c. Daya Dukung (CBR)

Metode uji CBR pertama diperkenalkan oleh O.J Porter, California State Highway Department. Metode ini mengkombinasikan *load penetration test* di laboratorium maupun di lapangan dengan *design chart* empiris untuk mendapatkan kekuatan tanah dan sekaligus mendapatkan tebal perkerasan jalan. Tahanan penetrasi diukur dengan jarum yang ditekan ke dalam massa tanah dengan kecepatan 1,25 mm/menit. Observasi dilakukan dengan pembacaan beban dan penetrasi jarum ke dalam massa tanah. Beban standar sesuai dengan penetrasi standar ditentukan dengan memakai *crushed-stone* Redana (2010). Nilai CBR didapat melalui Persamaan 9 berikut ini:

$$CBR = \frac{\text{Beban tes}}{\text{Beban standar}} \times 100\% \tag{9}$$

Beban standar untuk berbagai penetrasi standar CBR diberikan pada Tabel 3

Tabel 3 Beban Standar

Penetrasi Jarum (mm)	Beban Standar (kg)	Beban Standar (kPa)
2,5	1370	6900
5	2055	10300
7,5	2630	13000
10	3180	16000
12,5	3600	18000

Tes penetrasi CBR dilakukan setelah tanah dipadatkan pada CBR *mould* berdiameter 150 mm dan tinggi 175 mm. Pada saat pemadatan, densitas kering dan kadar air tanah dijaga sama dengan nilai di lapangan. Untuk mensimulasi konsolidasi tanah paling buruk di lapangan, setelah dipadatkan, tanah direndam selama kurang lebih 4 jam sebelum tes penetrasi dilakukan. Pada kondisi terendam maupun tidak terendam, spesimen harus dibebani beban tambahan sesuai beban yang terjadi di lapangan. Beban 2,5 kg setara dengan kira-kira lapisan tanah setebal 6,5 cm di lapangan.

Pada saat pengujian penetrasi, pembacaan beban akan dilakukan pada penetrasi 0,05 ; 1,0; 1,5 ; 2,0; 2,5; 3,0 ; 4,0; 5,0; 7,5; 10,0; dan 12,5 mm. Grafik beban dan penetrasi kemudian di-plot.

Nilai CBR biasanya dihitung berdasar pembacaan beban pada penetrasi 2,5 ; 5,0 ; 7,5 ; 10 ; dan 12,5 mm, dibagi dengan beban standar masing-masing.

Abu Limbah Batu Bara

Komponen utama yang terdapat dalam abu terbang batu bara yang dihasilkan dari pembakaran batu bara untuk pembangkit listrik ialah silika (SiO₂), alumina (Al₂O₃), besi oksida (Fe₂O₃), kalsium (CaO), dan sisanya ialah magnesium, potasium, sodium, titanium, dan belerang dengan jumlah yang sedikit. Persentase kandungan kimia yang terkandung di dalam salah satu jenis abu terbang batu bara dapat diamati pada Tabel 4.

Tabel 4 Komposisi Kimia Limbah Abu Terbang Batu Bara

NO	KOMPONEN	PERSENTASE (%)
1	SiO ₂	40-60
2	Al ₂ O ₃	20-30
3	Fe ₂ O ₃	4-10
4	CaO	5-30
5	MgO	1-6
6	SO ₃	1-6
7	Na ₂ O	0-2
8	K ₂ O	0-4
9	LOI	0-3

Muhardi et al (2007) menyatakan bahwa abu limbah batu bara ini mengandung unsur-unsur kimia SiO₂, Al₂O₃, dan Fe₂O₃ yang cukup tinggi. Kandungan silika (SiO₂) merupakan unsur pembentuk utama dalam pembuatan semen karena mempunyai sifat pozzolanik yaitu sifat yang seiring dengan bertambahnya waktu apabila bereaksi dengan senyawa alumina seperti Al₂O₃ dan CaO yang terkandung dalam pasir akan membantu proses pengerasan pozzolanik tersebut.

METODE PENELITIAN

Persiapan Bahan

a. Tanah Pasir dan Kerikil

Contoh tanah yang diambil dari lapangan disesuaikan dengan kebutuhan dan selanjutnya diayak untuk mengetahui persentase fraksi agregat dari contoh tanah pasir tersebut. Contoh tanah yang tidak memenuhi spesifikasi gradasi agregat lapisan pondasi jalan kelas A ditambahkan/dicampurkan dengan abu limbah batu bara dengan persentase tertentu untuk melengkapi gradasi agregat tanah tersebut agar memenuhi spesifikasi.

b. Abu Limbah Batu Bara

Abu limbah batu bara merupakan limbah industri yang dihasilkan dari pembakaran batu bara dan

terdiri dari partikel yang halus. Pemanfaatan abu limbah batu bara biasanya dipakai sebagai penyusun beton untuk jalan dan bendungan, filer aspal, dan pengganti atau bahan baku semen.

Pembuatan Benda Uji

Benda uji disiapkan untuk pengujian-pengujian sesuai dengan penelitian yang akan dilaksanakan di laboratorium. Untuk jumlah dan macamnya tergantung dari jenis penelitian yang akan dilakukan. Untuk benda uji tanah pasir yang digunakan adalah tanah pasir yang tidak memenuhi spesifikasi lapisan pondasi jalan kelas A. Benda uji dicampur dengan abu limbah batu bara dengan persentase tertentu dari berat kering tanah pasir hingga mendapatkan tanah pasir yang memenuhi spesifikasi lapisan pondasi jalan kelas A yang paling ideal. Persentase penambahan abu limbah batubara tersebut dipakai dalam percobaan selanjutnya. Dalam penelitian ini terdapat dua jenis benda uji yaitu, (1) benda uji pasir yang tidak masuk spesifikasi lapisan pondasi jalan tanpa ditambahkan abu limbah batu bara dan (2) benda uji pasir yang telah ditambahkan abu limbah batu bara, yang nantinya akan dibandingkan untuk mengetahui pengaruh dari penambahan abu limbah batu bara dengan persentase yang paling ideal dan memenuhi spesifikasi lapisan pondasi jalan kelas A.

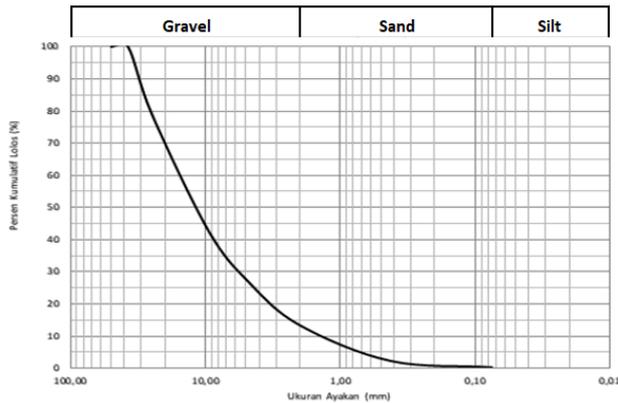
HASIL DAN PEMBAHASAN

Gradasi Butiran

Ukuran butiran dapat ditentukan dengan mengayak sejumlah contoh tanah dengan masa tertentu menggunakan seperangkat saringan. Saringan disusun dari lubang saringan yang paling besar berada paling atas dan semakin ke bawah lubang saringannya semakin kecil. Analisa saringan yang digunakan dalam pengujian ini adalah analisa saringan untuk lapisan pondasi jalan. Gradasi butiran menggunakan benda uji terganggu (*disturbed*). Hasil pengujian gradasi butiran ditunjukkan pada Tabel 5 dan Gambar 2.

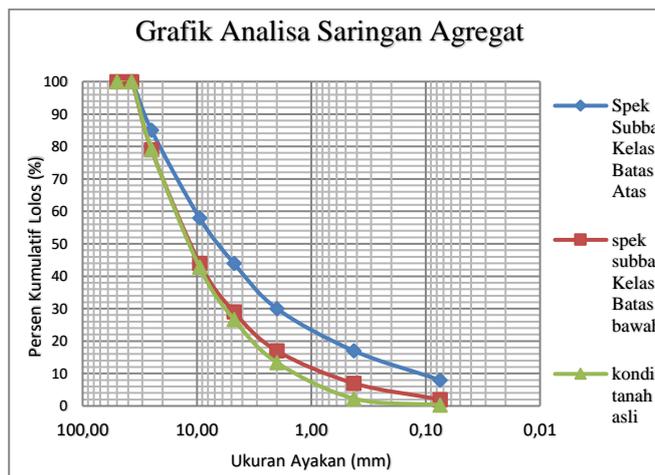
Tabel 5 Hasil Gradasi Butiran

Ukuran Saringan	Tanah Asli (%)			
	Nomor	mm	Tertahan	Lolos
No. 2"		50	0	100
No. 1 1/2 "		37,5	0	100
No. 1"		25	20,9	79,1
No. 3/4"		9,5	36,3	42,8
No.4		4,75	16,1	26,7
No. 10		2	13,3	13,4
No.40		0,425	11,10	2,3
No. 200		0,075	2,00	0,3
Pan			0,3	0



Gambar 2 Grafik Analisa Saringan

Hasil pengujian gradasi butiran agregat jika dibandingkan dengan spesifikasi lapisan pondasi jalan kelas A dapat disimpulkan bahwa gradasi tersebut tidak memenuhi spesifikasi lapisan pondasi jalan kelas A. Hal tersebut dapat ditunjukkan sebagai kondisi tanah asli pada Gambar 3.



Gambar 3 Grafik Perbandingan Tanah Kondisi Asli dengan Spesifikasi Lapisan Pondasi Kelas A

Penentuan Persentase Penambahan Abu Limab Batu Bara

Dari Gambar 3 dapat diketahui bahwa gradasi butiran untuk tanah kondisi asli tidak memenuhi spesifikasi pada bagian butiran tanah yang berdiameter kecil (tanah halus). Oleh karena itu, gradasi contoh tanah ini ditambahkan abu limbah batu bara dengan persentase 5%, 10%, 13%, 14%, 15%, dan 20% untuk meningkatkan atau melengkapi fraksi diameter butiran yang kurang pada contoh tanah tersebut. Persentase campuran yang digunakan untuk pengujian selanjutnya adalah persentase penambahan abu limbah batu bara yang menghasilkan gradasi butiran paling ideal untuk memenuhi spesifikasi gradasi agregat lapisan

pondasi jalan. Hasil pengujian gradasi dapat diamati pada Tabel 6.

Tabel 6 Gradasi Agregat dengan Penambahan Abu

Keterangan	Desig n 1 (A + abu 5 %)	Desig n 2 (A + abu 10 %)	Desig n 3 (A + abu 13 %)	Desig n 4 (A + abu 14 %)	Desig n 5 (A + abu 15 %)	Desig n 6 (A + abu 20 %)
Lolos ayakan no. 2" (50mm)	100	100	100	100	100	100
Lolos ayakan no. 1 ½" (37,5 mm)	100	100	100	100	100	100
Lolos ayakan no. 1" (25 mm)	80,1	81	81,5	81,7	81,9	82,6
Lolos ayakan no. ¾" (9,5mm)	45,5	48	49,4	49,8	50,3	52,3
Lolos ayakan no.4 (4,75 mm)	30,1	33,3	35,1	35,7	36,3	38,9
Lolos ayakan no. 10 (2 mm)	17,5	21,2	23,2	24,2	24,7	27,8
Lolos ayakan no.40 (0,425 mm)	6,9	11,1	13	13,9	14,9	18,5
Lolos ayakan no. 200 (0,075 mm)	2,8	4,3	5,9	6,4	6,6	8,6

Hasil yang diperoleh dalam pengujian gradasi tanah yang ditambahkan abu limbah batu bara dengan persentase tertentu mendapatkan penambahan abu limbah batu bara dengan persentase 5% dan 20% tidak memenuhi spesifikasi gradasi lapisan pondasi jalan kelas A. Sedangkan penambahan abu limbah batu bara yang memenuhi spesifikasi lapisan pondasi jalan kelas A adalah sebesar 10%, 13%, 14%, dan 15%. Penambahan abu limbah batu bara dengan persentase tersebut mendapatkan penambahan abu limbah batu bara yang paling baik (ideal) memenuhi spesifikasi lapisan pondasi jalan kelas A sebesar 13 % dari berat kering tanah. Hasil tersebut didapat dari perbandingan gradasi agregat yang ditambahkan abu limbah batu bara dengan persentase tertentu dan spesifikasi batas bawah dan batas atas untuk gradasi agregat untuk lapisan pondasi jalan kelas A. Hasil dari perbandingan gradasi agregat yang telah ditambahkan abu limbah batu bara dengan spesifikasi lapisan pondasi jalan kelas A dapat dilihat pada Gambar 4.

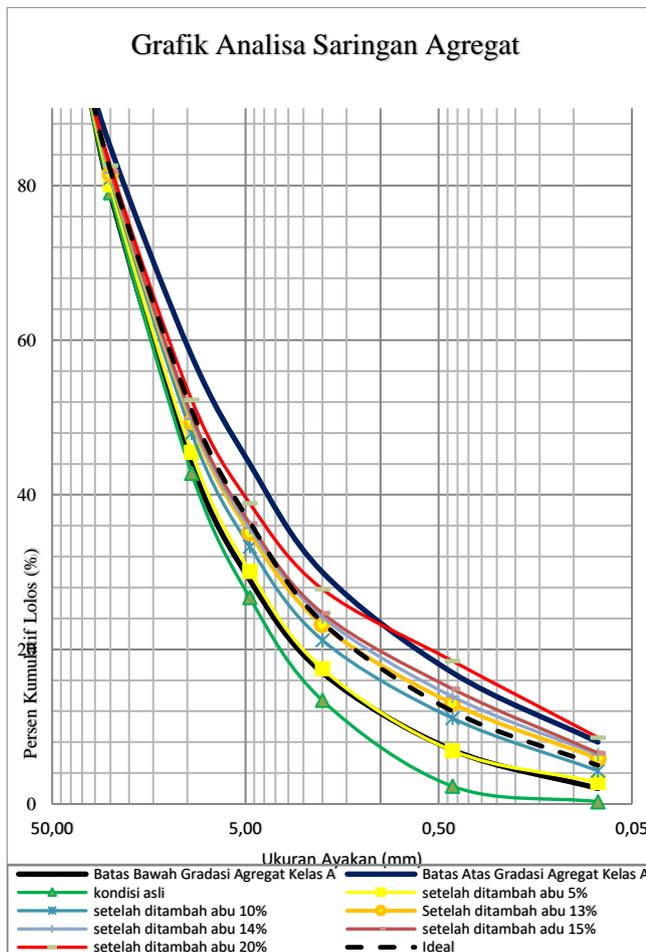
Sifat Fisik Tanah Tanpa dan dengan Abu

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, maka didapatkan beberapa sifat fisik dari tanah tanpa abu limbah batu bara dan dengan ditambahkan abu limbah batu bara. Hasil dari perhitungan sifat fisik tanah dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Hasil Uji Sifat Fisik Tanah

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil pemeriksaan	
		Tanpa Abu	Dengan Abu
1	Kadar air (%)	0,99	
2	Berat jenis	2,65	2,62
3	Batas Cair (%)	0	22,76
4	Batas Plastis (%)	0	20,31
5	Indeks Plastisitas (%)	0	2,58

Hasil pengujian dan penghitungan sifat fisik tanah dapat menunjukkan bahwa berat jenis mengalami penurunan dari 2,65 menjadi 2,62. Sedangkan Batas Cair tanah(LL) dan Indeks Plastisitas tanah (IP) mengalami peningkatan sebesar 23 % dan 2,58%.



Gambar 4 Grafik Perbandingan Tanah Kondisi Asli + Abu dengan Spesifikasi Lapisan Pondasi Kelas A

Spesifikasi lapisan pondasi jalan memiliki ketentuan untuk sifat fisik dari tanah yaitu nilai Batas Cair tanah (LL) dan Indeks Plastisitas tanah (IP) dengan kisaran nilai 0-25% untuk Batas Cair tanah (LL) dan 0-6% untuk Indeks Plastisitas tanah (IP). Hasil pengujian Batas Cair tanah (LL) dan Indeks Plastisitas tanah (IP) untuk tanah yang ditambahkan abu limbah batu bara dapat disimpulkan nilainya memenuhi spesifikasi lapisan pondasi jalan.

Kerapatan Relatif (Dr)

Kerapatan relative (Dr) dipakai sebagai acuan untuk menunjukkan tingkat kerapatan tanah berbutir di lapangan. Penelitian kerapatan relatif ini dilakukan memakai contoh tanah terganggu (*disturbed*) kering oven dan contoh tanah terganggu (*disturbed*) yang ditambahkan abu limbah batu bara dalam kondisi kering oven. Hasil pengujian kerapatan relatif disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8 Nilai Kerapatan Relatif (Dr)

No	Contoh	Nilai	
		Kerapatan Relatif (%)	Keterangan
1	Tanah Dalam Kondisi Lapangan	58,6	Sedang
2	Tanah Ditambah Abu Limbah Batu Bara	90,8	Sangat Padat

Berdasarkan penelitian kerapatan relatif tersebut dapat disimpulkan bahwa abu limbah batu bara yang memiliki diameter butiran lebih kecil dibandingkan contoh tanah, dapat meningkatkan nilai dari kerapatan relatifnya karena butiran yang lebih kecil dapat mengisi ruang pori yang ada dalam contoh tanah tersebut.

Koefisien Permeabilitas (k)

Permeabilitas merupakan kemampuan tanah untuk meloloskan air melalui pori makro dan pori mikro serta kearah horizontal maupun ke arah vertikal. Penelitian koefisien permeabilitas ini dilakukan dengan menggunakan contoh tanah terganggu (*disturbed*) dalam kondisi kering oven dan contoh tanah terganggu (*disturbed*) yang sudah ditambahkan abu limbah batu bara dalam kondisi kering oven. Hasil dari penelitian diberikan pada Tabel 9.

Tabel 9 Nilai Koefisien Permeabilitas (k)

No	Contoh	Nilai Koefisien Permeabilitas (cm/dt)
1	Tanah Dalam Kondisi Lapangan	$6,852 \times 10^{-2}$
2	Tanah Ditambah Abu Limbah Batu Bara	$1,195 \times 10^{-3}$

Penambahan abu limbah batu bara mengakibatkan penurunan nilai koefisien permeabilitas. Tanah dalam kondisi lapangan memiliki nilai koefisien permeabilitas sebesar $6,852 \times 10^{-2}$ cm/dt sedangkan setelah ditambahkan abu limbah batu bara nilai koefisien permeabilitas mengalami penurunan menjadi $1,195 \times 10^{-3}$ cm/dt. Penurunan ini menandakan bahwa kemampuan tanah untuk mengalirkan air semakin kecil. Nilai koefisien permeabilitas sangat tergantung pada

ukuran rata-rata pori pada tanah yang dipengaruhi oleh distribusi ukuran partikel tanah, bentuk partikel dan struktur tanah. Secara umum dapat disimpulkan bahwa semakin kecil ukuran partikel, makin kecil pula ukuran porinya dan semakin rendah koefisien permeabilitasnya. Dengan demikian, penambahan abu limbah batu bara yang memiliki ukuran butiran halus mampu mengurangi angka pori pada tanah tersebut sehingga kemampuan air untuk merembes pada tanah tersebut semakin berkurang.

Pemadatan Tanah

Suatu usaha yang dilakukan untuk meningkatkan nilai kerapatan dari tanah dengan pemakaian energi mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel disebut sebagai pemadatan tanah. Di lapangan, pemadatan tanah dilakukan dengan memakai alat/mesin penggilas, alat pemadatan dengan getaran, alat tekan statis yang menggunakan piston serta mesin tekanan. Hasil uji pemadatan metode standar proktor adalah berat volume kering maksimum suatu tanah dan kadar air optimum. Bila kadar air yang dihasilkan suatu tanah bernilai rendah, maka tanah tersebut akan bersifat kaku dan sukar dipadatkan. Namun bila tanah yang dipadatkan tersebut ditambahkan air, maka air akan berfungsi sebagai pembasah/pelumas pada partikel-partikel tanahnya. Hal ini menyebabkan partikel tersebut akan lebih mudah bergerak dan bergeser satu sama lain serta membuat kedudukan yang lebih rapat. Dimana nantinya berat dari bahan padat tanah per satuan volume akan meningkat secara bertahap jika terjadi peningkatan kadar air secara bertahap, sampai adanya penambahan kadar air tertentu yang akan menurunkan berat volume tanah dari tanah tersebut. Hasil ini disebabkan karena air lebih banyak menempati ruang pori-pori tanah. Dalam kondisi tersebut, keadaan air memberikan berat volume maksimum disebut kadar air optimum. Hasil dari penelitian dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10 Nilai Pemadatan

No	Contoh	Kadar Air Optimum (%)	Kepadatan Maksimum (gr/cm ³)
1	Tanah Dalam Kondisi Lapangan	13,24	1,65
2	Tanah Ditambah Abu Limbah Batu Bara	10,14	1,85

Penambahan abu limbah batu bara yang mengurangi nilai dari kadar air optimum pada tanah tersebut dikarenakan rongga pori pada tanah diisi

oleh abu limbah batu bara. Pada kondisi aslinya rongga pori tersebut hanya terisi oleh air dan udara. Hal ini berbanding terbalik dengan berat kepadatan maksimumnya. Kepadatan maksimum mengalami peningkatan yang disebabkan karena terisinya pori-pori pada tanah tersebut oleh abu limbah batu bara sehingga mengakibatkan tanah tersebut menjadi lebih padat.

Daya Dukung Tanah (CBR)

Pengujian CBR merupakan pengujian untuk mengetahui daya dukung tanah dalam merancang tebal perkerasan suatu jalan. Metode ini mengkombinasikan *load penetration test* di laboratorium maupun di lapangan dengan *design chart* empiris untuk mendapatkan daya dukung tanah. Dalam pengujian CBR ini dilakukan pengujian CBR rendaman (*soaked CBR*) dengan perendaman contoh pada air selama empat hari. Pengujian ini diasumsikan telah mengalami kondisi terburuk dengan tanah sepenuhnya terendam air. Selain itu, pengujian CBR rendaman juga bertujuan untuk memperoleh nilai pengembangan (*swelling*) tanah tersebut. Pengujian dilakukan pada contoh tanah terganggu dalam kondisi di lapangan dan contoh tanah yang ditambahkan oleh abu limbah batu bara. Hasil dari penelitian dapat diamati pada Tabe 11.

Tabel 11 Hasil Pengujian CBR

No	Contoh	Nilai CBR (%)
1	Tanah Dalam Kondisi Lapangan	62
2	Tanah Ditambah Abu Limbah Batu Bara	94

Hasil pengujian menunjukkan terjadinya peningkatan nilai CBR. Peningkatan nilai CBR ini sangat dipengaruhi oleh sifat dari abu limbah batu bara yang memberikan daya dukung lebih kuat terhadap tanah. Hal tersebut dikarenakan sifat abu limbah batu bara yang memiliki sifat pozzolanik yaitu sifat yang seiring dengan bertambahnya waktu apabila bereaksi dengan senyawa alumina seperti Al₂O₃ dan CaO yang terkandung dalam pasir akan membantu proses pengerasan pozzolanik tersebut. Demikian pula limbah abu batubara dapat meningkatkan daya dukung dari tanah tersebut. Selain itu peningkatan nilai CBR juga dapat dilihat dari berat volume (γ_b) tanah tersebut semakin besar nilai berat volume (γ_b) tanah maka semakin besar daya dukung tanah tersebut (CBR). Berat volume (γ_b) tanah sangat dipengaruhi oleh jenis tanah dan kerapatan kering (ρ_d) dari tanah tersebut. Semakin besar nilai kerapatan kering tanah (ρ_d) maka semakin besar juga nilai dari berat volume (γ_b) tanah tersebut. Dalam penelitian ini terbukti bahwa nilai daya

dukung tanah (CBR) meningkat saat ditambahkan abu limbah batu bara. Hal tersebut dikarenakan jenis tanah klikil/pasir yang memiliki ukuran butiran yang besar menimbulkan adanya pori-pori pada tanah tersebut yang tidak dapat diisi oleh butiran tanah tersebut sehingga pori tersebut hanya berisi udara yang mengurangi nilai dari kerapatan kering tanah. Namun, setelah ditambahkan abu limbah batu bara yang memiliki ukuran butiran yang lebih kecil akan mampu untuk mengisi ruang pori yang terdapat pada tanah tersebut. Sehingga ruang pori yang tadinya hanya terisi oleh udara digantikan dengan partikel tanah yang lebih kecil yang mampu mengisi ruang pori dari tanah tersebut. Pengisian ruang pori tanah oleh abu limbah batu bara mengakibatkan tanah tersebut semakin rapat dan nilai kerapatan keringnya (ρ_d) meningkat. Dengan meningkatnya nilai kerapatan kering (ρ_d) tanah, maka nilai dari berat volume (γ_b) dan daya dukung tanah (CBR) juga semakin meningkat.

Pengaruh penambahan abu limbah batubara pada peningkatan nilai CBR terbukti dapat memenuhi spesifikasi nilai CBR untuk lapisan pondasi jalan kelas A seperti ditunjukkan pada Tabel 12.

Tabel 12 Hubungan Nilai CBR Contoh Terhadap Spesifikasi Nilai CBR untuk Lapisan Pondasi Jalan Kelas A

Contoh	Nilai	Spesifikasi	Keterangan
	CBR (%)	Nilai CBR Kelas A (%)	
Tanah Dalam Kondisi Lapangan	62	≥ 90	Tidak Memenuhi
Tanah Ditambah Abu Limbah Batu Bara	94	≥ 90	Memenuhi

Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa penambahan abu limbah batu bara sangat berpengaruh terhadap nilai CBR dari tanah tersebut. Tanah dalam kondisi asli tidak dapat memenuhi nilai CBR untuk spesifikasi dari lapisan pondasi jalan dan setelah ditambahkan abu limbah batu bara nilai CBR dari tanah tersebut semakin meningkat sampai masuk ke dalam nilai CBR untuk spesifikasi lapisan pondasi jalan.

SIMPULAN

Pengaruh penambahan abu limbah batu bara terhadap karakteristik pasir untuk lapisan pondasi jalan kelas A adalah sebagai berikut.

1. Penambahan abu limbah batu bara menyebabkan gradasi butiran tanah yang sebelum ditambahkan abu limbah batu bara tidak memenuhi spesifikasi dan menjadi memenuhi spesifikasi gradasi butiran lapisan pondasi jalan kelas A setelah ditambahkan abu

- limbah batu bara. Persentase penambahan abu limbah batu bara yang paling bagus untuk memenuhi spesifikasi lapisan pondasi jalan kelas A adalah 13% dari berat kering tanah.
2. Penambahan abu limbah batu bara meningkatkan nilai batas cair (LL) dan indeks plastis (PI) tanah sebesar 22,776% dan 2,58 %. Nilai tersebut masih memenuhi spesifikasi lapisan pondasi jalan kelas A.
3. Penambahan abu limbah batu bara meningkatkan nilai kerapatan relatif tanah menjadi 90,8% karena abu limbah batu bara mengisi ruang pori pada tanah dan menjadikan angka pori tanah tersebut berkurang. Dengan peningkatan nilai kerapatan relatif maka berat volume tanah dan daya dukung tanah juga semakin meningkat.
4. Penambahan abu limbah batu bara meningkatkan nilai CBR. Nilai CBR tanah mula-mula adalah 62% dan tidak masuk dalam spesifikasi lapisan pondasi jalan kelas A. Nilai CBR setelah penambahan abu limbah batubara meningkat menjadi 94% dan memenuhi spesifikasi lapisan pondasi jalan kelas A yang mempunyai nilai CBR $\geq 90\%$.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J.E, 1997. *Analisis dan Desain Pondasi Jilid I*. Jakarta: Erlangga.
- Das, B.M, Endah, N dan Indrasurya, 1988, *Mekanika Tanah (prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jilid I. Jakarta : Erlangga.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, Spesifikasi Umum. 2018. *Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan*. Nomor 02/SE/Db/2018.
- Muhardi et al. 2007. *Karakteristik Abu Terbang dan Abu Dasar Dalam Geoteknik*. (Jurnal yang Dipublikasikan, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau, 2007).
- Redana, I W. 2011. *Mekanika Tanah*. Denpasar: Udayana University Press.
- Sukirman, S. 1995. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung : Nova.
- Wesley, L. D. 1977. *Mekanika Tanah Cetakan IV*. Jakarta: Badan Penerbit Percetakan Umum.