

PENGARUH PENGGUNAAN KAPUR DAN ABU TERBANG (*FLY ASH*) SEBAGAI PENGGANTI SEMEN UNTUK STABILITAS TANAH

EFFECT OF USING LIME AND FLY ASH AS A CEMENT SUBSTITUTE FOR SOIL STABILITY

Dias Dwi Hatmoko¹, Ahmad Rifa'i^{1*}, dan Sito Ismanti¹

¹Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia
Jalan Grafika Bulaksumur No.2, Senolowo, Sinduadi, Mlati, Sleman, Yogyakarta 55284, Indonesia

Email: diasdwi@hatmoko@mail.ugm.ac.id

*Email corresponding: ahmad.rifai@ugm.ac.id

Email: sito.ismanti@ugm.ac.id

Cara sitasi: D. D. Hatmoko, A. Rifa'i, dan S. Ismanti, "Pengaruh Penggunaan Kapur Dan Abu Terbang (*Fly Ash*) Sebagai Pengganti Semen Untuk Stabilitas Tanah," *Kurvatek*, vol. 9, no. 1, pp. 45-54, 2024. doi: [10.33579/krvtk.v9i1.4834](https://doi.org/10.33579/krvtk.v9i1.4834) [Online].

Abstrak — Tanah dasar sebagai lapisan paling bawah yang menerima beban di atasnya jika tidak memiliki daya dukung yang diijinkan maka perlu adanya stabilisasi tanah. Stabilisasi tanah secara kimiawi adalah yang sering dilakukan dengan melakukan penambahan semen namun penggunaan material semen akan memakan biaya yang cukup tinggi, maka diperlukan alternatif material lain untuk substitusi semen agar dapat mengurangi biaya pelaksanaan yang ditimbulkan. Penelitian ini akan dilakukan substitusi semen sebagai bahan stabilisasi dengan bahan tambah berupa kapur dan *fly ash*. Material tanah diambil dari Proyek Jalan Tol Sentul – Karawang STA 24+300, bahan stabilisasi berupa abu terbang (*fly ash*) dari PT PUSRI, dan bahan tambah kapur diperoleh dari pasaran yang ada di Yogyakarta. Penggunaan bahan stabilisasi dengan persentase kapur tetap dengan 4,2% dari berat kering tanah dan *fly ash* 1,4%; 2,1%; 2,8%; 3,5%; 4,2% dari berat kering tanah. Sampel tanah diuji sifat fisis dan mekanis lalu dibandingkan hasilnya untuk diambil satu variasi dan ditetapkan sebagai sampel *Optimum Mix Design* (OMD). Hasil pengujian sampel tanah + kapur 4,2% + *fly ash* 2,1% mendapatkan nilai CBR 15,52% meningkat sebesar 1078,02% yang dari awalnya 1,44% dan ditetapkan sebagai sampel OMD. Nilai CBR tersebut sudah masuk dalam syarat *subgrade* yaitu >6%.

Kata kunci: stabilisasi, tanah dasar, kapur, abu terbang, CBR

Abstract — *Subgrade is the lowest layer that receives the load on it if it does not have carrying capacity that is allowed then need for soil stabilization. Chemical soil stabilization is often done with the addition of cement but the use of cement material will cost quite high, it is necessary to alternate other materials for the substitution of cement to reduce the implementation costs incurred. Cement will be replaced as a stabilizing material in this research with additional materials like lime and fly ash. In this research, soil material was taken from the Sentul – Karawang Toll Road Project STA 24+300, with fly ash from PT PUSRI as the stabilization material, and lime material obtained from the market in Yogyakarta. The stabilization material will be used with a fixed lime percentage of 4.2% of the dry weight of the soil, and fly ash at 1.4%, 2.1%, 2.8%, 3.5%, and 4.2% of the dry weight of the soil. The soil samples were tested for physical and mechanical properties, including Standard Proctor and California Bearing Ratio (CBR). All test results were compared to select one variation, which was then designated as the Optimum Mix Design (OMD) sample. The test results of the soil sample + 4.2% lime + 2.1% fly ash yielded a CBR value of 15.52%, indicating an increase of 1078.02% from the initial 1.44%, and were formally designated as an OMD sample. The CBR value satisfies the subgrade requirements, namely >6%.*

Keywords: *stabilization, subgrade, lime, fly ash, CBR*

I. PENDAHULUAN

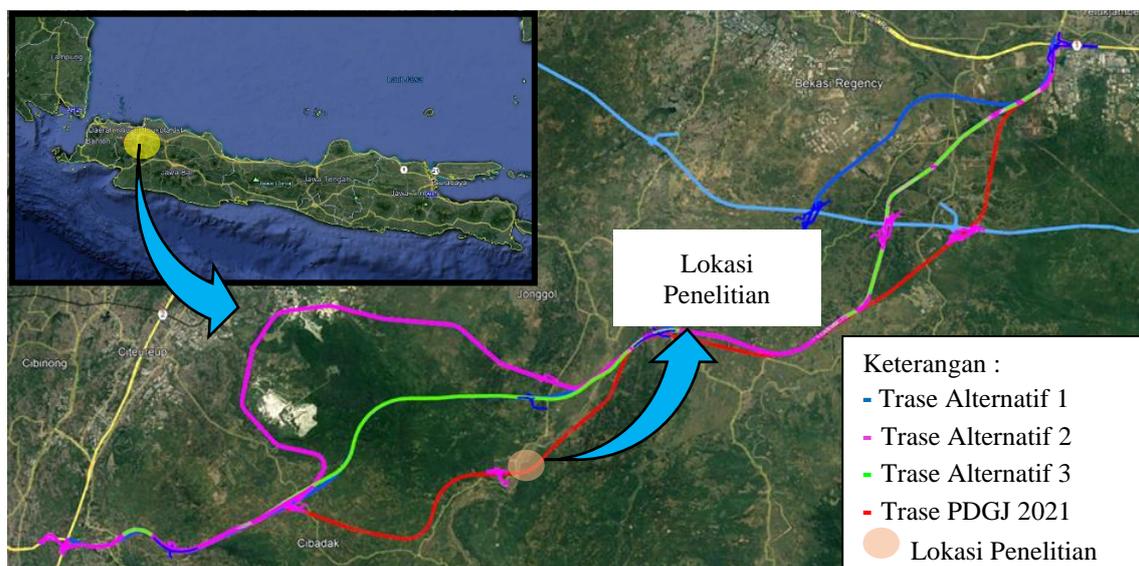
Konstruksi jalan pada jalan tol salah satunya dipengaruhi dari keberadaan tanah dasar yang akan menjadi lapisan tanah paling bawah pada konstruksi jalan. Lapisan tanah yang dikenal sebagai tanah dasar digunakan untuk menopang dan meletakkan lapisan perkerasan saat pembangunan perkerasan jalan baru. Jika tanah asli dipadatkan dengan benar, maka tanah tersebut dapat digunakan sebagai tanah dasar, namun jika tidak, maka tanah tersebut dapat ditimbun dengan tanah dari tempat lain atau distabilisasi dengan bahan

tambah seperti semen. Jenis dan daya dukung tanah dasar memiliki pengaruh besar terhadap kekuatan dan umur konstruksi perkerasan jalan. Sifat tanah ekspansif yang disebabkan oleh variasi persentase air dan kuat dukung tanah yang tidak sama yang disebabkan oleh variasi karakteristik tanah sering kali menjadi masalah pada tanah dasar.

Salah satu upaya untuk mengurangi masalah kerusakan struktur perkerasan jalan adalah dengan stabilisasi atau perbaikan tanah. Ada dua cara guna menstabilkan tanah dengan cara mekanis dan kimiawi [2]. Tanah dapat distabilisasi secara mekanis, dicampur dengan material tanah lain dengan gradasi yang berbeda-beda untuk memenuhi syarat tertentu, atau diganti dengan cara menggali atau mengganti material tanah yang kurang layak dengan material yang lebih baik. Stabilisasi tanah secara kimiawi, yang melibatkan penggabungan material tanah dengan berbagai tambahan seperti kapur, abu terbang, *portland cement* (PC), dan lain-lain.

Stabilisasi merupakan usaha untuk meningkatkan atau memperbaiki kondisi tanah yang kuat dukungnya rendah, serta memperbaiki sifat teknis tanah. Stabilisasi dengan cara kimiawi yang sering dilakukan dengan menggunakan penambahan semen. Penggunaan material semen sering digunakan dikarenakan material semen yang mudah didapat dimana saja, namun penggunaan semen dari segi ekonomi memiliki kerugian. Penggunaan material semen akan memakan biaya yang cukup tinggi dan kurang ramah lingkungan, maka diperlukan alternatif material lain untuk substitusi semen agar dapat mengurangi biaya pelaksanaan yang ditimbulkan [9].

Solusi pemanfaatan *fly ash* limbah batu bara dan kapur sebagai bahan tambah untuk stabilisasi tanah guna memberikan manfaat permasalahan mengatasi tanah lunak. Disamping memanfaatkan limbah batubara, penggunaan kapur juga dianggap lebih ekonomis dibanding harga semen. Pada penelitian ini material tanah diambil dari Proyek Jalan Tol Sentul – Karawang STA 24+300 (Gambar 1), bahan stabilisasi berupa abu terbang (*fly ash*) dari PT PUSRI, dan bahan tambah kapur diperoleh dari pasaran yang ada di Yogyakarta. Dengan demikian diharapkan pemanfaatan abu terbang (*fly ash*) yang saat ini tidak mempunyai nilai ekonomis dan penggunaan kapur yang relatif lebih murah dibanding semen maka pencampuran ini berkontribusi dari sisi pemanfaatan limbah dan menaikkan nilai ekonomi limbah.



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel tanah.

II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan dengan pengambilan sampel tanah yang berada pada Proyek Jalan Tol Sentul – Karawang (SeKar) STA 24+300 dan pengambilan sampel *fly ash* dari PT Pupuk Sriwidjaja. Setelah kedua sampel terkumpul maka dilanjutkan penelitian di Laboratorium Mekanika Tanah untuk mendapat sifat fisis dan mekanis dari sampel tanah dan di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu (LPPT) Universitas Gadjah Mada untuk mengetahui kandungan dari *fly ash*.

Penelitian yang dilakukan terhadap tanah asli untuk mengetahui sifat fisis tanah yang meliputi uji gravitas khusus (*specific gravity*), uji batas konsistensi (*atterberg limit*), dan uji gradasi butiran, sedangkan untuk mengetahui sifat mekanisnya dilakukan uji kepadatan dengan *proctor standard*, uji CBR, dan uji

potensi pengembangan. Pencampuran tanah dengan *fly ash* dan kapur, sesuai dengan variasi dari komposisi yang telah direncanakan dikerjakan sebelum penelitian dilakukan.

Komposisi campuran berdasar penggunaan semen sebagai acuannya sebesar 7% dari berat kering tanah. Substitusi semen 7% dari bahan tambah dengan variasi abu terbang (*fly ash*) 1,4%, 2,1%, 2,8%, 3,5% dan 4,2% dari berat kering tanah dan persentase kapur tetap sebanyak 4,2% dari berat kering tanah, untuk lebih jelasnya disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi variasi campuran

Variasi	Tanah (%)	Semen (%)	Kapur (%)	Fly Ash (%)
1	100	7	-	-
2	100	-	4,2	1,4
3	100	-	4,2	2,1
4	100	-	4,2	2,8
5	100	-	4,2	3,5
6	100	-	4,2	4,2

Pada uji kepadatan, diperoleh kadar air optimum (OMC) dan berat volume kering maksimum (MDD) dari masing-masing variasi campuran yang selanjutnya dijadikan pedoman untuk membuat benda uji pada uji CBR dan uji potensi pengembangan. Uji selanjutnya setelah sifat-sifat mekanis tanah campuran diketahui, dilakukan pemilihan *Optimum Mix Design* (OMD) yang memungkinkan dipilih berdasarkan syarat minimum CBR 6%.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Karakteristik dan Klasifikasi Tanah Asli

Karakteristik atau nilai parameter dari tanah asli yang diketahui berdasarkan hasil uji laboratorium berikut.

Tabel 2. Hasil uji laboratorium tanah asli

No.	Parameter	Hasil
A. Sifat-sifat fisis:		
1	Gravitas khusus, G_s	2,66
2	Batas cair, LL	45,39
3	Batas plastis, PL	21,18
4	Indeks Plastisitas, PI	24,21
5	Butiran lolos saringan no.200 (butir halus)	33,54
6	Butiran tertahan saringan no.200 (butir kasar)	66,46
7	Kadar air optimum (w_{opt})	18,50
8	Berat volume kering maksimum (γ_d^{maks})	1,68
B. Klasifikasi Tanah:		
1	USCS	SC
2	AASHTO	A-2-7
C. Sifat-sifat mekanis:		
1	Nilai CBR (<i>Soaked</i>):	
	Penetrasi 0,1"	1,44
	Penetrasi 0,2"	1,39
2	Aktivitas	2,84
3	CBR- <i>swelling</i>	3,13

Tampak dalam Tabel 2 nilai G_s adalah 2,66 dan nilai batas konsistensi yakni batas cair (LL) = 45,39%, batas plastis (PL) = 21,18%, dan indeks plastisitas (PI) diperoleh sebesar 24,21%, sehingga dapat disimpulkan bahwa, tanah asli SeKar termasuk jenis tanah kohesif dengan sifat plastisitas yang tinggi karena nilainya > 17% [4]. Gradasi butiran tanah asli SeKar dari hasil uji hidrometer diketahui mengandung *silt/clay* sebanyak 33,54%.

Hasil analisis hidrometer tanah asli yang tampak dalam Tabel 2, diketahui bahwa lebih dari 50% dari tanah, tertahan saringan diameter 0,075 mm (nomor 200), tepatnya 66,46%, dengan nilai indeks plastisitas sebesar 24,21%, dan batas cair sebesar 45,39%, maka tanah akan masuk dalam kelas tanah dengan kerikil

banyak butiran halus dengan sifat plastis yang relatif sedang (SC), apabila dikaitkan dengan grafik USCS. Sedangkan apabila dibandingkan menggunakan klasifikasi berdasarkan AASHTO, tanah teridentifikasi berada dalam grup A-2-7.

Jenis tanah SC, bahan stabilisator yang dianjurkan adalah *fly ash*, semen dan kapur [13]. *Fly ash*, semen dan kapur cocok untuk tanah dengan PI kurang dari 25%. Pada kondisi di lapangan, ketersediaan semen lebih tinggi dibandingkan kapur dan juga *fly ash*. Namun karena penelitian ini dimaksudkan untuk mengurangi penggunaan semen dalam hal memperbaiki kondisi tanah yang kuat dukungannya rendah dengan memanfaatkan limbah yang banyak dijumpai, maka digunakan *fly ash* dan kapur sebagai bahan substitusi dari semen.

Kadar lempung dari tanah asli adalah sebesar 8,51%, apabila nilai itu dibandingkan dengan indeks plastisitas akan didapatkan nilai aktivitas (A) dengan besaran 2,84. Nilai tersebut masuk dalam kelas potensi pengembangan yang sedang pada lempung apabila di plotkan pada klasifikasi yang dibuat [4]. Nilai CBR tanah asli pada kondisi *soaked* berdasarkan hasil uji laboratorium diperoleh sebesar 1,44%. Berdasarkan standar nilai CBR $\geq 6\%$ sesuai klasifikasi [8], pada lapisan *subgrade* termasuk pada kondisi buruk [6]. Nilai CBR-*swelling* pada tanah adalah 3,13%, berdasarkan klasifikasi perubahan tanah dasar untuk timbunan (Look et al., 1994), tanah asli tersebut tidak cocok langsung dibawah perkerasan, maka perlu dilakukan perbaikan terhadap tanah asli tersebut.

Perbaikan yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu dengan menstabilisasi tanah asli dengan *fly ash* dan kapur sebagai bahan substitusi semen. Untuk menekan biaya perbaikan pada tanah asli dan untuk menaikkan nilai *fly ash* dan kapur dari segi ekonomis, maka dilakukan substitusi persentase pada semen dengan menggunakan *fly ash* dan kapur.

B. Karakteristik Fly Ash

Material *fly ash* didapat dari PT Pupuk Sriwidjaja (PUSRI) Palembang. Material *fly ash* sesuai PP RI No. 22 Tahun 2021 tergolong Limbah Non B3 jika melihat dari kegiatan PLTU atau Pembangkit yang berasal dari selain *stocker boiler*. Pabrik STG-BB PT PUSRI Palembang saat ini termasuk dalam PLTU *non stocker boiler* sehingga limbah *fly ash* dapat dimanfaatkan. Hasil uji LPPT UGM mengenai kandungan kimia pada *fly ash* seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Kandungan kimia *fly ash*

Komponen	Hasil	Satuan
Al ₂ O ₃	21,35	mass%
SiO ₂	57,19	mass%
SO ₃	0,746	mass%
K ₂ O	1,395	mass%
CaO	3,762	mass%
TiO ₂	1,359	mass%
MnO	0,170	mass%
Fe ₂ O ₃	13,484	mass%
NiO	806	mg/kg
CuO	386	mg/kg
ZnO	842,6	mg/kg
Rb ₂ O	148,5	mg/kg
SrO	0,151	mass%
ZrO ₂	0,099	mass%
BaO	727	mg/kg
Na ₂ O	3453,69	mg/kg
MgO	4832,63	mg/kg

Jumlah akumulasi SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ = 57,19% + 21,35% + 13,48% = 92,02% > 70% ; Kadar CaO = 3,76% < 10% ; Kadar MgO = 0,05% < 5% ; Kadar SO₃ = 0,75% < 5% , maka sesuai ASTM C 618-78 dimana *fly ash* yang digunakan termasuk klasifikasi kelas F karena persentase CaO tidak lebih dari 10% [1]. *Fly ash* dapat digunakan sebagai bahan stabilisasi karena memenuhi syarat sebagai bahan pozzolan. Dari hasil pengamatan visual, *fly ash* yang digunakan pada penelitian memiliki butiran halus dan berwarna abu-abu mirip seperti semen. Berdasarkan uji saringan, 97% *fly ash* lolos saringan nomor 200 atau memiliki

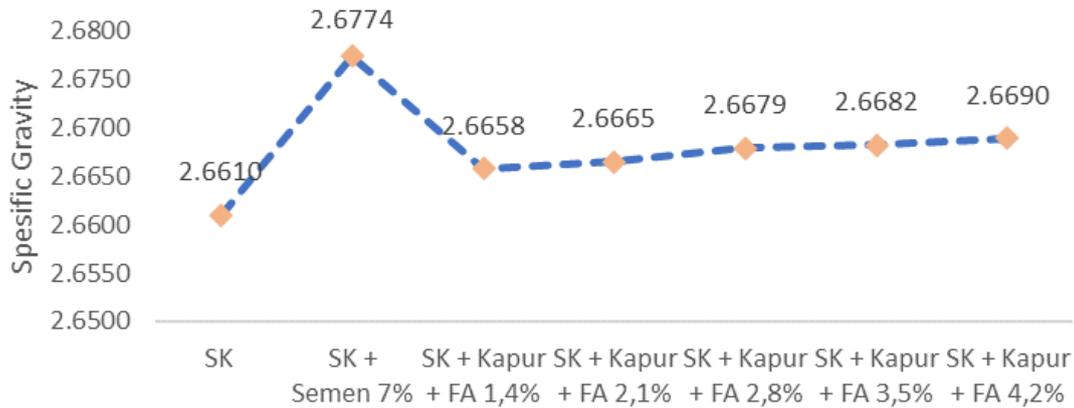
diameter kurang dari 0,0075 mm. Karena sudah memenuhi syarat sebagai bahan *pozzolan*, dapat diambil kesimpulan bahwa *fly ash* dapat dipakai untuk bahan stabilisasi.

C. Pengaruh Stabilisasi Tanah Dasar Dengan Campuran Kapur dan Fly Ash

Penelitian dilakukan terhadap campuran dengan variasi kapur tetap 4,2% dan *fly ash* 1,4%; 2,1%; 2,8%; 3,5% dan 4,2%. Sifat fisis diketahui dari pengujian yang meliputi uji gravitas khusus, uji batas konsistensi, dan uji gradasi butiran. Sedangkan sifat mekanis didapatkan dari pengujian yang meliputi uji kepadatan dan uji CBR. Hasil uji tersebut selengkapnya dapat dilihat dalam lampiran.

1. Gravitas Khusus (G_s)

Hasil pengujian nilai gravitas khusus dapat dilihat pada Gambar 2.

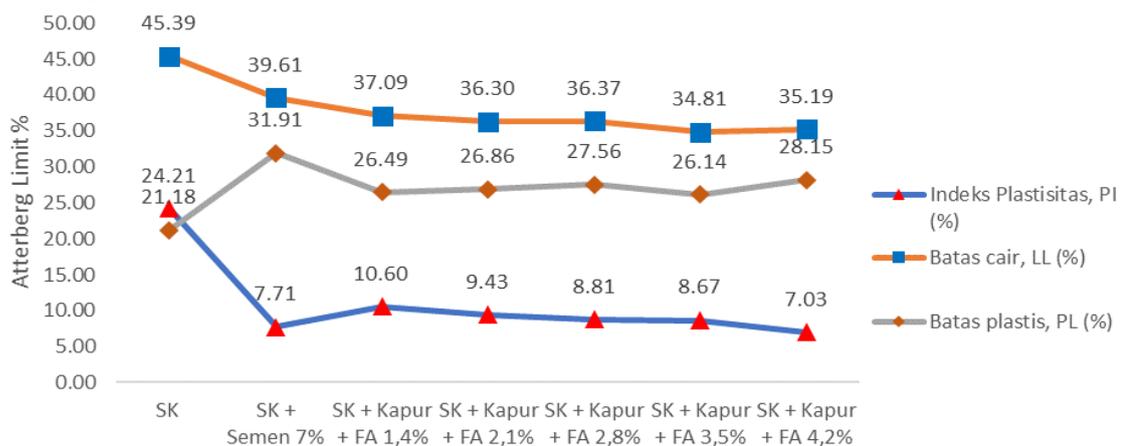


Gambar 2. Nilai G_s sampel uji

Hasil pengujian gravitas khusus pada masing – masing sampel menunjukkan kenaikan nilai, terutama pada sampel SK + Semen 7% sebagai acuan yaitu 2,6774. Pada pengujian sampel substitusi semen dengan kapur dan *fly ash* menunjukkan kenaikan hasil dari sampel SK + Kapur + FA 1,4% sampai dengan SK + Kapur + FA 4,2%. Hasil sampel dengan menggunakan bahan tambah kapur dan *fly ash* menunjukkan hasil lebih tinggi dari sampel tanah asli namun tidak sampai melebihi nilai dengan penambahan semen. Peningkatan nilai gravitas khusus akan terjadi dengan penambahan *fly ash* namun tidak mendapatkan kenaikan yang signifikan. Hal ini terjadi karena *fly ash* dan kapur belum dapat menggantikan semen sepenuhnya, namun dapat meningkatkan nilai gravitas khususnya.

2. Batas Konsistensi

Pengujian batas konsistensi dilakukan untuk mengetahui perubahan pada tingkat keplastisan yang terjadi dengan ditambahkan bahan stabilisasi pada tanah. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil pengujian batas konsistensi.

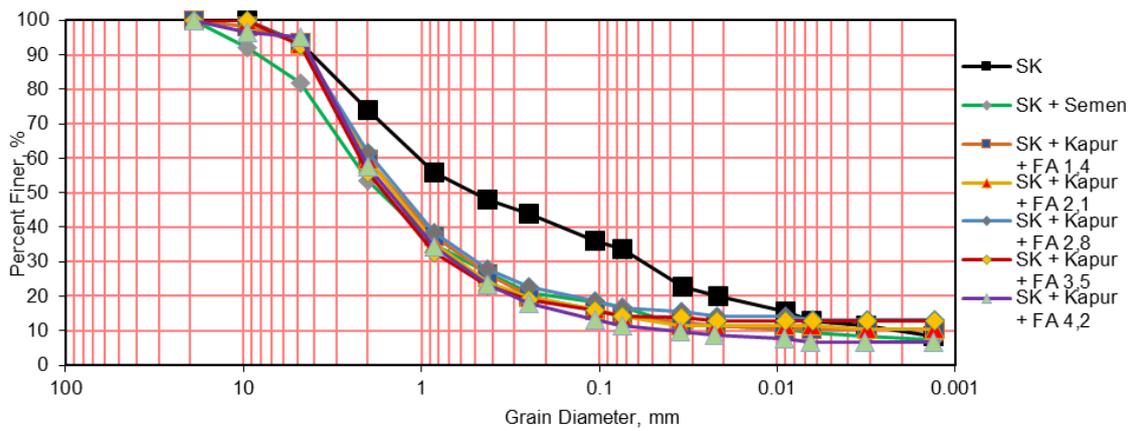
Anion dari partikel tanah menarik kation dari partikel *fly ash*, dan kation dari partikel *fly ash* menarik anion dari partikel air lapisan ganda yang mengelilingi partikel tanah (proses pertukaran ion) serta air lapisan ganda yang paling dalam (air resapan) [9]. Proses tersebut disebabkan oleh campuran *fly ash* di dalam tanah. Daya tarik antar partikel tanah yang berkurang, karena adanya penambahan *fly ash* dan kapur,

dapat menurunkan nilai kohesinya, dan mengakibatkan partikel tanah mudah terlepas dari ikatannya (cenderung bersifat kepasiran). Menurunnya nilai kohesi, maka nilai batas cair (LL) juga akan menurun. Berkurangnya butiran lempung tergambar dari menurunnya indeks plastisitas. Penurunan indeks plastisitas pada masing – masing sampel campuran *fly ash* dan kapur tidak sebesar dengan campuran semen dari tanah asli, walaupun indeks plastisitas tanah campuran berkurang, tanah tersebut masih memiliki batas plastis yang tinggi.

Hasil pengujian tersebut terjadi kenaikan pada nilai batas plastis yang ditimbulkan dari material pasir yang dapat membentuk kadar air tanah yang dibutuhkan menjadi lebih banyak untuk merubah tanah dari kondisi semi padat menjadi plastis. Semakin tinggi persentase dari *fly ash* sebagai bahan pozzolan maka nilai batas plastis juga akan semakin tinggi. Material pasir mengisi ruang-ruang dalam tanah sehingga menyebabkan ikatan tanah agak longgar, tidak mengikat air, dan mudah dilalui air sehingga menurunkan hasil nilai batas cair dan indeks plastisitas, sehingga kualitas plastisitas tanah dapat dikontrol dengan mengikatnya dengan bahan pozzolan.

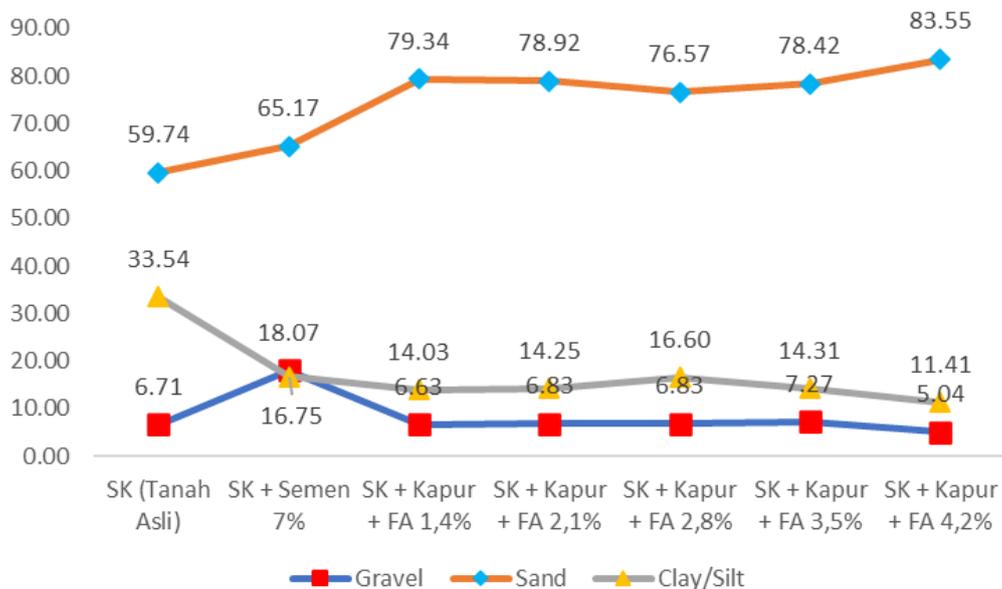
3. Gradasi Butiran Tanah

Hasil uji gradasi butiran tanah dengan penambahan *fly ash* dan kapur disajikan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Grafik pengaruh *fly ash* dan kapur terhadap gradasi butiran.

Dari hasil uji tersebut terlihat bahwa terjadi perubahan komposisi fraksi tanah yaitu berkurangnya fraksi *clay/silt* dan bertambahnya fraksi *sand* dalam campuran. Persentase dari masing – masing sampel uji dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Persentase gradasi butiran.

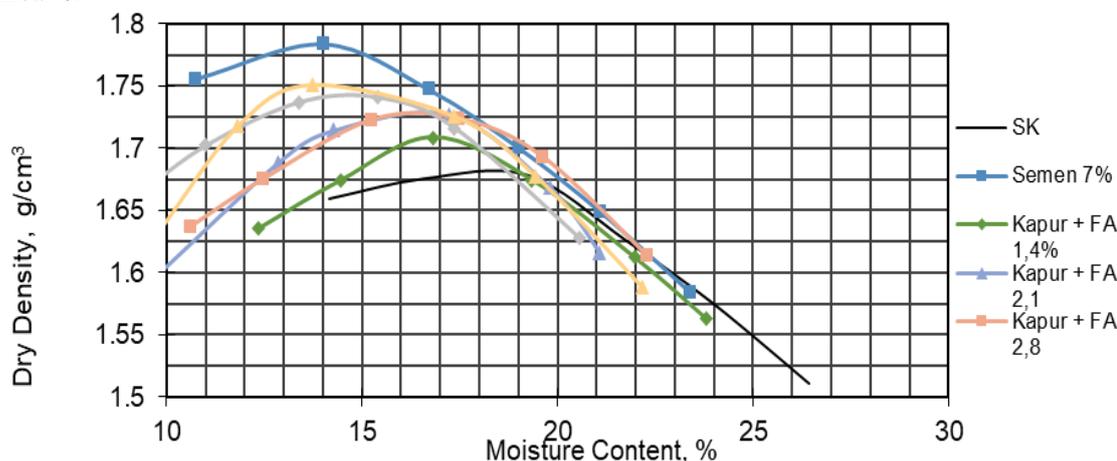
Dari persentase gradasi butiran yang ditampilkan pada gambar 5.7 menunjukkan bahwa penggunaan semen 7% sebagai acuan memberikan hasil fraksi gravel naik dari 6,71% pada tanah asli menjadi 18,07% dan fraksi sand dari awalnya 59,74% menjadi 65,17% dengan penambahan semen 7%. Sedangkan

penggunaan *fly ash* dapat mempengaruhi persentase fraksi sand yang awalnya pada tanah asli 59,74%, setelah ditambahkan *fly ash* 1,4% dan kapur menjadi 79,34%. Kenaikan fraksi sand ini juga linier dengan seiring penambahan kadar *fly ash* hingga 4,2%. Fraksi *clay/silt* menunjukkan penurunan dengan semakin bertambahnya kadar *fly ash*, yang semula pada tanah asli 33,54% menjadi 14,03% pada penambahan *fly ash* 1,4% dan kapur. Berkurangnya fraksi *clay/silt* disebabkan oleh terjadinya penurunan nilai kohesi tanah, sedangkan bertambahnya fraksi sand, sebab reaksi silika yang terkandung pada tanah dan *fly ash* mengakibatkan terjadinya proses sementasi.

Semakin tinggi nilai substitusi semen dengan *fly ash* dan kapur yang digunakan, semakin kecil persentase lolos saringan nomor 200 pada setiap variasi sampel. Hal ini membuktikan dengan bertambahnya persentase *fly ash* menyebabkan proses sementasi meningkat. Fraksi *sand* yang terdapat pada sampel campuran akan mempengaruhi indeks plastisitas campuran. Dapat disimpulkan bahwa dengan bertambahnya fraksi *sand* pada campuran maka akan indeks plastisitas akan semakin kecil. Nilai indeks plastisitas tanah akan naik secara linear dengan bertambahnya fraksi lempung yang terkandung dalam tanah tersebut [7].

4. Pematatan Tanah

Uji *standard proctor* dilakukan sebelum uji CBR, Hal ini dilakukan untuk mendapatkan kadar air optimum (OMC) yang menghasilkan kepadatan kering maksimal (MDD). Pada uji kepadatan, sampel diperam selama 1 hari setelah dilakukan pematatan. Hal ini disesuaikan dengan proses pematatan yang nantinya akan diterapkan di lapangan. Hasil uji *standard proctor* pada seluruh sampel dapat dilihat pada Gambar 6.

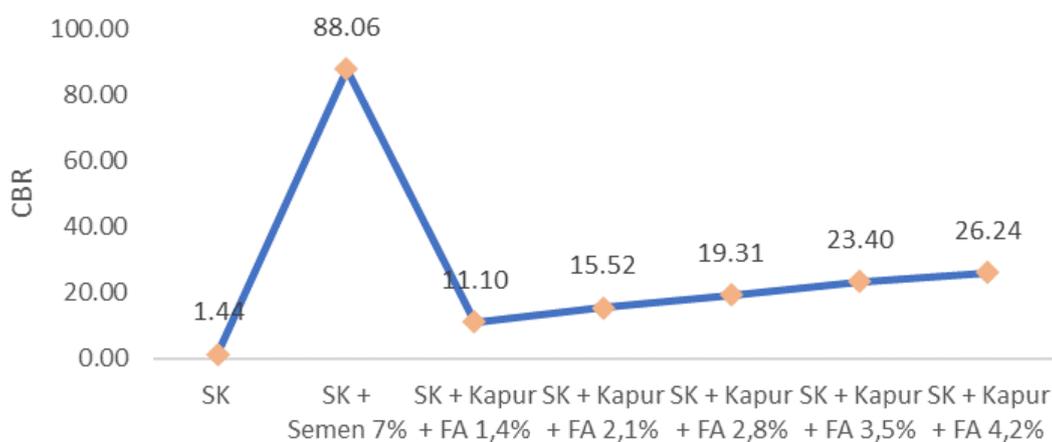


Gambar 6. Grafik hasil pematatan *proctor standard*.

Hasil pengujian pada seluruh sampel dapat diketahui bahwa dengan adanya penggunaan semen maupun penggunaan *fly ash* dan kapur sebagai pengganti semen memberikan pengaruh terhadap berat kering tanah dan kadar air optimum. Pada gambar diatas dapat dilihat sampel tanah asli dengan bahan tambah semen 7% yang telah diuji kepadatan bahwa terjadi kenaikan MDD sebesar 0,10 gr/cm^3 dan saat di berikan bahan tambah kapur dan *fly ash* 1,4% memberikan kenaikan MDD sebesar 0,03 gr/cm^3 . Pada saat MDD mengalami peningkatan, OMC mengalami penurunan sebesar 4,46% pada campuran semen 7% dan penurunan sebesar 1,68% pada campuran kapur dan *fly ash* 1,4%. Dimana hal ini membuktikan bahwa stabilisasi dengan bahan tambah semen ataupun kapur dan *fly ash* berhasil membuat tanah menjadi lebih kaku sehingga nilai kepadatan meningkat, sekaligus mengurangi persentase air pada tanah akibat proses sementasi yang terjadi.

5. CBR (*California Bearing Ratio*)

Pengujian CBR ditujukan untuk mengetahui nilai daya dukung setiap sampel untuk kegunaannya sebagai lapisan *subgrade* jalan. Nilai CBR minimal berdasarkan persyaratan adalah minimum 6% [8], namun berdasarkan perbedaan faktor ketelitian antara laboratorium dan aplikasi di lapangan, maka nilai CBR laboratorium dinaikkan minimal 15% untuk mengantisipasi hal tersebut. Standar tersebut didasarkan dimana nilai CBR 10% – 20% dikategorikan baik [6]. Pengujian CBR dilakukan pemeraman selama 1 hari yang dilakukan pada sampel sebelum dilakukan uji CBR kondisi terendam (*soaked*). Hasil pengujian CBR dapat dilihat pada gambar 7.

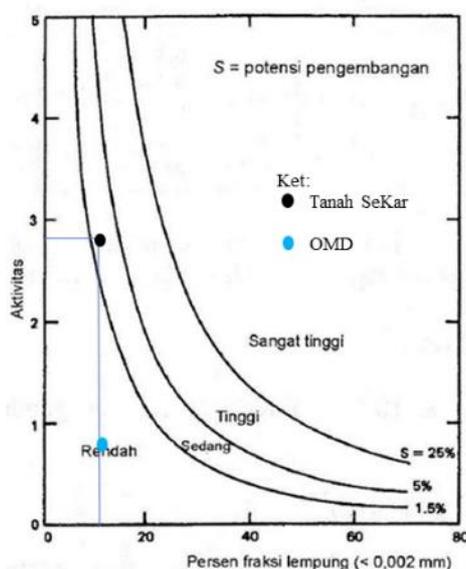


Gambar 7. Hasil uji CBR.

Hasil uji CBR dengan penambahan semen 7% mendapatkan nilai CBR yang signifikan meningkat yaitu 88,06% dari yang awalnya 1,44%. Pada penambahan kapur dan *fly ash* didapatkan hasil nilai CBR yang meningkat seiring dengan penambahan persentase *fly ash*. Pada penambahan kapur dan *fly ash* 1,4% didapat nilai CBR 11,10% dan mengalami kenaikan hingga penambahan kapur dan *fly ash* 4,2% yaitu 26,24%. Penggunaan bahan tambah kapur dan *fly ash* tidak mengalami kenaikan CBR yang signifikan seperti halnya penggunaan bahan tambah pada semen 7%. Hal tersebut terjadi karena penggunaan kapur dan *fly ash* dengan tanah mengalami proses pozzolanisasi yang menimbulkan adanya ikatan antar partikel campuran sehingga terjadi pengerasan dalam tanah namun tidak seperti semen walaupun kandungannya hampir sama namun kadarnya berbeda. Penggunaan bahan tambah kapur dan *fly ash* memang tidak dapat mengalahkan hasil dari penggunaan semen, namun nilai CBR yang di dapat lebih dari batas syarat minimum nilai CBR untuk *subgrade* yaitu > 6% (AASTHO T193).

D. Optimum Mix Design

Penggunaan kapur dan *fly ash* sebagai bahan stabilisasi pengganti semen memang belum mampu untuk menggantikan efek dari penggunaan semen, namun sifat dan karakteristiknya mirip dengan semen sebagai pozzolan yang dapat dimanfaatkan untuk mendapatkan nilai parameter tertentu karena telah memenuhi syarat sebagai *subgrade*. Variasi sampel uji yang dianggap mendekati yaitu dengan penambahan kapur dan *fly ash* 2,1% sehingga sampel tersebut ditetapkan sebagai *optimum mix design* (OMD). Hasil dari uji gravitas khusus pada variasi OMD sebesar 2,6665 mengalami kenaikan 0,21% dari tanah asli. Nilai OMD tersebut termasuk dalam klasifikasi tanah pasir atau lanau organik. Hasil uji batas konsistensi menunjukkan nilai indeks plastisitas variasi OMD sebesar 9,43% sehingga terjadi penurunan 61,04% dari tanah asli yang semula 24,21%, hasil tersebut termasuk dalam kategori tanah plastisitas tinggi menjadi kategori tanah plastisitas sedang. Penurunan dari tanah plastisitas tinggi ke plastisitas sedang dianggap pengujian ini mendapatkan nilai indeks plastisitas yang baik, maka potensi pengembangan akan ikut menurun dimana pada klasifikasi [4] (Gambar 8) OMD sudah berada di kelas dengan potensi terhadap pengembangannya sudah rendah dan dapat dipakai sebagai *subgrade* [3].



Gambar 8. Potensi pengembangan OMD berdasarkan nilai aktivitas pada Seed et al, 1962.

Hasil pengujian gradasi butiran tanah pada sampel OMD mengalami penurunan fraksi *silt/clay* sebesar 57,52% yang semula pada tanah asli 33,54% menjadi 14,25%, sedangkan pada fraksi *sand* mengalami peningkatan sebesar 32,11% yang semula pada tanah asli 59,74% menjadi 78,92%. Pada fraksi *gravel* tidak ditemukan perubahan yang signifikan.

Hasil pengujian pemadatan menunjukkan bahwa terjadi peningkatan nilai MDD sebesar 2,82% yang awalnya pada tanah asli 1,68 gr/cm³ menjadi 1,73 gr/cm³ pada sampel OMD. Pengaplikasian di lapangan, jika terjadi kelebihan atau kekurangan OMC akan berpengaruh terhadap nilai kepadatan tanah. Berdasarkan kepadatan tanah tidak boleh kurang dari 95% pada saat diaplikasikan di lapangan [8], sehingga harus menjadi perhatian khusus pada saat dilakukan pencampuran di lapangan.

Hasil pengujian CBR menunjukkan terjadi peningkatan nilai CBR pada kondisi terendam (*soaked*) pada sampel OMD (tanah + kapur + *fly ash* 2,1%) sebesar 1078,02% yaitu awalnya pada tanah asli 1,44% menjadi 15,52% pada sampel OMD. Nilai CBR tersebut sudah termasuk dalam kategori baik yang berada pada rentang 10-20% berdasarkan klasifikasi dari Turnbull dan The Asphalt Institute. Hasil CBR-swelling pada sampel OMD adalah 1,3043%. Menurut klasifikasi, nilai derajat pengembangan pada OMD termasuk kelas rendah [1].

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan penggunaan kapur dan *fly ash* sebagai bahan stabilisasi pengganti semen dapat mempengaruhi sifat fisis dan mekanis tanah [6][11], serta kapur dan *fly ash* memberikan hasil yang belum dapat menyamai penggunaan semen sebagai bahan stabilisasi, namun pencapaian yang dihasilkan dapat mendekati hasil penggunaan semen. Penambahan material *fly ash* pada penelitian lebih lanjut diharapkan mendapatkan nilai maksimal yang dapat digunakan namun dengan batasan masih dalam kategori aman secara lingkungan [16].

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin berterima kasih kepada PT. Hutama Karya Indonesia yang telah memberikan bantuan sampel tanah dan Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada yang telah memberikan dukungan dalam penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASTM, *Annual Books of ASTM Standards*. American Society for Testing Material, 1980.
- [2] L. M. Krayski, *Expansive Soil in Highway Construction some Problem and Solutions*, 4th Int. Nairobi : Road Fed. African Highways Conf, 1980.
- [3] H. C. Hardiyatmo, *Tanah Ekspansif Permasalahan dan Penanganannya*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2017.

- [4] H. C. Hardiyatmo, *Mekanika Tanah I* (Edisi Ketujuh). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2017.
- [5] H. C. Hardiyatmo, *Mekanika Tanah II* (Edisi Ketujuh). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2017.
- [6] H. C. Hardiyatmo, *Stabilisasi Tanah untuk Perkerasan Jalan*, Edisi Kedua. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2013.
- [7] B. M. Das, *Principles of Geotechnical Engineering 7rd Ed.* USA: Cengage Learning, 2006.
- [8] G.J.W. Fernandez, *Kajian Karakteristik Lempung Bobonaro di Provinsi Nusa Tenggara Timur*. Bandung: Puslitbang Prasarana Transportasi, 2006.
- [9] A.D. Tallama, "Pemanfaatan Bahan Limbah Coal Ash untuk Lapisan Subgrade,". Thesis, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2010.
- [10] Bina Marga. *Manual Desain Perkerasan Jalan (Revisi 2017)*. Final. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017.
- [11] M.M.E. Zumrawi and O.S.M. Hamza, "Improving the Characteristics of Expansive Subgrade Soils Using Lime and Fly Ash," *International Journal of Science and Research (IJSR)*. ISSN : 2319-7064, 2014.
- [12] O.G. Ingles and J.B. Metcalf, *Soil Stabilization Principles and Practice*. Brisbane: Butterworths Pty. Limited, 1972.
- [13] D.O. Latif, A. Rifa'I, & K.B. Suryolelono, "Perbaikan Sifat Mekanis Tanah Lempung Ekspansif Menggunakan Abu Vulkanis Sinabung dan Kapur," *Jurnal Saintis*, Volume 17 Nomor 1, April 2017, 24-32.
- [14] Department of The Army, *Soil Stabilization for Pavements*, Washington DC: US Army Corps of Engineers, 1994.
- [15] W. Wijaya, "Pemanfaatan Abu Daun Bambu Sebagai Bahan Tambah Pozzolan Alami Dalam Perbaikan Tanah Ekspansif". Thesis, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2020.
- [16] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 21. Tentang: Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup, 2022.



©2024. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).