

## UTILIZATION OF COAL ASH MATERIAL FOR SUBBASE COURSE WITH HIGH ABRASION AGGREGATE

### PEMANFAATAN BAHAN LIMBAH COAL ASH UNTUK LAPISAN SUBBASE DENGAN AGREGAT KEAUSAN TINGGI

Lola Cassiopea<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Palangka Raya  
Kampus Unpar Tunjung Nyaho Jl. H. Timang, 73111A

e-mail: ll\_cassiopea@yahoo.com

#### ABSTRACT

This study attempted to use coal ash as a substitute material that meets the criteria for subbase mixtures. Initial mixture consisting of soil, sand and gravel. The mixture was separated into three variations in the ratio of each of the Variation I (10:50:40), Variation II (10:45:45) and the Variation III (10:60:30). Comparison of variation with the lowest CBR value is used as a benchmark for subbase mixed with coal ash that is Variation I. Subbase mixture was then divided into two compositions of coal ash as a substitute material for sand and as a substitute material for gravel. Composition I as a substitute consisting of sand, gravel and coal ash (fly ash, bottom ash) are distinguished into three variations in the ratio of each of the Variations IA (10:50:(10:30)), IB (10: 50: (15:25)), IC (10:50:(20:20)). Composition II as a substitute for gravel composed of soil, coal ash brick, brick fine coal ash, which is also divided into three variations of the IIA, IIB, IIC with the same ratio of each composition 10:50:40, the difference is the content of coal ash in coal ash brick respectively 10% fly ash, 20% fly ash and 25% bottom ash. Test on subbase layer consisting of a sieve analysis test, atterberg limit, compaction, CBR, and dissolved heavy metals test. The results showed non-soaked CBR value for all variations subbase mixed with coal ash which has been meeting the specifications required for subbase, while the condition of soaked CBR II only variations that meet specifications. Variation IIA is a good subbase mixture to use.

**Keywords:** coal ash, fly ash, bottom ash, subbase, high abrasion aggregate

#### ABSTRAK

Pada penelitian ini dicoba memanfaatkan limbah *coal ash* sebagai bahan substitusi yang memenuhi kriteria untuk campuran *subbase*. Campuran awal yang dilakukan terdiri dari tanah, pasir dan kerikil. Campuran ini dibedakan menjadi tiga variasi dengan perbandingan masing-masing sebesar variasi I (10:50:40), variasi II (10:45:45) dan variasi III (10:60:30). Perbandingan variasi dengan nilai CBR paling rendah yang digunakan sebagai patokan untuk campuran *subbase* dengan limbah *coal ash* yaitu perbandingan variasi I. Campuran *subbase* tersebut selanjutnya dibedakan dalam dua komposisi yaitu *coal ash* sebagai bahan substitusi pasir dan sebagai substitusi kerikil. Komposisi I sebagai substitusi pasir terdiri dari tanah, kerikil dan *coal ash* (*fly ash*, *bottom ash*) yang dibedakan lagi menjadi tiga variasi dengan perbandingan masing-masing yaitu variasi IA (10:50:(10:30)), IB (10:50:(15:25)), IC (10:50:(20:20)). Komposisi II sebagai substitusi kerikil terdiri dari tanah, *paving block brick*, *paving block* halus, yang dibedakan juga menjadi tiga variasi yaitu IIA, IIB, IIC dengan perbandingan tiap komposisinya sama 10:50:40, perbedaannya adalah kandungan *coal ash* dalam *paving block brick* masing-masing 10% *fly ash*, 20% *fly ash* dan 25% *bottom ash*. Uji pada lapisan *subbase* terdiri dari uji analisa saringan, batas konsistensi, pemadatan, uji CBR, dan uji logam berat terlarut. Dari hasil penelitian diperoleh nilai CBR tanpa rendaman untuk semua variasi campuran *subbase* dengan limbah *coal ash* memenuhi spesifikasi yang telah disyaratkan untuk *subbase*, sedangkan pada kondisi CBR rendaman hanya variasi II yang memenuhi spesifikasi. Campuran *subbase* yang baik digunakan adalah variasi IIA.

**Kata kunci:** coal ash, fly ash, bottom ash, subbase, agregat keausan tinggi

#### PENDAHULUAN

##### 1. Latar Belakang

Sebagian besar konstruksi jalan di Indonesia dibangun diatas tanah lunak. Penyebaran tanah lunak di Indonesia dapat di lihat pada Gambar 1. Pada Gambar 1 Terlihat bahwa tanah lunak tersebar hampir disemua pulau di Indonesia. Rerata jalan rusak yang berada diatas tanah lunak sepanjang ratusan kilometer.

Maka sangat diperlukan penanganan yang baik pada konstruksi perkerasan yang dibangun diatas tanah lunak agar dapat mengurangi kerusakan jalan.

Konstruksi perkerasan secara umum dapat dibedakan atas konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*) dan konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*). Lapisan perkerasan tersebut terdiri dari *base*, *subbase*, dan *subgrade*. Sesuai dengan fungsi dan

letak dari *subbase* yang berada di bawah *base*, maka *subbase* adalah lapisan konstruksi yang meneruskan beban dari *base* kepada *subgrade* berupa bahan berbutir diletakkan di atas lapis *subgrade* yang dibentuk dan dipadatkan, serta langsung di bawah *base* perkerasan. *Subbase* yang berada di atas tanah lunak berfungsi sebagai lapisan pertama, agar pekerjaan dapat berjalan lancar. Hal ini sehubungan dengan kondisi lapangan harus segera menutup tanah dasar dari pengaruh cuaca, dan sebagai lapis pelindung lapisan tanah dasar dari beban roda-roda alat berat (akibat lemahnya daya dukung tanah dasar) pada awal-awal pelaksanaan pekerjaan. Penggunaan *subbase* di bawah *rigid pavement* di dasarkan beberapa pertimbangan, yaitu antara lain untuk menghindari terjadinya pumping, kendali terhadap sistem drainasi, kendali terhadap kembang-susut yang terjadi pada tanah dasar dan untuk menyediakan lantai kerja (*working platform*) untuk pekerjaan konstruksi, menyediakan lapisan yang seragam, stabil dan permanen.

Bahan penyusun *subbase* umumnya terdiri dari material berbutir seperti kerikil alam, pasir dan tanah. Material *subbase* tidak sepenuhnya memenuhi syarat karakteristik seperti yang disyaratkan dalam Bina Marga. Departemen Pekerjaan Umum sering menolak menggunakan jenis agregat yang tidak memenuhi spesifikasi untuk uji keausan, sehingga pemanfaatan agregat dengan tingkat keausan tinggi sering diabaikan. Dalam mengatasi masalah-masalah tersebut, maka sangat diperlukan penelitian dan perencanaan campuran untuk memastikan metode pengolahan yang tepat, serta bahan-bahan yang sesuai untuk kondisi tanah tertentu agar diperoleh hasil yang maksimal, sehingga penggunaan agregat dengan keausan tinggi dapat lebih bermanfaat. Salah satunya dengan memanfaatkan *coal ash* yang merupakan limbah pembakaran batubara.

Indonesia mempunyai cadangan batubara yang berlimpah yaitu sekitar 3,6 milyar ton dengan lebih dari 60% merupakan batubara lignit atau peringkat rendah (*Indonesian Coal Society*, 2007). Batubara sudah menjadi energi primer bagi pemenuhan kebutuhan energi di Indonesia, antara lain pada PLTU, industri semen, industri kertas, industri tekstil, industri metalurgi, dan industri lainnya. PLTU merupakan industri yang paling banyak menggunakan batubara. Sisa pembakaran batubara berupa *coal ash* banyak dijumpai di industri-industri tersebut. Hal ini menimbulkan permasalahan besar, karena semakin lama timbunan *coal ash* makin tinggi dan membutuhkan areal yang lebih luas. Dalam penggunaannya masih dirasakan berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan karena batubara mengandung sulfur, nitrogen dan abu dalam jumlah besar sehingga gas buang hasil pembakaran menghasilkan polutan seperti  $SO_2$  dan  $NO_2$  serta *coal*

*ash*. Pembakaran batubara juga menghasilkan  $CO_2$  yang berperan dalam proses pemanasan global untuk itu diperlukan penanganan secara terpadu. Permasalahan lainnya bahwa *fly ash* mudah terbawa oleh angin, sehingga dapat menimbulkan gangguan kesehatan bagi masyarakat di sekitar pabrik atau lokasi pembuangan tersebut, sedangkan *bottom ash* jika langsung dibuang ke lingkungan, maka lambat laun akan terbentuk gas metana ( $CH_4$ ) yang sewaktu-waktu dapat terbakar atau meledak dengan sendirinya. Pemerintah sekarang telah menerapkan prinsip *reuse, recovery* dan *recycle* sehingga pemanfaatan batubara dapat dimanfaatkan semaksimal mungkin dan memiliki nilai tambah dari limbah pembakarannya. Pada bidang konstruksi, *fly ash* banyak dimanfaatkan sebagai bahan mentah dalam campuran beton, bahan pengisi pada aspal beton, dan bahan stabilisasi pada tanah.

Pada penelitian ini dicoba memanfaatkan *coal ash* sebagai bahan substitusi agregat pada lapisan *subbase*. Substitusi dilakukan untuk meningkatkan atau memperbaiki kondisi *subbase* yang rentan mengalami kerusakan material akibat kuat dukungannya yang rendah. Permasalahan dampak lingkungan belum berarti sudah teratasi dengan pemanfaatan limbah *coal ash*. Beberapa logam berat yang terkandung dalam *coal ash* berpengaruh terhadap pencemaran lingkungan, bila digunakan dalam aplikasi geoteknik. Beberapa kandungan logam berat tersebut diantaranya Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, dan Zn. Logam-logam berat tersebut diketahui sangat kecil terkandung dalam *coal ash*, namun kandungan tersebut dapat berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan sekitarnya bila tidak ditangani secara tepat.

## 2. Tanah

Menurut Bowles (1986), tanah merupakan campuran partikel kecil yang tersusun dari salah satu atau beberapa diameter butiran yaitu batu bulat (*boulders*):250–300 mm, batu kerakal (*cobbles*):150–250mm, kerikil (*gravel*): 5–150mm, pasir (*sand*) : 0,074–5 mm, lanau (silt) : 0,002–0,074 mm, lempung (*clay*) : <0,002mm dan koloid: <0,001mm. Selain itu tanah dapat dibedakan menjadi tanah kohesif dan tanah non kohesif.

Tanah lunak umumnya terdiri dari tanah yang sebagian besar mengandung butir – butir yang sangat halus seperti lempung/lanau (Sosrodarsono & Nakazawa, 1998 dalam Ramadita, 2008). Sifat dari tanah lunak adalah kuat geser kecil, mengalami penurunan besar, kemampatan besar dan koefisien permeabilitasnya kecil.

Tanah lempung tersusun atas partikel mineral yang berukuran lebih kecil 0,002 mm (Das, 2006). Terdapat kira-kira 15 macam mineral yang diklasifikasikan sebagai mineral lempung (Kerr, 1959 dalam Hardiyatmo, 2006). Di antaranya terdiri dari kelompok-kelompok: *montmorillonite*, *illite*, *kaolinite*,

dan *polygorskite*. Terdapat pula kelompok yang lain, misalnya *chlorite*, *vermiculite*, dan *hallosyte*.

Pada penelitian tanah yang digunakan adalah tanah lempung dari Desa Soko kab Ngawi, Jawa Timur. Tanah diambil langsung dari lokasi dalam keadaan *undisturb* dan *disturb*.

### 3. Coal Ash

*Coal ash* merupakan hasil residu dari pembakaran batubara yang terdiri dari *fly ash* dan *bottom ash*. *fly ash* dan *bottom ash* adalah terminology umum untuk abu terbang yang ringan dan abu relatif berat yang timbul dari suatu proses pembakaran suatu bahan yang lazimnya menghasilkan abu.

#### a. Fly Ash

*Fly ash* atau abu terbang adalah limbah padat yang dihasilkan dari pembakaran batu bara di dalam suatu ruang bakar, kemudian dikumpulkan dengan *electrostatic precipitator* melalui silo-silo untuk selanjutnya dibuang ke tempat penimbunan.

Abu terbang juga merupakan material halus yang mempunyai sifat *self hardening* dan bersifat non plastis (Tri Utomo, 1990 dalam Sri Mulyani, 2006). *Fly ash* atau abu terbang di kenal di Inggris sebagai serbuk abu pembakaran. Abu terbang sendiri tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen. Bahan ini berupa partikel halus apabila di tambah air dan kapur (*calcium hydroxide*), oksida silika yang dikandung oleh abu terbang akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat.

*American Society for Testing Material C.618* (ASTM, 1995:304) membagi *fly ash* kedalam *Class "F"* dan *Class "C"*. *Fly ash* kelas F biasanya dihasilkan dari pembakaran batu bara *antracite* atau *bituminous coal*. Sifat *Fly ash* jenis ini tidak *self-hardening*, akan tetapi umumnya bersifat *pozzolan*. *Fly ash* kelas C biasanya merupakan hasil pembakaran batu bara yang *sub-bituminous* dan *lignite* yang selain mempunyai sifat *pozzolan*, juga *self-hardening*. Abu terbang kelas C kemungkinan mengandung zat kimia  $\text{SiO}_2$  sampai dengan 70 persen. Pada waktu dicampur dengan air, *fly ash* ini mengeras akibat hidrasi seperti halnya hidrasi semen Portland.

Beberapa abu terbang klas C mengandung kapur lebih dari 10 persen. Komposisi bahan kimia abu terbang yang berasal dari jenis batubara yang berbeda akan mempunyai komposisi kimia yang berbeda pula seperti diperlihatkan pada *pozzolan* alami dapat dikelompokkan menjadi 2 bagian yaitu *pozzolan* dari batuan alam dan *pozzolan* dari tumbuh-tumbuhan tertentu, abunya dapat bersifat sebagai *pozzolan*.

Senol (2002) menggunakan *fly ash* hasil sampingan industri dapat menstabilisasi *subbase* dari suatu sistem perkerasan jalan raya. *Fly ash* kelas C

tanpa menggunakan aktivator lain juga dapat meningkatkan nilai kuat geser dan CBR tanah.

Pada penelitian ini *fly ash* digunakan sebagai substitusi pasir pada campuran *subbase*. *Fly ash* yang digunakan berasal dari salah satu perusahaan di Jakarta.

#### b. Bottom Ash

*Bottom ash* adalah bahan buangan dari proses pembuangan batubara pada pembangkit tenaga listrik yang mempunyai ukuran partikel lebih besar dan lebih berat daripada *fly ash*. Oleh sebab itu *bottom ash* akan jatuh pada dasar tungku pembakaran (*botler*) dan terkumpul pada penampung debu (*ash hopper*) lalu dikeluarkan dari tungku dengan cara disemprot dengan air untuk kemudian dibuang atau dipakai untuk keperluan tertentu (Waller 1993).

*Bottom ash* dikategorikan menjadi *dry bottom ash* dan *wet bottom ash/boiler slag* berdasarkan jenis tungkunya. Debu yang berada dalam keadaan *solid/padat* didasar tungku disebut *dry bottom ash*. Debu yang berada dalam keadaan cair/meleleh ketika jatuh ke dalam air yang berada di *ash hopper*. Di dalam air tersebut debu yang berada dalam keadaan meleleh itu akan mengkristal dan akan membentuk butiran-butiran yang disebut *wet bottom ash/boder siag*. Sifat dari *bottom ash* sangat bervariasi karena dipengaruhi oleh jenis batu baranya dan sistem pembakarannya (Waller, 1993). Komposisi kimia *dry* dan *wet bottom ash* pada umumnya tersusun dari senyawa  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SO}_3$ , dan unsur kimia lainnya.

Pada penelitian ini *bottom ash* digunakan sebagai substitusi pasir pada campuran *subbase*. *Bottom ash* yang digunakan berasal dari salah satu perusahaan di Jakarta.

### 4. Subbase dan Bahan Penyusunnya

*Subbase* adalah suatu lapisan perkerasan jalan yang pada umumnya terletak antara lapis pondasi atas (*base*) dan tanah dasar (*subgrade*). *Subbase* terdiri dari material pilihan, seperti kerikil alam yang stabil (*awet*), hanya material ini mungkin tidak sepenuhnya memenuhi syarat karakteristik seperti yang disyaratkan dalam *base*. Maksud penggunaan *subbase* adalah untuk membentuk lapisan perkerasan yang relatif cukup tebal (untuk maksud penyebaran beban), tapi dengan biaya yang lebih murah. Kualitas *subbase* dapat sangat bervariasi, sejauh persyaratan tebal rancangan terpenuhi. Umumnya, penentuan persyaratan kepadatan dan kadar air ditentukan dari hasil uji laboratorium dan lapangan.

Fungsi dari *subbase* adalah:

- sebagai bagian dari struktur perkerasan untuk mendukung dan menyebarkan beban kendaraan,
- untuk efisiensi penggunaan material, agar lapisan-lapisan yang lain dapat dikurangi tebalnya, sehingga menghemat biaya,

- c. untuk mencegah material tanah-dasar masuk ke dalam lapis pondasi,
- d. sebagai lapisan pertama, agar pelaksanaan pembangunan jalan berjalan lancar.

*Subbase* yang ditempatkan di atas tanah-dasar yang lunak, berguna untuk menutup tanah-dasar tersebut agar mempunyai kapasitas dukung yang cukup, sehingga alat berat dapat bekerja dengan baik saat pelaksanaan.

Menurut Bina Marga (2007), agregat untuk lapis perkerasan terdiri dari tiga kelas agregat yaitu agregat kelas A, B, dan C.

Agregat Kelas A atau Kelas B digunakan untuk lapis fondasi jalan yang akan di tutup dengan Lapis Resap Ikat atau pelaburan (*base*) sedangkan agregat Kelas C digunakan sebagai *subbase*. Agregat halus (lolos saringan 4,75 mm) harus terdiri atas partikel pasir atau batu pecah halus dengan atau tanpa *clay*. Abrasi dari agregat kasar (SNI 03-2417-1990) sebesar 40 % dan nilai CBR (SNI 03-1744-1989) minimal 35 % (Bina Marga, 2007). Agregat untuk lapis fondasi harus bebas dari bahan organik dan gumpalan lempung atau bahan-bahan lain yang tidak dikehendaki, dan memenuhi gradasi lapis fondasi yang diberikan dalam Tabel 4.

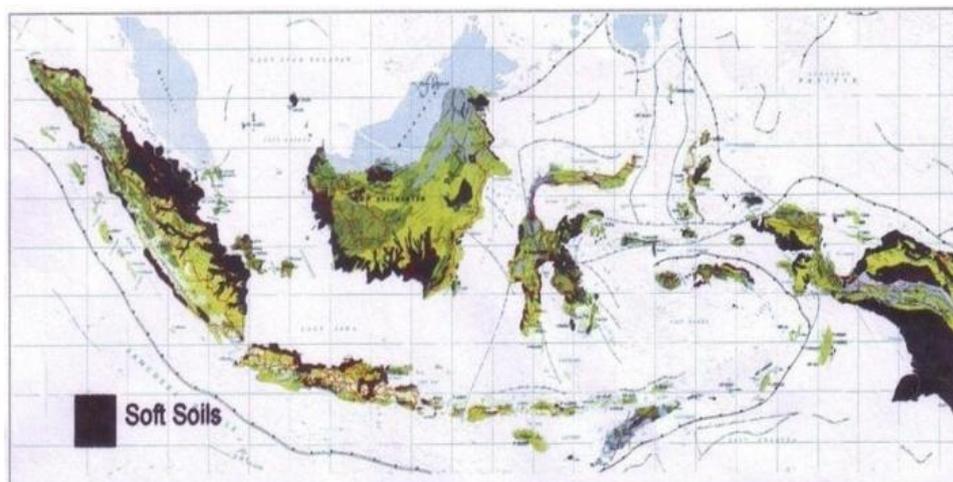
Menurut Bina Marga (2007), agregat kasar adalah fraksi yang tertahan pada saringan nomor 4 (4,75 mm) sedangkan agregat halus adalah fraksi yang lolos saringan nomor 4 (4,75 mm) dan harus terdiri dari pasir dan partikel-partikel mineral halus dari pemecahan atau alami. Bina Marga (2007), memberikan syarat gradasi untuk material *subbase* seperti dalam Tabel 5.

Pada penelitian ini dicoba mengganti material *subbase* yang menggunakan pasir dan kerikil dengan material *coal ash* dan *paving block brick*, dengan dicampur sedikit tanah lempung.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada dua variasi campuran yaitu campuran tanpa limbah *coal ash* dan campuran dengan limbah *coal ash*. Campuran tanpa limbah *coal ash* terdiri dari tanah, pasir dan kerikil. Sedangkan campuran dengan limbah *coal ash* ada dua variasi yaitu variasi pertama terdiri dari tanah, kerikil, *fly ash* dan *bottom ash* sebagai pengganti pasir, pada variasi kedua menggunakan *paving block brick* sebagai pengganti kerikil dan *paving block* halus sebagai pengganti pasir.

Campuran ini dibedakan menjadi tiga variasi dengan perbandingan masing-masing sebesar Variasi I(10:50:40), Variasi II(10:45:45) dan Variasi III(10:60:30). Perbandingan variasi dengan nilai CBR paling rendah yang digunakan sebagai patokan untuk campuran *subbase* dengan limbah *coal ash* yaitu perbandingan Variasi I. Campuran *subbase* tersebut selanjutnya dibedakan dalam dua komposisi yaitu *coal ash* sebagai bahan substitusi pasir dan sebagai substitusi kerikil. Komposisi I sebagai substitusi pasir terdiri dari tanah, kerikil dan *coal ash* (*fly ash*, *bottom ash*) yang dibedakan lagi menjadi tiga variasi dengan perbandingan masing-masing yaitu Variasi IA (10:50:(10:30)), IB (10:50:(15:25)), IC (10:50:(20:20)). Komposisi II sebagai substitusi kerikil terdiri dari tanah, *paving block*, *paving block* halus, yang dibedakan juga menjadi tiga variasi yaitu IIA,IIB,IIC dengan perbandingan tiap komposisinya sama 10:50:40 perbedaannya adalah kandungan *coal ash* dalam *paving block* masing-masing 10% *fly ash*, 20% *fly ash* dan 25% *bottom ash*. Uji pada lapisan *subbase* terdiri dari uji analisa saringan, batas konsistensi pemadatan, uji CBR rendaman dan CBR tanpa rendaman, dan uji logam berat terlarut.



Gambar 1. Penyebaran Tanah Lunak di Indonesia (Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah,2002)

Tabel 1. Susunan kimia dan sifat fisik rerata abu terbang (ASTM C 618-78)

Parameter	Klas Fly Ash		
	Susunan Kimia	Klas F	Klas c
Silikon dioksida (SiO <sub>2</sub> ) + alumina oksida (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) + besi oksida (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) minimum (%)		70	50
Kalsium Oksida (CaO)(%)		-	-
Magnesium Oksida (MgO) maksimum (%)		5	5
SulfurTrioksida(SO <sub>3</sub> ) maksimum (%)		5	5
Hilang pijar maksimum (%)		12	6
Total alkali Na <sub>2</sub> O maksimum (%)		1,5	1,5
Kadar air maksimum (%)		3	3
Sifat-sifat fisik	Klas F	Klas C	
Pemuaian dengan <i>autoclave</i> maksimum (%)	0,8	0,8	
Kehalusan 45µm maksimum (%)	34	34	

Tabel 2. Kandungan kimia pozolan (ASTM C618-92a)

Kandungan Kimia	Kelas pozzolan		
	N	F	C
Silikon dioksid, aluminium oksida	70	50	70
Besi oksida (SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) Min (%)	4	5	5
Sulfur trioksid (SiO <sub>3</sub> ), max (%) 4.0 5.0 5.0	3	3	3
Kadar air, max (%) 3.0 3.0 3.0	10	6	6
Hilang karena pembakaran, max (%)			
Kandungan alkali Na <sub>2</sub> O, max (%)	1,5	1,5	1,5

Tabel 3. Sifat mekanis tipikal dari *dry bottom ash dan boiler slag*

Sifat mekanis	Dry Bottom Ash	Boiler Slag
<i>Max. Dry Density</i>	1210 - 1520 kg/cm <sup>3</sup>	1330 - 1650 kg/cm <sup>3</sup>
Kelembaban optimum	12 - 24% (umumnya < 20)	8 - 20%
Test Abrasi LA (% kehilangan)	30 - 50	24 - 48
<i>Sodium sulfat Soundness test</i> (% kehilangan)	1,5 - 10	1 - 9
Kuat geser (sudut geser)	38 - 42 ° 38 - 45 ° (untuk ukuran butir < 9,5 mm)	38 - 42 ° 38 - 46 ° (untuk ukuran butir < 9,5 mm)
CBR (%)	40 - 70	40 - 70
Koefisien permeabilitas	10 <sup>-2</sup> - 10 <sup>-3</sup> cm/detik	10 <sup>-2</sup> - 10 <sup>-3</sup> cm/detik
Friable Partikel	Ada	Tidak ada

Sumber: (Waller, 1993)

Tabel 4. Gradasi lapis pondasi agregat

Sifat-Sifat	Kelas C
Abrasi dari agregat kasar (SNI 03-2417-1990)	maks.40%
Indeks plastis (SNI-03-1966 dan SNI-03-1967-1990)	4-9%
Hasil kali indeks plastisitas dengan % lolos saringan no.200	-
Batas Cair (SNI 03-1967-1990)	maks.35%
Gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat (SNI-03-4141-1989)	maks.1 %
CBR (SNI 03-1744-1989)	min. 35%
Pebandingan Persen lolos #200 dan #40	maks 2/3

Sumber: Bina Marga, 2007

Tabel 5. Sifat lapis pondasi agregat kelas C

Ukuran Saringan		Persen berat yang lolos, % lolos		
ASTM	(mm)	Kelas A	Kelas B	Kelas C
3"	75	-	-	100
2"	50	-	100	75-100
1 1/2"	37,5	100	88-100	60-90
1"	25,0	77-100	70-85	45-78
3/8"	9,50	44-60	40-65	25-55
No.4	4,75	27-44	25-52	13-45
No.10	2,0	17-30	15-40	8-36
No.40	0,425	7-17	8-20	7-23
No.200	0,075	2-8	2-8	5-15

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Sifat Teknis dan Klasifikasi Tanah

Sifat teknis dan klasifikasi tanah dapat dilihat pada Tabel 6. Berdasarkan uji distribusi ukuran butiran tanah, diperoleh hasil seperti dalam Gambar 3. Jumlah butiran tanah yang lolos saringan No.200 (0,075 mm) sebesar 95,90% > 50% , bila dihubungkan dengan nilai batas cair (LL) 100,02% serta nilai indeks plastisitas (PI) sebesar 66,51%, Jumlah butiran tanah yang lolos saringan No.200 (0,075 mm) sebesar 95,90% > 50% , bila dihubungkan dengan nilai batas cair (LL) 100,02% serta nilai indeks plastisitas (PI) sebesar 66,51%, maka menurut *Unified Soil Classification System (USCS)* tanah asli dari Soko termasuk pada kelompok CH yaitu jenis tanah berbutir halus yang anorganik dengan plastisitas tinggi.

Menurut *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)* tanah dari Soko termasuk dalam klasifikasi kelompok A-7-5, yaitu tanah lempung yang buruk, bila digunakan sebagai dasar fondasi jalan raya, karena persentase butiran yang lolos saringan No.200 sebesar 95,90% > 35%, dengan nilai batas cair (LL) 100,02% > 41%, nilai indeks plastisitas (PI) 66,51% > 11%, dan batas plastis (PL) 33,51% > 30%. Ditinjau dari nilai aktivitas (A) tanah asli sebesar 2,54, dan persen fraksi lempung sebesar 26,339%, maka menurut Seed dkk. (1962) tanah tersebut termasuk dalam klasifikasi lempung dengan potensi pengembangan yang tinggi (Gambar 4).

Ditinjau dari persentase kadar lempung tanah asli sebesar 26,339% dan indeks plastisitasnya (PI) sebesar 66,51%, maka tanah asli tersebut menurut sistem Williams (1957) termasuk dalam klasifikasi lempung ekspansif dengan potensi pengembangan yang tinggi (Gambar 5).

Klasifikasi menurut Chen (1975) seperti dalam Tabel 6, maka tanah asli Soko masuk dalam kategori tanah yang memiliki potensi pengembangan sangat tinggi, karena indeks plastisitasnya lebih besar dari 35%. Kandungan mineral dalam tanah dapat diidentifikasi dengan cepat menggunakan metode difraksi sinar X (XRD). Uji difraksi sinar X yang komprehensif akan

memberikan identifikasi kuantitatif semua jenis mineral yang bisa dikenali secara lengkap. Hasil uji difraksi sinar X pada tanah asli Soko berupa grafik dapat dilihat dalam Gambar 6.

Berdasarkan hasil uji yang diperoleh pada Tabel 7 dan seperti yang terlihat dalam Gambar 6 diketahui bahwa mineral yang lebih banyak terkandung dalam tanah dari Soko adalah *plagioclase disordered*. Plagioklas merupakan submineral dari *feldspar* yang biasanya lebih banyak terkandung dalam tanah pasir dan memiliki nilai berat jenis antara 2,54 – 2,57 (Lambe & Whitman, 1969). Mineral lainnya yang cukup banyak terkandung dalam tanah ini adalah mineral lempung berupa *montmorillonite* dan *halloysite*. Oleh karena itu, tanah dari Soko dapat dikatakan memiliki kemampuan kembang susut yang cukup tinggi. Hal ini dapat diidentifikasi juga dari nilai aktivitasnya (A) sebesar 2,54 yang merupakan pengaruh dari kandungan mineral-mineral lempung tersebut, terutama *montmorillonite* yang sangat mudah mengembang oleh tambahan kadar air. Hasil uji mineral lempung dapat dilihat pada Tabel 7.

Menurut Departemen of the Army, The Navy AND The Air Force (1994), tanah CH cocok di stabilisasi dengan semen portland, pada penelitian ini tanah CH ini di gunakan sebagai campuran pada lapisan *subbase* yang menggunakan bahan substitusi *coal ash* untuk mencari pengaruh terhadap kuat dukung tanah, jadi tidak ada pengaruh kecocokan tanah dengan bahan substitusi.

### 2. Karakteristik Coal Ash

Berdasarkan hasil uji di Laboratorium Analitik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) UGM diperoleh kandungan kimia dan mineral tanah lempung dan *coal ash* yang dapat dilihat pada **Tabel 8** sampai **Tabel 10**. Berdasarkan ASTM C 618-78 maka *fly ash* mempunyai komposisi SiO<sub>2</sub> = 70.102%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 22.758%, CaO = 1.035%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 3.990% dan LOI = 1.238% maka termasuk klas F karena kandungan CaO kurang dari 10 %. Oleh karena itu, *fly ash* tersebut dapat digunakan sebagai bahan stabilisasi, karena



Tampak dari hasil uji tersebut bahwa ketiga campuran memenuhi nilai CBR pada kondisi tanpa rendaman, sedangkan pada kondisi rendaman atau pada kondisi kritis tidak memenuhi persyaratan Binamarga CBR min 35% yang dilakukan pada kondisi kritis.

Di pilih variasi campuran 10:50:40, karena nilai CBR paling rendah dan pemakaian kerikil dan pasir cukup banyak, sehingga dalam campuran *subbase* yang direncanakan dapat memanfaatkan penggunaan *coal ash* dan *paving block brick* semaksimal mungkin dan dapat mengetahui pengaruh pemanfaatan limbah *coal ash* terhadap nilai CBR *subbase*.

#### 4. Pengaruh Campuran dengan Limbah Coal Ash sebagai lapisan Subbase

Penelitian pokok yaitu pengujian pada campuran *subbase* yang meliputi uji batas *atterberg*, analisa saringan, pemadatan, uji CBR dan uji *leaching*. Pengujian ini menggunakan Variasi 10:50:40. Pengujian ini dilakukan pada 2 variasi campuran *subbase* yang masing-masing terdiri dari 3 variasi campuran. Variasi I

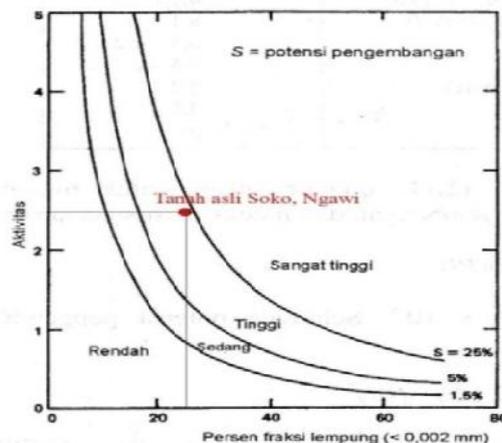
menggunakan bahan pengganti pasir berupa *coal ash* (*fly ash* dan *bottom ash*) dan Variasi II menggunakan bahan pengganti kerikil dan pasir berupa *coal ash brick* dan *coal ash brick* halus. *Coal ash bricks* menggunakan *paving block brick* yang telah lolos uji abrasi. Masing-masing variasi campuran untuk *subbase* diberi kode campuran agar lebih memudahkan dalam pengujian. Untuk lebih jelas tentang variasi campuran *subbase* dapat dilihat pada Tabel 13.

##### a. Batas Konsistensi

Pemeriksaan batas konsistensi yang dilakukan meliputi pemeriksaan batas cair, batas plastis dan batas susut. Pengujian pada campuran *subbase* menggambarkan nilai batas cair, batas plastis dan batas susut tidak terukur. Menurut (Hardiyatmo,2006) apabila batas cair dan batas platis tidak terukur, maka indeks plastisitas nol dan macam tanah adalah pasir yang mempunyai sifat non plastis. Keadaan ini dipengaruhi oleh gradasi dari *coal ash* dan campuran yang bersifat non plastis, sehingga nilai indeks plastisitas tidak terukur.

Tabel 6. Hasil uji sifat fisis dan mekanis tanah

No.	Parameter	Result
1.	Water content, $w$	60,33 %
2.	Spesific gravity, $G_s$	2,58
3.	Liquid limit, $L_L$	100,02 %
4.	Plastic limit, $P_L$	33,51 %
5.	Plasticity index, $P_I$	66,51 %
6.	Shrinkage limit, $S_L$	8,14 %
7.	Fine aggregate	95,90 %
8.	Coarse aggregate	4,10 %
9.	USCS classification	CH
10.	AASHTO classification	A-7-5
11.	Activity ( $A = P_I/C$ )	2,54
12.	OMC	34,57 %
13.	MDD	1,263 g/cm <sup>3</sup>
14.	CBR	3,437 %



Gambar 5. Klasifikasi Tanah Sistem Williams (1957 dalam Al-Rawas dan Goosen, 2006)

### b. Analisa Saringan

Pemeriksaan analisa saringan dilakukan pada enam variasi campuran *subbase*. Masing-masing sampel sebanyak 5000 gram, yang disusun gradasinya sesuai spesifikasi untuk *subbase* standar Bina Marga agregat kelas C.

Berdasarkan hasil analisa saringan campuran *subbase* adalah semua campuran *subbase* tidak masuk dalam spesifikasi *subbase*. Hasil analisa saringan adalah grafik cenderung ke batas atas, ini dikarenakan kandungan kerikil dan *coal ash brick* hampir sama dengan kandungan *coal ash*. Hasil analisa saringan dapat dilihat pada Gambar 7.

Pengaruh gradasi sangat penting untuk tujuan konstruksi perkerasan, karena agregat yang mempunyai gradasi rapat akan menghasilkan kemampuan yang tinggi pula. Hal ini terjadi karena gradasi rapat mempunyai susunan butiran yang berimbang antara agregat berbutir halus dan agregat berbutir kasar. Keadaan ini sangat menguntungkan, karena agregat halus akan mengisi rongga di antara agregat kasar, sehingga perkerasan yang dihasilkan akan mempunyai kepadatan yang tinggi, stabilitas tinggi, berat volume besar dan mempunyai sifat yang saling mengunci satu sama lainnya (*interlocking*). Pada penelitian ini analisa saringan tidak masuk dalam spesifikasi, tetapi menambah tinggi nilai CBR *subbase*.

### c. Parameter Kepadatan

Uji kepadatan dilakukan pada enam variasi campuran *subbase* yang direncanakan dan pada tiap variasi campuran masing-masing dibuat enam sampel dengan kadar air yang berbeda-beda untuk mendapatkan nilai berat volume kering ( $\gamma_d$ ) maksimum dan kadar air optimum ( $\gamma_w$ ) untuk masing-masing campuran. Kemudian dibuat gambar hubungan antara berat unit kering ( $\gamma_d$ ) campuran dengan kadar airnya ( $\gamma_w$ ). Pematatan yang dilakukan adalah pematatan *modified* menggunakan type D (Bina Marga, 2007).

Pada Gambar 8 dapat di lihat hubungan antara volume berat kering maksimum ( $\gamma_d$ ) dengan kadar air optimum pada campuran *subbase* pada masing-masing pematatan. Semua variasi menunjukkan penurunan

berat volume kering dari campuran awal, hal ini disebabkan pengaruh ikatan kimia antara tanah dengan *coal ash* dan *paving block brick* halus pada campuran. Pada Gambar 9 dapat dilihat perbandingan nilai kadar air optimum ( $\gamma_w$ ) dan berat unit kering ( $\gamma_d$ ) pada campuran *subbase* Variasi I dan II terjadi peningkatan nilai kadar air optimum ( $\gamma_w$ ) dan penurunan berat unit kering ( $\gamma_d$ ) dari campuran awal. Hal ini mungkin disebabkan pengaruh pemakaian *coal ash* pada campuran, sehingga membuat kandungan lempung berkurang dan fraksi pasir bertambah. Seperti yang dijelaskan dalam hasil uji gradasi butiran, bahwa bertambahnya fraksi pasir karena reaksi silika tanah dengan *coal ash (fly ash dan bottom ash)* menyebabkan terjadinya proses sementasi yang lebih banyak, sehingga butir-butir tanah terbentuk menjadi gumpalan yang lebih besar akibatnya tanah campuran menjadi bersifat seperti tanah pasiran berbutir halus. Makin halus butir tanah pasiran itu, makin rendah berat isi kering maksimumnya, kadar air optimumnya tinggi, dan makin landai grafik pematatannya (Sosrodarsono, 2000). Bina Marga tidak memberikan persyaratan berat volume agregat, tetapi berat volume agregat erat kaitannya dengan sifat bahan yang lain, Dalam setiap pemeriksaan bahan susun lapis perkerasan jalan. Melalui berat volume kering juga dapat diperkirakan sifat porus suatu bahan butiran. Besar kecilnya berat volume bahan batuan juga dipengaruhi oleh komposisi kandungan mineralnya, karena jenis-jenis mineral yang banyak terkandung dalam batuan mempunyai berat molekul yang berbebeda. Nilai kadar air optimum pemeriksaan kepadatan menggambarkan bahwa nilai kadar air pada pemeriksaan kepadatan dan pemeriksaan CBR tidak selalu mempunyai nilai yang sama. Hasil pemeriksaan berat volume adalah masing-masing bahan susun benda uji mempunyai berat volume yang berbeda. Kenyataan yang harus diperhatikan dari data adalah kualitas bahan. Teori tentang hal ini telah dikemukakan oleh Das (1988), bahwa jenis bahan (meliputi ukuran dan bentuk butiran, berat volume kering maksimum dan kadar air optimum) berpengaruh besar terhadap nilai kadar air optimum ( $\gamma_w$ ) dan berat unit kering ( $\gamma_d$ ).

Tabel 7. Mineral lempung

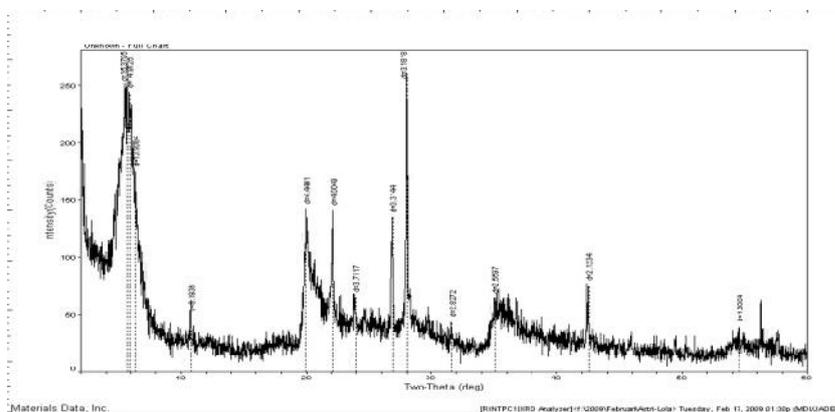
Mineral	Intensitas (%)
<i>Sepiolite</i>	1,468
<i>K-feldspare</i>	9,596
<i>Anhydrite</i>	2,150
<i>Kuarsa (SiO<sub>2</sub>)</i>	52,438
<i>Apophillite</i>	1,940
<i>Epidiote</i>	1,888
<i>Antigorite</i>	8,967
<i>Kaolinite</i>	3,356
<i>Manganite</i>	2,465
<i>Chamosite</i>	4,405
<i>Aragonite</i>	2,465
<i>Quartz, low</i>	5,087

Tabel 8. Kandungan mineral dalam *fly ash*

Mineral	Intensitas (%)
<i>Smectite (montmorillonite)</i>	13,192
<i>Nontronite</i>	11,287
<i>Leyhite</i>	2,085
<i>Halloysite</i>	10,746
<i>Zunyite</i>	8,400
<i>Witherite</i>	2,446
<i>Kuarsa</i>	8,661
<i>Plagioklas disordered</i>	20,048
<i>Fayalite</i>	1,985
<i>Kaolin minerals</i>	3,889
<i>Serpentine group</i>	4,972
<i>Rutile (graphite)</i>	1,804

Tabel 9. Kandungan mineral dalam *bottom ash*

Mineral	Intensitas (%)
<i>Rozenite</i>	2,282
<i>Sepiolite</i>	8,333
<i>K-feldspar</i>	2,629
<i>Silicon oxide (SiO<sub>2</sub>)</i>	49,603
<i>Plagioclase</i>	6,250
<i>Apophyllite</i>	2,629
<i>Hornblende</i>	4,812
<i>Epidiote</i>	2,083
<i>Chamosite</i>	7,837
<i>Talc</i>	3,423
<i>Vaterite</i>	3,869



Gambar 6. Grafik hasil uji difraksi sinar X (XRD) pada tanah asli Soko

#### d. California Bearing Ratio (CBR)

Pada uji nilai *California Bearing Ratio* (CBR) dengan dua variasi campuran *subbase* ternyata nilai *California Bearing Ratio* (CBR) tanpa rendaman semuanya masuk dalam spesifikasi dari Bina Marga untuk lapisan *subbase* yaitu minimum 35%.

Pada kondisi rendaman Variasi I tidak memenuhi spesifikasi CBR kondisi kritis sebesar 35%, sedangkan Variasi II memenuhi spesifikasi. Hal ini disebabkan karena pengaruh dari tanah lempung plastisitas tinggi, apabila terendam air akan bereaksi dan menyebabkan pengembangan pada campuran. Nilai CBR rendaman

dengan variasi yang menggunakan *coal ash* mengalami peningkatan dibanding campuran awal tanpa penggantian material nilai CBR rendaman awal.

Dapat disimpulkan bahwa penggunaan *coal ash* sudah lebih bagus karena dapat memperbaiki sifat-sifat campuran dan menaikkan nilai CBR walaupun nilai CBR rendaman tidak memenuhi spesifikasi CBR pada kondisi kritis sebesar minimum 35%. Pada campuran yang menggunakan *coal ash brick* keseluruhan variasi memenuhi spesifikasi pada kondisi kritis sebesar min 35%. Pengembangan yang terjadi setelah perendaman 4x24 jam adalah tidak terlalu besar, dapat dikatakan

tidak terjadi swelling pada bahan susun benda uji, karena pada campuran bagian udara akan terisi oleh air, tetapi bagian padat tidak terpengaruh oleh infiltrasi air. Hal ini sesuai dengan sifat dari bahan non plastis yang umumnya memang demikian. Sehingga penggunaan *fly ash + bottom ash* yang dikemas dalam bentuk *brick* dapat digunakan sebagai pengganti kerikil dan mempunyai nilai yang memenuhi persyaratan CBR untuk CBR rendaman dan CBR tanpa rendaman.

#### e. Pengaruh Uji Logam Berat Terlarut

Uji ini bertujuan untuk mengetahui kadar logam terlarut pada campuran *subbase* agar tidak melebihi ambang batas limbah berbahaya seperti yang

disyaratkan pada PP No. 20 tentang limbah berbahaya B3, seperti *coal ash* merupakan salah satu limbah berbahaya. Pengujian kandungan logam berat terlarut didapatkan berdasarkan pengujian yang dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) Universitas Gadjah Mada. Kandungan logam berat yang diduga terdapat dalam *coal ash* dan *paving block brick* yakni Zn, Mn, Pb, Cu, Fe, dan Mg. Campuran optimal pada campuran *subbase* yang menggunakan *coal ash* yaitu pada Campuran IA (10:50:10:30), dan yang menggunakan *coal ash brick* yaitu pada Campuran IIA (10:50:40) 10 FA. Uji sampel seberat 5 gram direndam dalam akuades 100 ml selama 36 jam dengan kadar pH 6,5.

Tabel 10. Komposisi kimia tanah asli dan *coal ash*

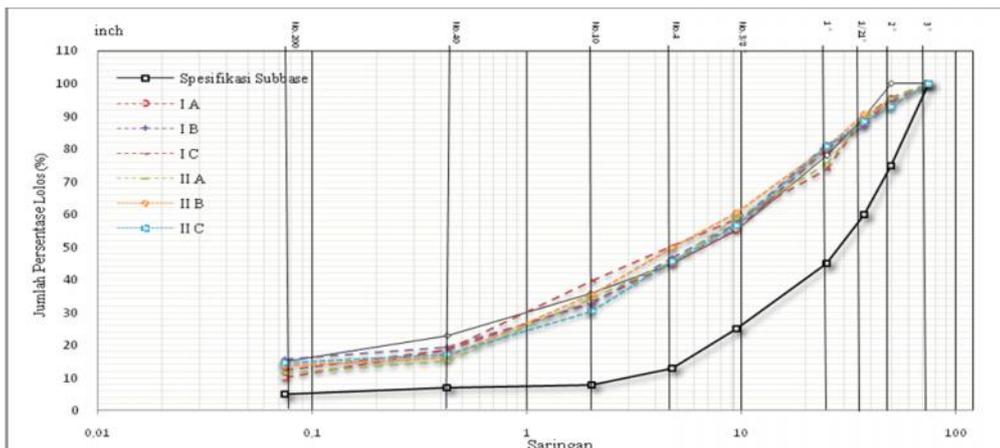
Unsur	Tanah asli (%)	Fly ash (%)	Bottom ash (%)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,593	22,758	23,445
CaO	1,100	1,035	0,304
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,260	3,990	1,347
MgO	0,505	0,502	0,121
Na <sub>2</sub> O	0,407	0,301	0,259
K <sub>2</sub> O	0,203	0,643	0,531
SiO <sub>2</sub>	48,599	70,102	72,327
LOI	10,649	1,238	2,176

Tabel 11. Hasil uji agregat

No	Parameter	Hasil	
1.	Kadar Air	a. Kerikil	3,77 %
		b. Pasir	4,71 %
		c. Fly Ash	88,75%
		d. Bottom Ash	12,53%
		e. Pasir	2,835%
2.	Berat Satuan	a. Kerikil	1,768 kg/lit
		b. Pasir	1,736 kg/lit
		c. Fly Ash	0,531 kg/lit
		d. Bottom Ash	1,444 kg/lit
3.	Gradasi	a. Kerikil	Gradasi B
		b. Pasir	Gradasi II
		c. Fly Ash	-
		d. Bottom Ash	Gradasi III
4.	Abrasi	a. Kerikil	47,40 %
		b. Pasir	-
		c. Fly Ash	-
		d. Bottom Ash	-

Tabel 12. Hasil uji abrasi *paving block brick*

No	Bahan	Hasil Uji (%)
1	20 FA 1:6	52,85
2	30 FA 1:6	64,05
3	30 BA 1:6	58,65
4	50 BA 1:6	57,45
5	10 FA 1:4	47,80
6	20 FA 1:4	50,95
7	25 BA 1:4	48,30
8	50 BA 1:4	54,35

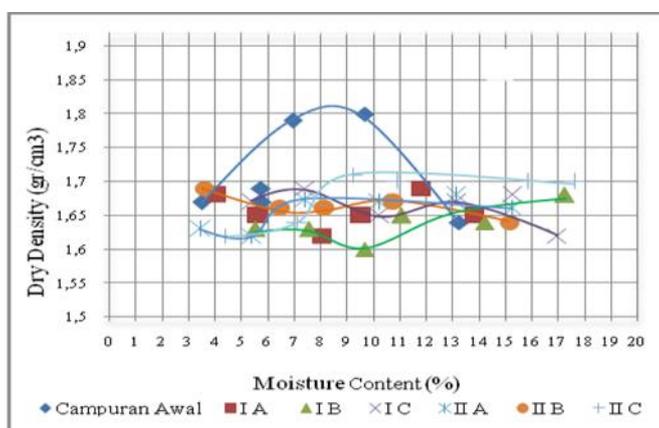


Gambar 7. Grafik analisa saringan pada campuran subbase

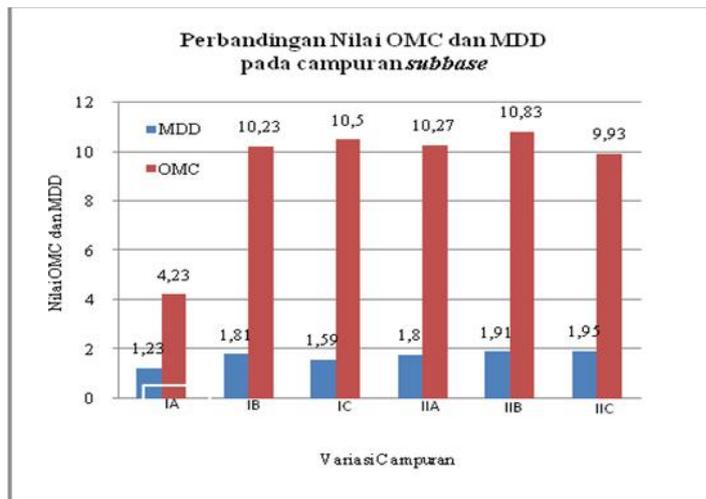
No	Variasi	Kode Campuran	Variasi Campuran
1	I (Tanah + Kerikil+Fly Ash+Bottom Ash)	I A	10:50:10:30
		I B	10:50:15:25
		I C	10:50:20:20
2	II (Tanah + Paving Block Brick + Paving Block Halus)	II A	10:50:40 (10 FA)
		II B	10:50:40 (20 FA)
		II C	10:50:40 (25 BA)

Dari hasil uji *leaching* dan kandungan logam berat metode AAS, maka di dapatkan bahwa logam berat tidak terdapat pada komposisi optimal campuran *subbase* yang menggunakan *coal ash* dan *paving block*. Hal ini, karena benda uji tersebut sulit pecah jika direndam dalam air sehingga logam berat tidak terlarut dalam air. Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.20 tahun 1990 kandungan yang terlarut masih di bawah ambang batas. Uji *leaching* yang dilakukan yaitu terhadap variasi campuran yang paling optimum atau yang memiliki nilai CBR terbesar. Campuran optimum pada campuran *subbase* yang

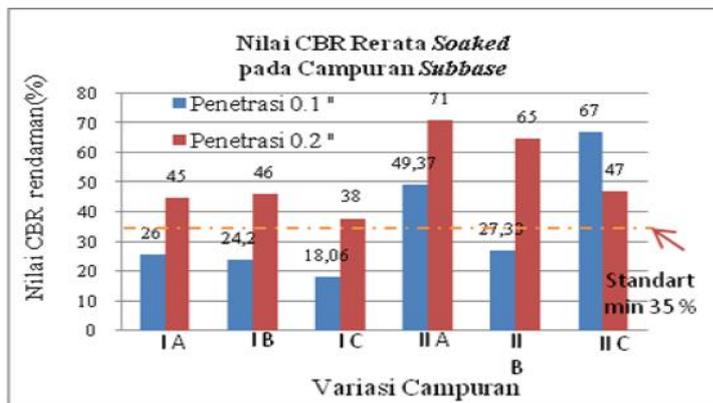
menggunakan *coal ash* yaitu pada Campuran IA (10:50:10:30), dan yang menggunakan *coal ash bricks* yaitu pada Campuran II A (10:50:40) 10 FA. Dari hasil uji *leaching* dan kandungan logam berat metode AAS, maka didapatkan bahwa logam berat tidak terdapat pada komposisi optimal campuran *subbase* yang menggunakan *coal ash* dan *coal ash brick*. Hal ini, karena benda uji tersebut sulit pecah jika direndam dalam air sehingga logam berat tidak terlarut dalam air. Dalam aplikasi di lapangan diperlukan pemantauan yang terus menerus untuk mengetahui dampak lingkungan dalam jangka panjang.



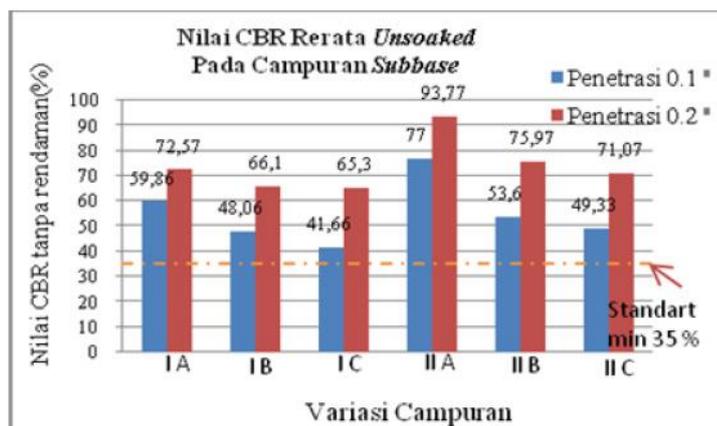
Gambar 8. Grafik hubungan  $\gamma_d$  dengan  $\gamma_w$  pada campuran Subbase pada masing-masing pemadatan



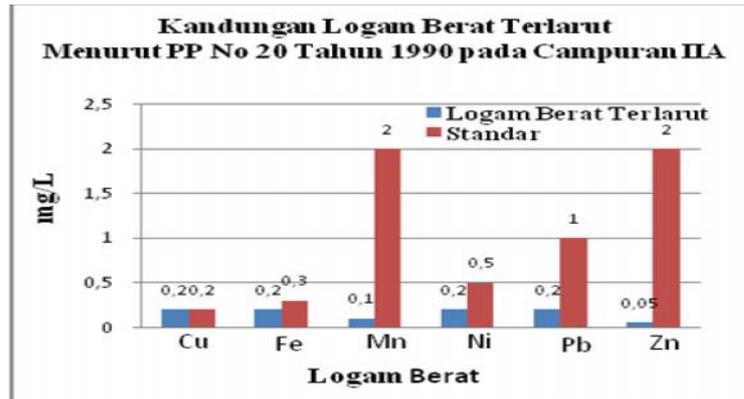
Gambar 9. Grafik hubungan  $\gamma_d$  dengan  $\gamma_w$  pada campuran subbase



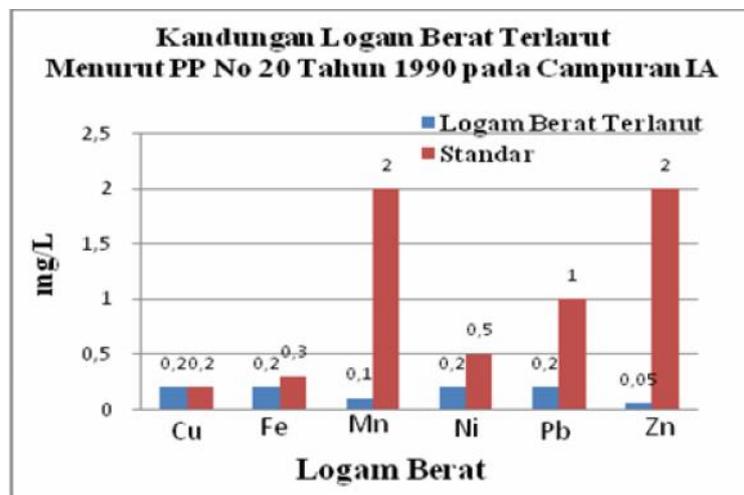
Gambar 10. Nilai CBR rerata Soaked pada campuran subbase



Gambar 11. Nilai CBR rerata unsoaked pada campuran Subbase



Gambar 12. Kandungan logam berat terlarut menurut PP No 20 tahun 1990 pada campuran IA



Gambar 13. Kandungan Logam Berat Terlarut Menurut PP No 20 Tahun 1990 pada Campuran IIA

## KESIMPULAN DAN SARAN

### 1. Kesimpulan

- Berdasarkan uji *indeks properties*, tanah termasuk tanah lempung plastis tinggi dengan nilai CBR 3,437 dan nilai *plasticity index* 66,51%. Hasil uji pada lapisan *subbase* adalah tanah pada kondisi jelek, tetapi setelah di campur dengan bahan limbah *coal ash* dan *paving block brick* masih dapat meningkatkan CBR *subbase*.
- Uji abrasi *paving block brick*, meskipun tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga sebesar maks 40%, tetapi masih dapat meningkatkan nilai CBR *subbase*.
- Pemeriksaan batas konsistensi yang dilakukan meliputi pemeriksaan batas cair, batas plastis dan batas susut. Uji pada campuran *subbase* adalah nilai batas cair, batas plastis dan batas susut tidak terukur.
- Uji analisa saringan pada campuran *subbase* menggunakan variasi *coal ash* dan *paving block brick* adalah hampir keseluruhan campuran *subbase* tidak masuk dalam gradasi butiran ini disebabkan kandungan kerikil dan *paving block brick* hampir sama dengan kandungan *coal ash*.
- Penggunaan *coal ash* dan *paving block brick* pada uji pemadatan mengakibatkan nilai berat volume kering ( $\gamma_d$ ) maksimum menurun dan peningkatan kadar air optimum ( $\gamma_w$ ). Hal ini mungkin disebabkan pengaruh pemakaian *coal ash* pada campuran, sehingga membuat kandungan lempung berkurang dan fraksi pasir bertambah.
- Berdasarkan hasil penelitian, keseluruhan nilai CBR *unsoaked* untuk semua variasi campuran *subbase* memenuhi spesifikasi yang telah disyaratkan untuk *subbase* yaitu minimum 35% dari campuran awal 39,835%. Nilai *California Bearing Ratio* (CBR) *soaked* untuk variasi I yaitu Campuran IA (10:50:10:30), Campuran IB (10:50:15:25), dan Campuran IC (10:50:20:20) tidak memenuhi spesifikasi nilai CBR pada kondisi kritis sebesar min 35%.
- Variasi yang cocok digunakan sebagai campuran *subbase* sebagai pengganti pasir adalah Campuran IA (10:50:10:30) dengan nilai CBR *unsoaked* 41,39 % dan nilai CBR *soaked* 26,45%. Sedangkan variasi yang cocok digunakan sebagai campuran *subbase*

sebagai pengganti kerikil adalah Campuran IIA variasi 10:50:40 (10 FA) dengan nilai CBR *unsoaked* 75% dan nilai CBR *soaked* 48,50 %.

- h. Hasil uji *Leaching* adalah logam berat yang terdapat pada campuran *subbase* optimum tidak melebihi ambang batas yang syaratkan PP No.20 Tahun 1990.
- i. Dapat disimpulkan bahwa penggunaan *fly ash* dan *bottom ash* yang dikemas dalam bentuk *brick* dapat digunakan sebagai pengganti kerikil dan mempunyai nilai yang memenuhi persyaratan CBR untuk CBR rendaman dan CBR tanpa rendaman, sehingga limbah *coal ash* dapat di manfaatkan sebagai bahan substitusi pada lapisan *subbase* tanpa mencemari lingkungan.

## 2. Saran

- a. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, uji pemadatan untuk butiran kasar tidak perlu dilakukan, karena kadar air optimum pada pemadatan sulit diperoleh, sebaiknya langsung dilakukan uji CBR.
- b. Pemeraman pada sampel CBR sebaiknya dilakukan lebih dari 24 jam untuk memperoleh hasil kadar air yang lebih merata.

## DAFTAR PUSTAKA

Al-Rawas, A.A., dan Goosen, F.A., 2006, *Expansive Soils (Recent advances In characterization and treatment)*, Taylor & Francis Group, London.

ASTM, 2003, *Annual Books of ASTM Standards, Contruction, Concrete & Agregates, vol 04.02* , Philadelphia – USA.

ASTM, 2007, *Annual Books of ASTM Standards, Contruction, Soil & Rock (I): D 420 – D 5611, vol 04.08* , Philadelphia – USA.

Bina Marga, 2007, *General Specification*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.

Chen, F.H., 1975, *Foundations on Expansive Soil*, Elsevier Science Publishing Company, New York.

Das, B.M., 2006, *Principles Of Geotechnical Engineering*, 6<sup>th</sup> Edition, Thomson, U.S.A.

Departement of the Army, the Navy, and the Air Force, 1994, *Soil Stabilization For Pavement*, Technical Manual No. 5-822-14/AFJMAN 32-1019, DC, Washington.

Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2002, *Metode, Spesifikasi dan Tata Cara (Bagian 2 : Batuan, Sedimen, Agregat)*, Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Kimpraswil, Bandung.

Hardiyatmo, H.C., 2006, *Mekanika Tanah I*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Lambe, T.W and Whitman, R.V., 1969, *Soil Mechanics*, SI Version, Jhon Wiley & Sons, New York.

Mulyani,S., 2006, *Stabilisasi Tanah Lempung dengan Menggunakan Abu Terbang danKapur*, Tesis, Tidak dipublikasikan, Program Studi Teknik Sipil Jurusan Ilmu-Ilmu Teknik, Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada,Yogyakarta.

Ramadita, D.D., 2008, *Pemanfaatan Styrofoam untuk Subbase Course di atas Tanah Lunak* Tesis, Tidak dipublikasikan, JurusanTeknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, UGM, Yogyakarta.

Senol, 2002, *Use of Class C Fly Ash for Stabilization of Soft Subbase*, Fifth International Congress on Advances In Civil Engineering 25-27 Sept 2002, Istanbul Technical University, Turkey.

Soedarsono, D. U., 1979, *Konstruksi Jalan Raya*, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta Selatan.

Sosrodarsono,S. and Nakazawa, K., 2000, *Mekanika Tanah dan Teknik Fondasi*, PT Pradnya Paramita, Jakarta.

Waller, 1993, *Coal bottom Ash/Boiler Slag-Material Description 2000*, <http://www.google.com>., Download 15 Desember 2008 jam 19.00 WIB.

Yoder, E.J., dan Witczak, M.W., 1975, *Principles of Pavement Design, 2<sup>nd</sup> Edition*, John Wiley & Sons, Inc, New York.