

PENGARUH CAMPURAN ABU TERBANG DAN KAPUR TERHADAP DAYA DUKUNG TANAH DASAR

Anggi Purnama Sari Dewi^{1*}, Syah Alam Akbar², Yudi Harianto³, Nurly Gofar⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Bina Darma
Jl. Jend. A Yani No. 3, Seberang Ulu I, Palembang, Indonesia 30111

*Email: anggi.purnama.sari.dewi@binadarma.ac.id

Drajukan: 05/04/2025 Direvisi: 28/11/2025 Diterima: 06/12/2025

Abstrak

Kinerja perkerasan jalan sangat dipengaruhi oleh kualitas material tanah dasar. Tanah lempung kurang baik digunakan sebagai tanah dasar karena mempunyai daya dukung yang rendah dan sensitif terhadap perubahan kadar air akibat curah hujan maupun genangan. Makalah ini menyajikan hasil studi laboratorium mengenai pengaruh penambahan abu terbang dan kapur terhadap tanah lempung untuk dijadikan material tanah dasar jalan perkotaan. Nilai Plastisitas dan California Bearing Ratio (CBR) digunakan sebagai indikasi peningkatan kekuatan tanah dasar pada kondisi tidak direndam dan direndam. Dalam penelitian ini dilakukan penambahan 5% kapur dan 5 – 30% abu terbang. Hasil pengujian menunjukkan nilai optimum penambahan abu terbang sebesar 25%. Uji batas Atterberg menunjukkan bahwa penambahan 5% kapur dan 25% abu terbang menurunkan indeks plastisitas tanah dari 23,60% kepada 17,72%, sehingga dapat mengurangi pengaruh air terhadap tanah. Hasil pengujian CBR menunjukkan bahwa penambahan 5% kapur dan 25% abu terbang memberikan nilai CBR tertinggi sebesar 8,27% dan nilai pengembangan terendah yaitu 0,84%.

Kata kunci: Tanah Dasar, Lempung, Abu Terbang, Kapur, CBR, Swelling

Abstract

The performance of road pavement is highly influenced by the quality of subgrade material. Clay is not a suitable material as subgrade due to its low bearing capacity and sensitivity to changes in water content caused by rainfall and inundation. This paper presents the results of a laboratory study on the effect of fly ash and lime on the performance of clay soil to be used as a subgrade material for urban roads. Plasticity and California Bearing Ratio (CBR) values were used to indicate the strength improvement of the subgrade in unsoaked and soaked conditions. In this study, 5% lime and 5-30% fly ash were added. The test results showed that the optimum value for fly ash addition was 25%. The Atterberg limit test showed that the addition of 5% lime and 25% fly ash reduced the soil plasticity index from 23.60% to 17.72%, thereby reducing the effect of water on the soil. The CBR test results showed that the addition of 5% lime and 25% fly ash provided the highest CBR value of 8.27% and the lowest swelling value of 0.84%. Atterberg Limit tests show that adding fly ash and lime decreased the plasticity index of the soil from 23.60% to 17.72%. Results of the CBR test indicated that adding 5% lime and 25% fly-ash gives the highest CBR value of 8.27% and the lowest swelling potential of 0.84%.

Keywords: Subgrade, Clay, Fly-ash, Lime, CBR, Swelling

1. PENDAHULUAN

Perkerasan jalan merupakan sistem yang mentransfer beban lalu lintas jalan ke pada tanah dasar. Secara umum terdapat dua jenis perkerasan jalan yaitu perkerasan lentur

(flexible pavement) dan perkerasan kaku (*rigid pavement*). Konstruksi perkerasan lentur terdiri dari: a) Lapisan permukaan (aspal), b) lapisan pondasi atas (A), c) lapisan pondasi bawah (B), dan d) tanah dasar atau *subgrade*

di atas tanah asli. Konstruksi perkerasan kaku terdiri dari: (a) Perkerasan beton semen, (b) Lapisan pondasi bawah beton kurus, (c) Lapisan pondasi agregat kelas A, dan (d) tanah dasar atau *subgrade* di atas tanah asli. Pembagian yang lebih rinci diberikan dalam Manual Desain Perkerasan Jalan (Kementerian PUPR, 2024).

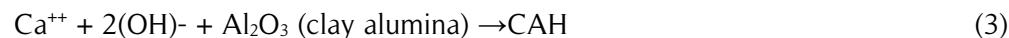
Salah satu pertimbangan dalam menentukan jenis perkerasan jalan adalah kondisi tanah dasar (*subgrade*). Perkerasan lentur harus dibangun di atas tanah yang memiliki daya dukung yang memadai. Dari segi kekuatan, maka tanah dasar harus memiliki nilai CBR > 6%. Bila tanah dasar tidak memenuhi persyaratan daya dukung, maka dibuat satu lapisan subgrade dari tanah yang di stabilisasi sehingga CBR gabungan antara lapisan tanah yang distabilisasi dan tanah asli mencapai nilai lebih besar daripada 6. Oleh karena itu perlu dilakukan perbaikan tanah dasar untuk memperbaiki stabilitas,

kekuatan tanah dan kinerja jalan (Fardyansah & Gofar, 2020) dengan metode stabilisasi.

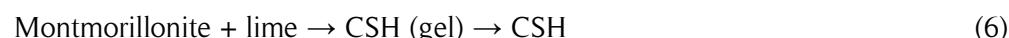
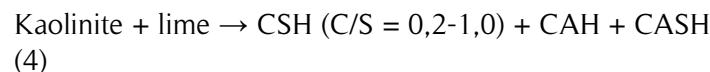
Stabilisasi tanah dasar dapat dilakukan dengan cara mekanis, fisis dan kimiawi. Stabilisasi kimiawi biasa menggunakan bahan pozzolanik seperti semen dan kapur atau bahan stabilisasi lain. Kapur telah dikenal sejak lama sebagai zat yang dapat dicampur dengan tanah dan memperbaiki sifat kekuatan geser, sifat kembang susut, dan permeabilitas.

Bahan dasar kapur adalah batu kapur (*limestone*), yang mengandung kalsium oksida (CaO) dan magnesium oksida (MgO). Reaksi antara ion Ca⁺⁺ dengan silika (Si) dan alumina (Al) yang terdapat dalam tanah lempung membentuk Kalsium-Silikat-Hidrat (CSH) dan Kalsium Aluminat Hidrat (CAH) dan meningkatkan kekuatan dan durabilitas campuran tanah lempung dan kapur (Eisazadeh, dkk., 2012).

Reaksi antara tanah dengan kapur secara umum dapat digambarkan sebagai berikut:



Bentuk reaksi kimia diatas tergantung dari jumlah dan jenis kapur yang ditambahkan, waktu *curing*, dan suhu. Bentuk reaksi tipikal diberikan sebagai berikut ini:



dan/atau



dimana C = CaO, S = SiO₂, A = Al₂O₃, dan H = H₂O

Adanya unsur cation Ca⁺⁺ pada kapur dapat memberikan ikatan antar partikel yang lebih besar untuk melawan sifat mengembang dan menaikan daya dukung tanah, sehingga kapur dimanfaatkan sebagai material yang dapat menstabilisasi tanah khususnya untuk subgrade jalan raya (Utami & Haris, 2016).

Kapur dapat digunakan untuk menstabilkan tanah secara langsung di lapangan, sehingga menghindari kebutuhan untuk mengganti tanah asli dengan tanah berkualitas baik (Daneshman, dkk., 2009). Penambahan kapur dalam jumlah banyak menyebabkan terjadinya Ca⁺⁺ bebas yang akan menggantikan kation yang berbeda dan permukaan koloid. Dalam beberapa kasus,

penambahan kapur sudah cukup banyak sehingga terjadi kejemuhan dalam jumlah Ca^{++} , namun reaksi masih terjadi karena kapasitas pertukaran kation akan bertambah apabila pH makin tinggi. Dengan demikian jumlah kapur yang ditambahkan pada tanah harus dibatasi.

Penelitian terhadap pengaruh kapur serta kombinasi kapur dan abu terbang terhadap nilai CBR dan kuat geser tanah telah dilakukan oleh beberapa peneliti antaranya Murthy (2002), Daneshmand dkk. (2009), Ghobadi dkk. (2014), Utami & Haris (2016) dan Yesa dkk. (2024), Murthy menunjukkan kandungan kapur yang optimal untuk menstabilkan tanah lempung berkisar antara 3 hingga 8% (Murthy, 2002). Sedangkan penelitian Ghobadi dkk. (2014) menyimpulkan bahwa tanah lempung dapat distabilkan secara memuaskan dengan penambahan kapur sekitar 7% dengan peningkatan kuat tekan bebas hampir lima kali lipat. Penelitian oleh Daneshman dkk. (2009) juga menunjukkan peningkatan kuat tekan bebas tanah yang cukup besar dengan penambahan kapur sampai 7%. Daneshmand dkk. juga menyimpulkan bahwa penambahan kapur menurunkan plastisitas dan permeabilitas tanah. Utami & Haris (2016) menunjukkan peningkatan kuat geser tertinggi terjadi pada penambahan 10% kapur. Sedangkan penelitian oleh Yesa dkk. (2024) menunjukkan bahwa makin banyak jumlah kapur yang ditambahkan, maka nilai CBR rendaman makin tinggi. Namun, penambahan kapur dalam jumlah yang banyak dapat menyebabkan emisi karbon dengan level mematikan, sehingga mereka membatasi persentase kapur pada 9%.

Alternatif dari penggunaan kapur adalah pemanfaatan abu terbang. Abu terbang adalah residu halus yang dihasilkan dari pembakaran batu bara pada pembangkit listrik tenaga uap. Seperti kapur, abu terbang juga berbentuk partikel halus dan bersifat pozzolanik. ASTM C618 mengklasifikasikan abu terbang menjadi kelas F dan kelas C. Perbedaan antara kedua kelas ini, tergantung pada jenis batu bara yang dibakar. Abu terbang Kelas C biasanya diproduksi dengan membakar batu bara sub-bitumen atau lignit,

sedangkan abu terbang Kelas F diperoleh dengan membakar batubara bitumen atau antrasit (Sengul, dkk., 2023). Abu terbang Kelas C, yang umumnya mengandung lebih dari 15% CaO dan juga disebut abu kalsium tinggi, mulai digunakan dalam industri beton pada tahun 1970-an. Abu terbang Kelas F, yang disebut abu kalsium rendah dan memiliki kandungan kalsium oksida (CaO) kurang dari 6%, biasanya menunjukkan sifat pozzolan meskipun tidak mengeras secara spontan. Persentase karbon yang tidak terbakar (*loss of ignition*) dalam abu terbang Kelas F lebih dari 2%.

Abu terbang digunakan dalam berbagai aplikasi konstruksi seperti pembuatan beton, batu bata dan pelapis, serta konstruksi timbunan dan tanggul yang dipadatkan. Dalam kondisi lembab, abu terbang bereaksi secara kimia untuk membentuk senyawa yang bersifat semen dan meningkatkan daya tahan dan sifat kompresibilitas tanah. Penambahan abu terbang dapat secara efektif mengurangi potensi pengembangan tanah lempung plastis (Ibrahim, 2014).

Abu terbang dapat bereaksi dengan kapur pada suhu kamar ($24^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C}$) dan dengan adanya media air membentuk senyawa yang bersifat mengikat. Abu terbang mengandung unsur kimia antara lain silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), fero oksida (Fe_2O_3) dan kalsium oksida (CaO), juga mengandung unsur tambahan lain yaitu magnesium oksida (MgO), titanium oksida (TiO_2), alkalin (Na_2O dan K_2O), sulfur trioksiida (SO_3), pospor oksida (P_2O_5) dan karbon.

Penelitian mengenai pengaruh abu terbang terhadap kekuatan tanah dilakukan oleh Reyes & Pando (2007), Utami dkk. (2021), Sengul dkk. (2023). Reyes & Pando menyimpulkan bahwa penambahan abu terbang dapat meningkatkan kuat tekan tanah dan menurunkan sifat plastisitasnya. Kekuatan tekan meningkat cukup besar pada masa pemeliharaan sampai 14 hari. Hasil penelitian Utami dkk. menunjukkan bahwa penambahan

abu terbang sampai 30% dapat meningkatkan nilai CBR tanah dasar baik dalam kondisi kering maupun terendam. Penelitian oleh Sengul dkk. (2023) menyimpulkan bahwa penambahan 10% abu terbang dengan masa pemeliharaan 28 hari meningkatkan kuat tekan bebas sampel.

Penelitian yang lebih rinci mengenai pencampuran lempung dengan kapur dan abu terbang telah dilakukan oleh Sharif dkk. (2025). Mereka menyimpulkan bahwa untuk campuran tanah dengan kapur dan abu terbang, kadar kapur optimal adalah sebesar 4%. Dalam penelitiannya, Sharif dkk. menambahkan abu terbang dengan variasi antara 5% hingga 30% ke dalam campuran lempung-kapur (4%), sehingga menghasilkan kadar abu terbang optimal sebesar 20%. Campuran optimal akhir (76% lempung + 4% kapur + 20% abu terbang) menunjukkan peningkatan CBR sebesar 205% dan peningkatan kuat geser sebesar 34% dibandingkan dengan lempung yang tidak diolah.

Dari pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa penambahan kapur dan abu terbang dapat digunakan untuk meningkatkan daya dukung dan mengurangi sifat kembang susut lempung sebagai tanah dasar pada pembangunan jalan. Kadar optimum kapur berada pada kisaran 5 – 10%, sedangkan penambahan abu terbang dapat dilakukan sampai 30%.

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi peningkatan kinerja *subgrade* jalan dengan penambahan kapur dan abu terbang pada tanah lempung yang terdapat di kota Palembang. Peningkatan daya dukung dinyatakan berdasarkan nilai *California Bearing Ratio* (CBR). Pengujian CBR dilakukan mengikuti prosedur standar SNI 1744-2012. Selain itu, penelitian ini juga mengevaluasi pengaruh kapur dan abu terbang terhadap plastisitas dan potensi pengembangan tanah akibat air.

2. METODOLOGI

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah. Tanah yang digunakan dalam penelitian ini diambil di kota Palembang. Sampel diambil dekat permukaan tanah dengan jumlah yang cukup untuk pengujian di laboratorium.

Abu terbang yang digunakan sebagai campuran dalam penelitian ini, diambil dari limbah pembakaran batu bara PLTU Bukit Asam Muara Enim. Kapur yang digunakan merupakan kapur yang umum digunakan untuk bahan konstruksi. Kapur mengandung 90% *Calcium hydroxide* (CaOH_2), 2% *Magnesium oxyde* (MgO), 6% *Calcium Carbonate* (CaCO_2), serta sejumlah jejak Arsenik (As) dan Lead (Pb).

Tanah, kapur, dan abu terbang dikeringkan sampai benar-benar kering, kemudian ditumbuk menggunakan palu karet dan diayak menggunakan saringan No. 4 (ASTM D422, 2007). Gambar 1 memperlihatkan bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu tanah, kapur, dan abu terbang.

Tanah di uji di laboratorium terhadap sifat index dan klasifikasi. Semua pengujian dilakukan berdasarkan standar nasional indonesia (SNI) yang sesuai (Badan Standardisasi Nasional). Pengujian analisis saringan (SNI 3423-2008) dan sifat plastisitas tanah (*Atterberg limit*) (SNI 1965-2008 & SNI 1966-2008) dilakukan untuk mendapatkan klasifikasi tanah berdasarkan USCS dan AASHTO (SNI 6371: 2011).

Pengujian batas cair dan batas plastis, pengujian pemedatan dan pengujian CBR dilakukan terhadap tanah dan campuran tanah dengan kapur dan abu terbang. Campuran dibuat berdasarkan berat kering masing-masing material. Kadar campuran yang digunakan dalam penelitian ini diperlihatkan pada Tabel 1.



Gambar 1. Bahan yang Digunakan dalam Penelitian

Pemilihan kadar kapur dan abu terbang didasarkan pada hasil penelitian terdahulu dimana kadar optimum kapur berada pada kisaran 5 – 10% dan penambahan abu terbang dapat dilakukan sampai 30%. Dalam penelitian ini dilakukan penambahan kapur sebanyak 5% dari berat kering tanah dan penambahan abu terbang dari 10 – 30% terhadap berat kering tanah dan kapur.

Pengujian batas plastis dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan kapur dan abu terbang terhadap plastisitas tanah, dalam hal ini nilai batas cair (LL), batas plastis (PL) dan indeks plastisitas (IP).

Pengujian pemasatan dilakukan berdasarkan SNI 1742-2008 untuk mendapatkan kriteria pemasatan yaitu berat isi kering maksimum (MDD) dan kadar air optimum (OMC) untuk pengujian CBR (SNI 1744-2012). CBR (*California Bearing Ratio*) adalah perbandingan antara beban penetrasi dari lapisan tanah atau perkerasan terhadap beban standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi sama.

Penambahan abu terbang dan kapur juga berpengaruh terhadap sifat pemasatan yaitu MDD dan OMC. Untuk pengujian CBR, semua material dikeringkan terlebih dahulu sampai benar-benar kering, setelah kering ditumbuk menggunakan palu karet. Kemudian diayak menggunakan saringan No.

4 sesuai dengan standar ASTM D422-63 (2007). Air ditambahkan sesuai kadar air optimum (OMC) yang diperoleh dari hasil uji pemasatan untuk masing-masing campuran. Semua campuran disiapkan dengan kadar air yang seragam berdasarkan nilai OMC dari hasil uji pemasatan, agar konsistensi antar sampel terjaga. Karena kadar air optimum berbeda pada setiap campuran, maka kadar air awal nya tidak identik, tapi disesuaikan dengan nilai OMC masing-masing. Setelah pencampuran dengan air, seluruh benda uji dimasukkan ke dalam kantong dan disimpan selama 24 jam untuk proses *curing* sebelum dilakukan pengujian CBR.

Dalam penelitian ini sampel untuk pengujian CBR disiapkan pada tingkat kepadatan 95% MDD. Pengujian dilakukan dalam kondisi kering (*unsoaked*) dan terendam selama 96 jam (*soaked*). Pengembangan diukur untuk mengetahui pengurangan potensi pengembangan akibat penambahan kapur dan abu terbang.

Tabel 1. Matrix Campuran

Campuran	Tanah % (gram)	Abu terbang % (gram)	Kapur % (gram)
1	85 (1700)	10 (200)	5 (100)
2	80 (1600)	15 (300)	5 (100)
3	75 (1500)	20 (400)	5 (100)
4	70 (1400)	25 (500)	5 (100)

Campuran	Tanah % (gram)	Abu terbang % (gram)	Kapur % (gram)
5	65 (1300)	30 (600)	5 (100)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Klasifikasi Tanah

Gambar 2 memperlihatkan hasil pengujian analisis saringan dan hidrometer. Dari hasil pengujian ini dipastikan bahwa tanah merupakan tanah lempung dengan 81% partikel lolos saringan No 200. Hasil pengujian batas Atterberg pada tanah lempung menunjukkan $LL = 44\%$, dan $IP = 23.6\%$. Dengan demikian tanah termasuk jenis *CL* (Gambar 3).

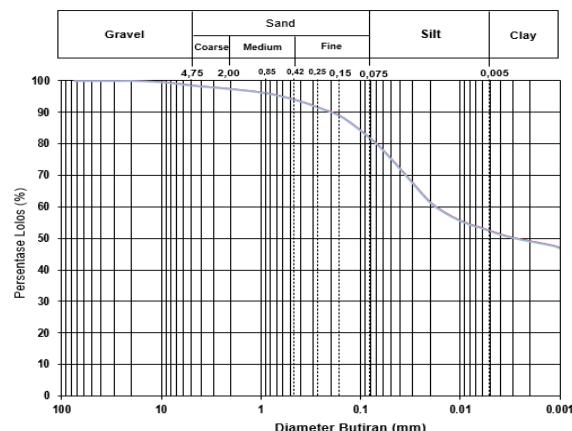
3.2 Pengaruh penambahan kapur dan abu terbang terhadap plastisitas tanah

Hasil pengujian batas plastisitas tanah dan campuran tanah, kapur dan abu terbang diperlihatkan pada Tabel 2. Dapat dilihat bahwa penambahan kapur dan abu terbang menyebabkan turunnya nilai LL dan IP atau berkurang sifat plastisitasnya sehingga kecenderungan untuk menyerap air dan mengembang berkurang.

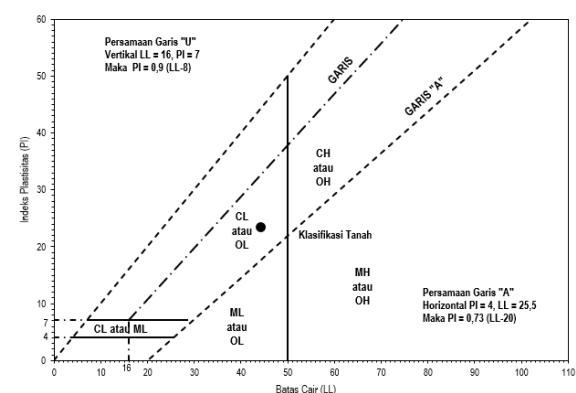
3.3 Pengaruh penambahan kapur dan abu terbang terhadap sifat pemadatan tanah

Pengujian pemadatan dilakukan terhadap tanah menghasilkan Grafik pemadatan seperti pada Gambar 4. Hasil pengujian menunjukkan $MDD = 14,76 \text{ kN/m}^3$. dan $OMC = 27,31\%$. Garis kejemuhan (*zero air void, ZAV*) di plot pada gambar menggunakan nilai $G_s = 2,62$ yang didapat dari hasil pengujian menggunakan prosedur SNI 1964-2008.

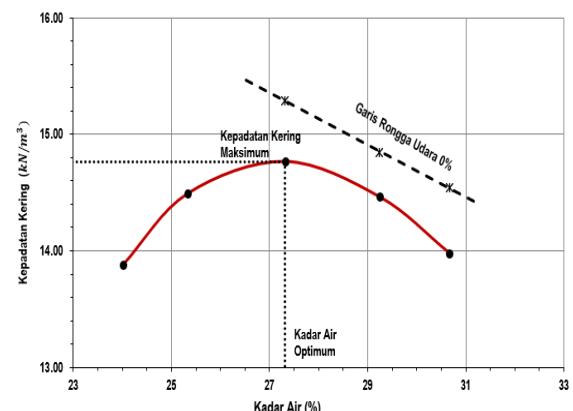
Pengujian pemadatan juga dilakukan untuk campuran 1 – 5 untuk mendapatkan kriteria pemadatan tanah pada pembuatan benda uji CBR. Sampel dibuat pada kepadatan 95% MDD. Nilai MDD dan OMC untuk pembuatan sampel diperlihatkan pada Tabel 3.



Gambar 2. Distribusi Ukuran Partikel Tanah



Gambar 3. Grafik Plastisitas Tanah



Gambar 4. Grafik Pemadatan Tanah

Tabel 2. Batas Cair, Batas Plastis dan Indeks Plastisitas Campuran

Campuran	LL (%)	PL (%)	IP (%)
Tanah asli	44,00	20,40	23,60
1	37,07	14,82	22,26
2	36,31	15,56	20,75
3	34,05	14,72	19,35
4	34,19	16,46	17,72
5	34,43	16,74	17,69

Tabel 3. Berat Isi dan Kadar Air untuk Pembuatan Sampel Pengujian CBR

Campuran	MDD (kN/m ³)	95% MDD (kN/m ³)	OMC (%)
Tanah asli	14,76	14,02	23,71
1	15,60	14,82	24,82
2	16,10	15,30	20,75
3	16,40	15,58	19,35
4	16,40	15,58	17,72
5	15,40	14,63	17,69

Dapat dilihat dari Tabel 3, bahwa seiring dengan penambahan abu terbang sampai 25%, nilai MDD naik sedangkan OMC nya turun. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan kapur dan abu terbang, daya serap air dari tanah berkurang sehingga potensi pengembangan tanah juga berkurang.

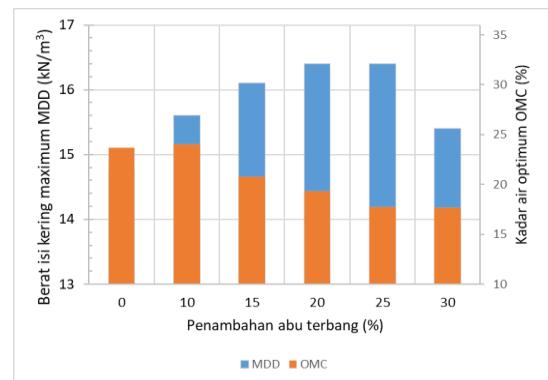
Gambar 5 memperlihatkan pengaruh penambahan kapur dan abu terbang terhadap berat isi kering maksimum (MDD) dan kadar air optimum (OMC) tanah campuran. Peningkatan MDD dan penurunan OMC mencapai maximum pada campuran tanah dengan 5% kapur dan 25% abu terbang. Pada penambahan 30% abu terbang, nilai MDD turun kembali meskipun OMC nya masih turun.

3.4 Pengaruh penambahan kapur dan abu terbang terhadap nilai CBR

Tujuan utama penelitian ini adalah mengevaluasi pengaruh penambahan 5% kapur dan 10 – 30% abu terbang terhadap daya dukung tanah lempung di Palembang untuk digunakan sebagai subgrade jalan. Pengujian CBR laboratorium dilakukan pada kondisi dengan rendaman (*soaked*) selama 96 jam (SNI 1744-2012). Proses perendaman memberikan kesempatan pada tanah untuk menyerap air dan mengalami pengembangan volume. Gambar 6 memperlihatkan pengujian CBR yang dilakukan di laboratorium.

Untuk pembuatan benda uji tanah asli, tanah yang lolos saringan no. 4 langsung di

campur dengan air sesuai dengan kadar air optimum dan diaduk.



Gambar 5. Pengaruh Kapur dan Abu Terbang terhadap MDD dan OMC Campuran



Gambar 6. Pengujian CBR Rendaman

Sedangkan benda uji tanah lempung yang di campur dengan abu terbang dan kapur dibuat menurut komposisi pada Tabel 1. Setelah itu ditambahkan air yang sesuai dengan kadar air optimum. Semua benda uji yang dibuat dimasukkan kantong plastik dan disimpan selama 24 jam. Setelah itu dilakukan pemeriksaan kadar air pada setiap sampel dan masing-masing benda uji dicetak pada cetakan (*Mold*). Pembuatan benda uji dilakukan dalam 3 lapisan, setiap lapisan ditumbuk sebanyak 25 kali menggunakan alat penumbuk seberat 4,5kg. Selanjutnya semua benda uji direndam dengan air selama 96 jam (4 hari) baru lah dilakukan pemeriksaan menggunakan alat uji CBR. Pengukuran pengembangan tanah dilakukan setiap 24 jam selama proses pengembangan (Gambar 6). Pengujian kadar air dilakukan setelah selesai pengujian CBR. Hasil pengujian CBR laboratorium dengan rendaman untuk tanah asli dan campuran 1 – 5 diberikan pada Tabel 4.

Gambar 7 memperlihatkan nilai CBR rendaman untuk tanah asli dan campuran dengan kapur dan abu terbang. Dari data hasil pengujian CBR, bisa dilihat nilai CBR tanah pada tanah asli 6,40% mengalami peningkatan sampai 8,27% pada campuran 5% kapur dan 25% abu terbang. Untuk campuran dengan 30% abu terbang, terjadi penurunan nilai CBR menjadi 6,63%. Meningkatnya nilai CBR dikarenakan abu terbang mampu mengisi rongga-rongga pada tanah, tetapi bila terlalu banyak abu terbang yang dicampurkan, maka *abu terbang* akan mendorong partikel tanah dan mengurangi gesekan antar partikel sehingga tanah akan berkurang daya dukungnya.

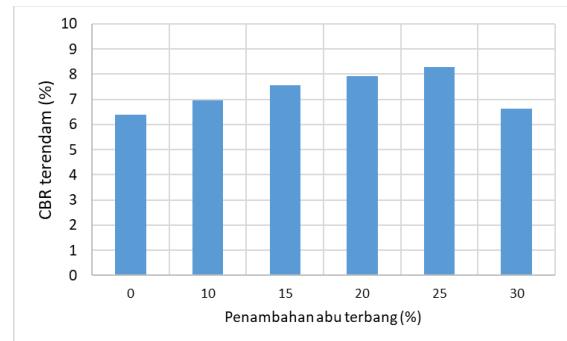
Selama proses perendaman, air masuk ke dalam tanah, mengakibatkan proses pengembangan tanah dan berkurangnya daya dukung tanah. Gambar 8 memperlihatkan perubahan daya serap tanah sebagai fungsi penambahan kapur dan abu terbang. Terjadi pengurangan daya serap terhadap air sampai pada penambahan 25% abu terbang, namun jumlah air yang terserap bertambah pada penambahan 30% abu terbang, karena pori-pori tanah menjadi lebih besar.

Pengujian CBR rendaman juga memberikan hasil dalam bentuk nilai *swelling* (potensi pengembangan volume tanah) di bawah beban 15 kPa. Gambar 9 memperlihatkan pengaruh abu terbang terhadap potensi pengembangan volume tanah. Penambahan kapur dan abu terbang menurunkan potensi pengembangan tanah dari 2,27% sampai 0,84% pada campuran tanah dengan 5% kapur dan 25% abu terbang. Namun pada penambahan abu terbang 30%, potensi pengembangan naik kembali menjadi 1,22%. Hal ini seiring dengan bertambahnya air yang terserap ke dalam tanah.

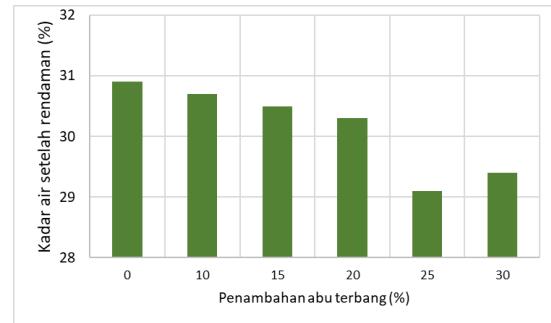
Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran optimum untuk tanah lempung di Palembang adalah dengan penambahan 5% kapur dan 25% abu terbang. Penemuan ini hampir sama dengan hasil penelitian oleh Sharif dkk (2025) dimana campuran optimum untuk tanah lempung + kapur + abu terbang adalah 76% lempung + 4% kapur dan 20% abu terbang. Sedangkan penelitian ini mendapatkan campuran optimum 70% lempung + 5% kapur dan 25% abu terbang.

Tabel 4. CBR *Unsoaked* dan CBR *Soaked* serta Kadar Air Setelah Rendaman

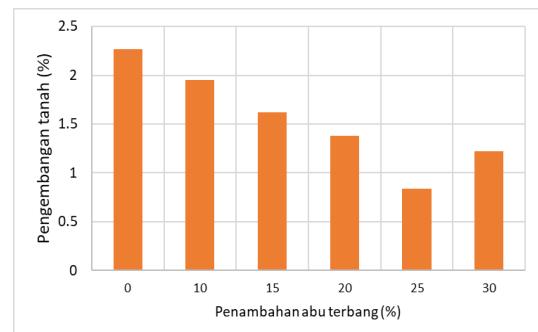
Campuran	CBR soaked (%)	Kadar air setelah rendaman (%)	Potensi pengembangan di bawah beban 15 kPa
Tanah asli	6,40	30,90	2,27
1	6,95	30,70	1,95
2	7,55	30,50	1,62
3	7,92	30,30	1,38
4	8,27	29,10	0,84
5	6,63	29,40	1,22



Gambar 7. Pengaruh Kapur dan Abu Terbang terhadap Nilai CBR Rendaman



Gambar 8. Pengaruh Kapur dan Abu Terbang terhadap Nilai Serapan Air



Gambar 9. Pengaruh Kapur dan Abu Terbang terhadap Nilai Potensi Pengembangan Tanah dan Campuran

Penambahan kapur dibatasi 5% sesuai dengan hasil penelitian terdahulu, dimana penambahan kapur yang terlalu banyak menyebabkan pH yang terlalu tinggi dan reaksi kimia berlangsung terus menerus selama CH^{++} bebas masih ada (Daneshmand dkk., 2009). Penelitian Yesa dkk (2024) menunjukkan bahwa penambahan abu terbang juga harus dibatasi pada kadar optimum yaitu 25% karena sesuai dengan penelitian oleh Sengul dkk. (2023), penambahan abu terbang yang lebih banyak dapat mengubah struktur tanah sehingga pori tanah yang telah tertutup membuka kembali (Shi dkk., 2024; Chen dkk., 2024; Maradani & Pradhan, 2024). Keadaan ini membuat lebih banyak air terserap kedalam tanah (Shen dkk., 2024) dan volume tanah bertambah dan daya dukungnya berkurang.

Pada penelitian tidak dilakukan uji pH secara langsung, tetapi referensi mengenai pH digunakan untuk menjelaskan batasan penambahan kapur. Penambahan kapur dalam jumlah berlebihan dapat menyebabkan kenaikan pH dan berdampak negatif (seperti reaksi kimia berkelanjutan dan potensi emisi karbon)

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa:

1. Penambahan kapur dan abu terbang berpengaruh terhadap daya dukung tanah lempung untuk digunakan sebagai *subgrade* jalan.
2. Penambahan 5% kapur dan 25% abu terbang (atau campuran 70% tanah + 5% kapur + 25% abu terbang) menunjukkan peningkatan nilai CBR tertinggi sebesar 8,27%.
3. Dengan demikian penambahan 5% kapur dan 25% abu terbang merupakan campuran optimum untuk perbaikan tanah lempung di Palembang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterimakasih kepada staf Laboratorium Teknik Sipil CV Geoteknik Pratama atas bantuannya dalam pelaksanaan penelitian di Laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM D618. 2022. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2002.

ASTM D422-63. 2007. Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2002.

Badan Standardisasi Nasional Indonesia SNI 1742:2008. 2008. Cara Uji Kepadatan Ringan untuk Tanah.

Badan Standardisasi Nasional Indonesia SNI 1744:2012. 2012. Metode Uji CBR Laboratorium.

Badan Standardisasi Nasional Indonesia SNI 1964:2008. 2008. Cara Uji Berat Jenis Tanah.

Badan Standardisasi Nasional Indonesia SNI 1965:2008. 2008. Cara Uji Penentuan Batas Cair untuk Tanah dan Batuan.

Badan Standardisasi Nasional Indonesia SNI 1966:2008. 2008. Cara uji Penentuan Batas Plastis dan Indeks Plastisitas Tanah.

Badan Standardisasi Nasional Indonesia SNI 3423:2008. 2008. Cara Uji Analisa Ukuran Butiran Tanah.

Badan Standardisasi Nasional Indonesia SNI 6371:2015. 2015. Tata Cara Pengklasifikasian Tanah untuk Keperluan Teknik dengan Sistem Klasifikasi Unifikasi Tanah.

Chen, Y., Cheng, J., Duan, Y., Yin, D., Dong, H. and Li, Y., 2024. Properties of Saline Soil Stabilized with Fly Ash and Modified Aeolian Sand. Case Studies in Construction Materials, 21, p.e03503.

Daneshmand, S. Gofar N. & Kassim, K.A. 2009. Surface Soil Improvement for Rainfall-Induced Failure. Proc. 5th National Conference in Civil Engineering, AWAM2009. Kuala Lumpur:436-441.

Eisazadeh, A., Kassim, K. A., & Nur, H. 2012. Solid-state NMR and FTIR Studies of Lime-Stabilized Montmorillonite and Lateritic Clays. *Applied Clay Science*, 67, 5-10.

Fardyansah, Y. & Gofar, N. 2020. Pengaruh Penambahan Pasir terhadap Daya Dukung Subgrade Jalan. *Cantilever Jurnal Penelitian dan Kajian Bidang Teknik Sipil*. 9 (2): 63 – 68.

Ghobadi, M. H., Abdilor, Y., & Babazadeh, R. 2014. Stabilization of Clay Soils Using Lime and the Effect of pH Variations on Shear Strength Parameters. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 73(2), 611-619.

Ibrahim, I. 2014. Stabilisasi Tanah Lempung dengan Bahan Aditif Fly-ash sebagai Lapisan Pondasi Dasar Jalan (Subgrade). *PILAR Jurnal Teknik Sipil*, 10(1):1-9.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2024. Manual Desain Perkerasan Jalan No 03/M/BM/2024.

Maradani, L.S.R. and Pradhan, B., 2024. Effect of Chloride and Sulphate on Ionic Concentration of Aqueous Pore Solution and Microstructural Properties of Fly Ash-GBFS Geopolymer Concrete. *Construction and Building Materials*, 440, p.137422.

Murthy, V. N. S. 2002. *Geotechnical Engineering: Principles And Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering*. CRC press.

Reyes, A. & Pando, M. 2007. Evaluation of CFBC Fly Ash for Improvement of Soft Clays. *Northern Kentucky: World of Coal Ash*.

Sengul, T., Akray, N., & Vitosoglu, Y. 2023. Investigating The Effects of Stabilization Using Fly Ash and Polypropylene Fiber on the Properties of Highway Clay Soils, *Construction & Building Materials*, 400: 132590.

Shen, Z., Wei, Q., Fu, Y. and Yuan, T., 2024. Synthesization and Characterizations of Coal Fly Ash-Coffee Grounds-Based Composite as Super-Absorbent for Application in Soil. *Journal of Cleaner Production*, 475, p.143568.

Shi, X., Yang, P., Li, L., Geng, X., Liu, X. and Zhao, J., 2024. Strength and Microscopic Pore Structure Characterization of Cement-Fly Ash Stabilized Organic Soil Under Freeze-Thaw Cycles. *Construction and Building Materials*, 420, p.135635.

Utami, E.T., Tambunan, H.F., Simanjuntak, I.R.U. 2021. Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Fly Ash (Abu terbang) sebagai Upaya Peningkatan Daya Dukung Tanah Dasar. *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil*, 10(1): 17-23.

Utami, G.S., & Haris, A. 2016. Analisis Pemanfaatan Kapur Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Lempung ditinjau dari Kuat Geser. *Prosiding Sem. Nas. Sains dan Teknologi Terapan Institut Teknologi Adhi Tama*, Surabaya: A (1-7).

Sharif, S., Ali, K., Khan, M.A. & Sajid, M. 2025. Cost Implication of Utilizing Fly Ash and Lime for Stabilizing Clayey Soil as Subgrade for Construction of Pavement. *Discover Civil Engineering* 2, 160:. <https://doi.org/10.1007/s44290-025-00329-2>

Yesa, I.E., Satrya, T.R., and Soemitro, R.A.A. 2024. Pengaruh Stabilisasi Tanah Menggunakan Abu Terbang dan Kapur terhadap Perubahan Karakteristik Fisik, Mekanik, dan Nilai CBR serta Kadar Karbon dalam Tanah. *Jurnal Pendidikan Indonesia* 5(12):2145-2177.