

Analisis Pengaruh Penambahan *Fly Ash Bottom Ash (FABA)* terhadap Kuat Geser Tanah Disposal Aktual di Area TAL MTB PT Bukit Asam untuk Konstruksi Timbunan Jalan

Astrid Fadhilah^{1*}, Bochori², Rendi Gilang Pratama³

¹ Program Studi Program Profesi Insinyur, Universitas Sriwijaya, Palembang

² Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Sriwijaya, Palembang

³ Program Studi Teknik Pengolahan Hasil Tambang Mineral dan Batubara, Akademi Komunitas Industri Pertambangan Bukit Asam, Tanjung Enim, Indonesia.

DOI: <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v7i1.1688>

Article Info:

Received : 02 Desember 2025
Revised : 22 Desember 2025
Accepted : 18 Januari 2026
Published : 29 Januari 2026

Correspondence:

Astrid Fadhilah

Phone : +6281959052979

Abstract: Road embankment construction on soft soil frequently encounters technical challenges in the form of low bearing capacity and high deformation potential, which can adversely affect road stability and service life. This study aims to analyze the effect of Fly Ash Bottom Ash (FABA), a by-product of coal combustion, on improving the shear strength of actual soft soil obtained from the TAL MTB disposal area of PT Bukit Asam. The FABA contents applied were 15% and 25% by dry weight of soil. Laboratory testing was conducted using direct shear tests on both untreated soil and soil mixed with FABA. The test results indicate that the addition of FABA significantly enhances the soil shear strength parameters, particularly cohesion (c) and internal friction angle (ϕ). The highest improvement was observed in the soil mixture containing 25% FABA, demonstrating that FABA is effective in improving the mechanical properties of soft soil. Therefore, the utilization of FABA as a soil stabilization material not only provides an efficient technical solution for road embankment construction but also contributes to sustainable and environmentally friendly industrial waste management.

Keywords: FABA; Road Embankment; Shear Strength; Soft Soil; Soil Stabilization

Citation: Fadhilah, A. ., Bochori, & Gilang Pratama, R. (2026). Analisis Pengaruh Penambahan Fly Ash Bottom Ash (FABA) terhadap Kuat Geser Tanah Disposal Aktual di Area TAL MTB PT Bukit Asam untuk Konstruksi Timbunan Jalan. *Jurnal Pendidikan, Sains, Geologi, Dan Geofisika (GeoScienceEd Journal)*, 7(1), 102-109. <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v7i1.1688>

Pendahuluan

Sekitar 20 juta hektar atau lebih dari 10% luas daratan di Indonesia merupakan tanah lunak yang terdiri dari tanah lempung lunak (soft clay soil) dan tanah gambut (peat soil), (Kuswanda, 2016). Karakteristik fisik tanah lunak, seperti lempung organik dan tanah gambut, menunjukkan porositas tinggi dan daya ikat antar partikel yang rendah. Berdasarkan data Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) tahun 2020 yang tercantum dalam Road Map Pengembangan dan Pemanfaatan Batubara 2021-2045, disebutkan bahwa Indonesia memiliki total sumber daya batubara sebesar 143,73 miliar ton dengan cadangan batubara mencapai 38,80 miliar ton (Pahlevi

dkk., 2024). Penelitian sebelumnya telah menunjukkan potensi FABA dalam meningkatkan sifat mekanik tanah. Studi oleh (Mujahidin dkk., 2024) menyatakan bahwa penambahan FABA mampu meningkatkan nilai CBR tanah lempung hingga 18,88% dibandingkan kondisi alami. Meskipun demikian, sebagian besar studi masih terbatas padanpengujian kekuatan dukung tanah dan belum secara eksplisit menelaah kuat geser sebagai parameter utama dalam desain fondasi atau kestabilan lereng.

Penelitian ini berupaya mengevaluasi pengaruh penambahan FABA dengan variasi 15% dan 25% terhadap kuat geser tanah lunak di TAL MTB, dengan fokus pada parameter kohesi dan sudut geser dalam

sebagai indikator utama perbaikan. Pemilihan kadar aditif yang variatif diharapkan dapat mengidentifikasi titik optimal yang memberikan peningkatan maksimal terhadap kekuatan geser tanah. Di lapangan, banyak kegagalan struktur timbunan terjadi karena ketidaktepatan dalam pemilihan jenis dan dosis material stabilisasi. Oleh karena itu, panduan teknis berbasis data eksperimental sangat dibutuhkan untuk mendukung keputusan desain dan pelaksanaan konstruksi (Fatin, 2024).

Penggunaan motorized direct shear apparatus memberikan keunggulan dari sisi kontrol beban normal dan laju geser, serta dokumentasi hasil uji secara digital dan real-time. Keunggulan ini memperbesar potensi replikasi hasil serta validasi terhadap hasil uji sebelumnya, yang umumnya masih menggunakan alat konvensional dengan margin kesalahan lebih besar.

Formasi Muara Enim

Formasi Muara Enim diendapkan secara selaras di atas Formasi Air Benakat pada lingkungan laut dangkal, dataran delta dan non-marin. Litologi terdiri dari batupasir, batulanau, batulempung berfosil berwarna kuning kelabu dengan sisipan batubara mengandung oksida besi berupa kongkresi dan lapisan tipis. Batupasir pada formasi ini dapat mengandung glaukonit dan debris vulkanik. Batubara di formasi ini hampir seluruhnya berupa lignit kualitas rendah. Hanya pada bagian tertentu saja (di dekat intrusi andesit muda) lignit tersebut berubah menjadi batubara kualitas tinggi. Bagian atas lapisan batubara dapat tersilisifikasi, terutama yang mengalami kontak dengan lapisan tuf. Ketebalan Formasi Muara Enim mencapai 500 – 1000 meter. Formasi Muara Enim berumur Miosen Akhir – Pliosen Awal (Ramadhanti dkk., 2024)

Fly Ash Bottom Ash

Fly Ash dan Bottom Ash (FABA) sebagai abu sisa hasil pembakaran batubara pada proses pembangkitan PLTU Batubara merupakan satu diantara beberapa sumber yang berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan (Iman & Syafira, 2024). Limbah FABA mengandung logam beracun dalam konsentrasi yang jauh lebih tinggi apabila dilepaskan ke lingkungan oleh pembangkit listrik berbahan bakar batubara (Aditama dkk., 2021).

Tanah Lunak

Tanah adalah lapisan permukaan bumi yang berasal dari material induk yang telah mengalami proses lanjut, karena perubahan alami dibawah pengaruh air, udara, dan macam - macam organisme baik yang masih hidup maupun yang telah mati. Tingkat perubahan terlihat pada komposisi, struktur dan warna hasil pelapukan (Putra & Makarim, 2020).

Tanah lunak memiliki daya dukung tanah yang kecil, pemampatan yang besar dan waktu konsolidasi yang lama. Tanah lunak dalam konstruksi menjadi permasalahan. Daya dukung yang rendah menyebabkan kerugian, mulai dari kerugian dari sisi biaya konstruksi yang semakin mahal hingga rendahnya angka keamanan sehingga menyebabkan terancamnya keselamatan konstruksi. Struktur yang dibuat tidak mampu berdiri secara stabil bahkan bisa roboh.

Stabilitas Tanah

Stabilisasi tanah adalah suatu proses untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dengan menambahkan sesuatu pada tanah tersebut, agar dapat menaikkan kekuatan tanah dan mempertahankan kekuatan geser (Badan Standarisasi Nasional). Penambahan bahan campuran untuk menstabilkan tanah sangat bervariasi. Umumnya ditambahkan bahan yang bisa dibilang adalah bahan limbah atau bahan yang sudah tidak terpakai (Aslam dkk., 2025).

Metode

Wilayah Izin Usaha Penambangan (WIUP) PT. Bukit Asam, Tbk. di Tanjung Enim, Kecamatan Lawang Kidul, Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan dengan jarak 186 km Barat Daya dari pusat kota Palembang. Wilayah IUP PT Bukit Asam terletak pada posisi 3°42'30" LS - 4°47'30" LS dan 103°45'00" BT - 103°50'10" BT atau garis bujur 9583200 - 9593200 dan lintang 360600 - 367000 dalam sistem koordinat internasional.

Penelitian dilakukan dengan enam tahapan untuk mencapai tujuan penelitian, yaitu studi literatur, pengumpulan data, persiapan sampel, pengujian sampel, evaluasi dan penyusunan laporan (Gambar 1).

1. Studi literatur merupakan kegiatan yang berkaitan dengan cara menelusuri dan mengumpulkan semua sumber-sumber tulisan ataupun data yang sudah ada sebelumnya untuk menyelesaikan suatu masalah.
2. Pengumpulan data primer yaitu pengambilan sampling tanah lunak dan limbah FABA PLTU Banjarsari untuk dengan variasi tanah lunak asli 100%, variasi tanah 85% + FABA 15%, dan variasi tanah 75% + FABA 25%.
3. Persiapan sampel meliputi pengeringan, crushing, pengayakan dan pencampuran untuk memastikan sampel siap diuji.
4. Tahap pengujian sampel dilakukan untuk memperoleh data karakteristik material yang mencakup sifat fisik dan sifat mekanik. Pengujian fisik bertujuan untuk mengetahui parameter dasar material, sedangkan

pengujian mekanik tanah mencakup serangkaian uji yang dirancang untuk mengukur kekuatan dan deformasi tanah terhadap gaya luar. Data dari pengujian mekanik sangat penting dalam desain tebal timbunan, perkerasan, serta stabilitas lereng atau tanggul.

Pengujian Fisik

- a. Uji kadar air berfungsi untuk mengetahui persentase air yang terkandung dalam sampel tanah terhadap berat kering tanah tersebut. Informasi ini penting dalam pengendalian kualitas pemadatan di lapangan serta dalam interpretasi sifat teknis tanah lainnya seperti kekuatan geser dan konsistensi (Das, 1995).
- b. Uji atterberg digunakan untuk menentukan batas perubahan bentuk atau konsistensi tanah berbutir halus, terutama tanah lempung, terhadap perubahan kadar air. Nilai-nilai ini memberikan gambaran mengenai plastisitas, potensi kembang-susut, dan stabilitas tanah terhadap beban dan air.
- c. Uji berat jenis (specific gravity) bertujuan mengetahui perbandingan antara berat partikel padat tanah dengan berat air suling pada volume yang sama. Nilai berat jenis digunakan dalam perhitungan berat volume tanah, porositas, serta analisis stabilitas tanah.
- d. Uji distribusi ukuran butir (grain size analysis) bertujuan untuk mengetahui proporsi ukuran partikel dalam suatu sampel tanah. Distribusi butir ini sangat penting dalam klasifikasi tanah serta dalam evaluasi kemampuan drainase dan pemadatan.

Pengujian Mekanik

- a. Uji kompaksi dilakukan untuk mengetahui hubungan antara kadar air dan kerapatan kering maksimum tanah. Uji ini menghasilkan dua parameter utama yaitu Maximum Dry Density (MDD) dan Optimum Moisture Content (OMC), yang menjadi pedoman dalam proses pemadatan di lapangan agar mencapai kepadatan maksimal.
- b. Uji CBR (California Bearing Ratio) adalah metode untuk menilai daya dukung tanah terhadap penetrasi beban standar, dan hasilnya dinyatakan dalam persentase terhadap material referensi (batu pecah). Nilai CBR digunakan dalam desain tebal lapisan tanah dasar dan timbunan jalan. Semakin tinggi nilai CBR, semakin baik daya dukung tanah tersebut.

- c. Uji geser langsung (direct shear test) bertujuan untuk mengukur kuat geser tanah melalui pengujian pemotongan horizontal sampel tanah dalam alat geser langsung. Uji ini menghasilkan dua parameter utama yaitu kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ), baik pada kondisi peak maupun residual.
- 5. Analisis uji fisik dan mekanik yaitu data yang sudah didapatkan setelah melakukan pengujian, selanjutnya akan di analisis hasil dari data uji.
- 6. Hasil dan pembahasan yaitu mengevaluasi dan membahas hasil pengujian, serta menghubungkan data dengan teori yang relevan.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

**Hasil dan Diskusi
Pengujian Kadar Air**

Berdasarkan hasil pengujian kadar air tanah asli sebesar 46,39%, dapat disimpulkan bahwa kandungan air dalam tanah tersebut tergolong sangat tinggi jika dibandingkan dengan batas optimum kadar air untuk tanah yang akan dijadikan material timbunan. Kadar air setinggi ini akan menghambat proses pemadatan (kompaksi), menurunkan daya dukung tanah, menyebabkan potensi pengerutan dan penurunan tanah di kemudian hari. Oleh karena itu tanah harus dikondisikan terlebih dahulu, dengan ini kita akan mencoba untuk melakukan proses pencampuran dengan material tambahan seperti FABA, karena FABA berfungsi menurunkan kadar air tanah, meningkatkan

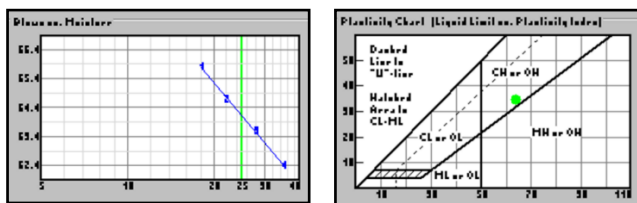
stabilitas dan kekuatan geser tanah serta memperbaiki sifat plastisitas dan pemadatan (Kusuma, 2024).

Tabel 1. Data Pengujian Kadar Air (Tanah Asli)

No Cawan	A.35	E.23
Berat Cawan (W1)	13.51	13.08
Berat tanah basah + Cawan (W2)	69.92	67.54
Berat tanah kering + Cawan (W3)	51.88	50.44
Berat tanah kering (W3 - W1)	38.37	37.36
Berat Air (W2 - W3)	18.03	17.10
Kadar Air (W%)	47.01	45.77
Rata - rata kadar air	46.39 %	

Pengujian Atterberg Tanah 100%

Hasil pengujian atterberg pada tanah 100% di dapatkan batas cair 64%, batas plastis 30%, dan indeks plastisitas 34%. Data hubungan antara jumlah ketukan dan kadar air diplot dalam bentuk grafik untuk menentukan nilai batas cair dari tanah, serta hubungan antara batas cair dan indeks plastisitas akan membentuk grafik plasticity chart untuk menentukan klasifikasi tanah pada sampel uji (Gambar 2).



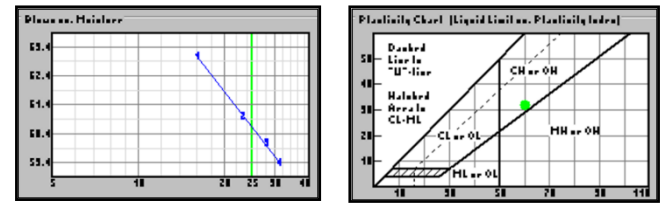
Gambar 2. A. Grafik liquid limit tanah 100%; B. Grafik plasticity chart tanah 100% (Sumber: Laboratorium Mekanika Tanah PT. Bukit Asam, 2025)

Sampel tanah 100% diklasifikasikan sebagai CH A-7-5(35). CH dalam sistem USCS, yaitu lempung (C = clay) dengan plastisitas tinggi (H = high plasticity). Dalam sistem AASHTO, tanah ini dikategorikan sebagai A-7-5(35). Kode A-7 menunjukkan bahwa tanah ini tergolong berbutir halus (fine-grained), biasanya berupa lempung atau lanau. Angka 5 mengindikasikan bahwa nilai indeks plastisitasnya lebih rendah dibandingkan kadar cairnya. Nilai dalam kurung, yaitu Group Index (GI) = 35, menunjukkan bahwa tanah ini tergolong sangat buruk sebagai material dasar jalan; semakin tinggi nilai GI, semakin rendah kualitas tanah dalam hal kestabilan dan daya dukungnya.

Tanah 85% + FABA 15%

Hasil pengujian atterberg pada tanah 85% FABA 15% di dapatkan batas cair 61%, batas plastis 29%, dan indeks plastisitas 32%. Sampel pada variasi ini diklasifikasikan sebagai CH A-7-6(32). Angka 6 menandakan bahwa tanah memiliki indeks plastisitas tinggi, lebih tinggi dibandingkan kadar cairnya,

sehingga secara umum perilaku tanah menjadi lebih ekspansif. Nilai GI yang turun menjadi 32 mengindikasikan sedikit perbaikan sifat tanah, tetapi masih berada dalam kategori tanah bermutu rendah (Gambar 3).



Gambar 3. A. Grafik liquid limit tanah 85% + FABA 15%; B. Grafik plasticity chart tanah 85% FABA 15% (Sumber: Laboratorium Mekanika Tanah PT. Bukit Asam, 2025)

Tanah 75% + FABA 25%

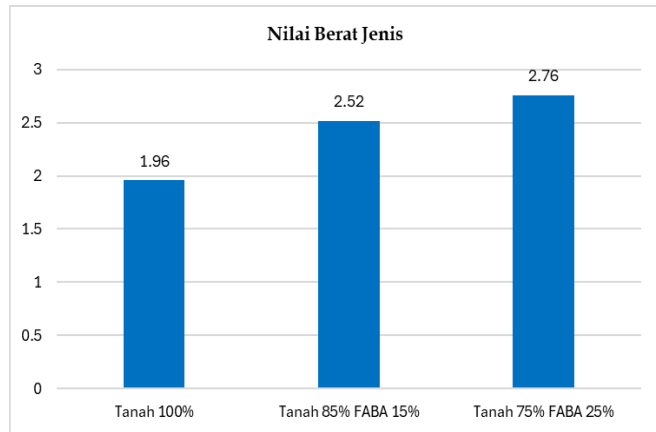
Hasil pengujian atterberg pada tanah 75% dan FABA 25% ini di dapatkan batas cair 61%, batas plastis 29%, dan indeks plastisitas 32%. Sampel variasi ini di klasifikasikan sebagai MH A-7-5(22). Dalam sistem USCS, tanah ini berubah klasifikasinya menjadi MH, yaitu lanau (M = silt) dengan plastisitas tinggi (H = high plasticity) Berdasarkan AASHTO, tanah ini termasuk dalam kelompok A-7-5(22). Meskipun tetap berada dalam subkelompok tanah plastis tinggi, nilai Group Index-nya menurun drastis menjadi 22. Penurunan GI dari 35 menjadi 22 menggambarkan adanya peningkatan mutu material, khususnya dalam hal kestabilan, daya dukung, dan kemungkinan penggunaan sebagai bahan timbunan atau lapisan dasar jalan.

Efek yang paling mencolok terlihat pada campuran tanah dengan 25% FABA. Nilai LL turun drastis menjadi 52, dan meskipun PL meningkat menjadi 34, indeks plastisitas menurun tajam menjadi 18. Penurunan PI ini sangat signifikan, mengindikasikan bahwa tanah menjadi jauh lebih kaku dan stabil, serta lebih mudah dalam proses pemadatan. Semakin rendah PI, semakin rendah juga potensi deformasi plastis akibat perubahan kadar air, yang menjadikan tanah lebih ideal untuk digunakan sebagai material timbunan, terutama di area yang mengalami fluktuasi kadar air yang tinggi seperti timbunan jalan atau tanggul. Campuran terbaik berdasarkan hasil ini adalah pada komposisi tanah 75% + FABA 25%, yang memberikan keseimbangan optimal antara sifat plastis dan kemampuan kerja lapangan.

Berdasarkan hasil analisis berta jenis menunjukkan bahwa penambahan FABA ke dalam campuran tanah secara signifikan meningkatkan nilai berat jenis. Hal ini menunjukkan bahwa FABA memiliki berat jenis yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanah asli (Gambar 4).

Penambahan FABA 25% menghasilkan nilai berat jenis tertinggi, yaitu 2,76, yang menunjukkan bahwa

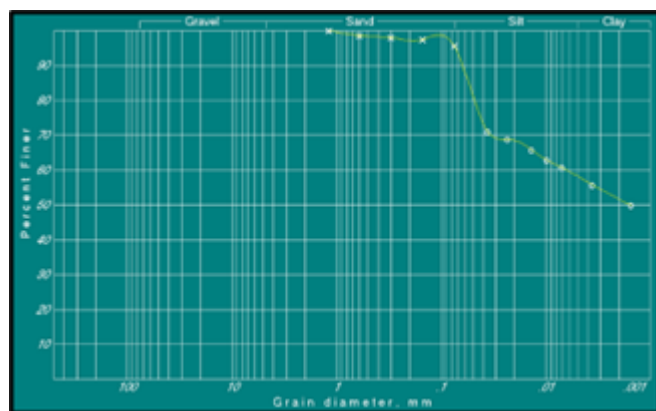
semakin tinggi persentase FABAs, semakin padat dan berat jenis tanah tersebut. Nilai berat jenis yang lebih tinggi biasanya berkorelasi dengan kepadatan butiran yang lebih baik, yang dapat meningkatkan kekuatan dan stabilitas tanah saat digunakan sebagai material timbunan.



Gambar 4. Grafik hasil berat jenis

Pengujian Grain Size Tanah 100%

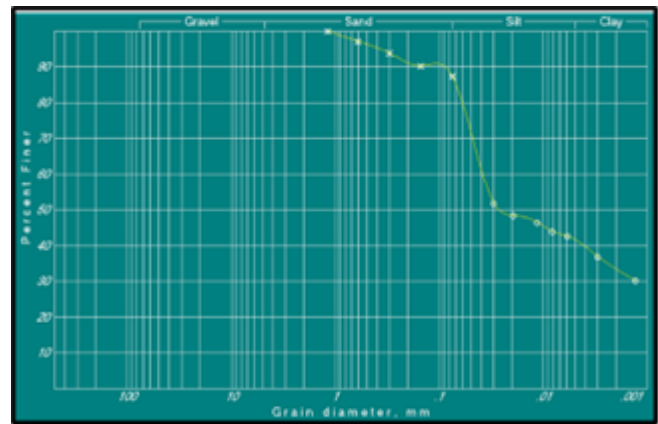
Berdasarkan grafik uji grain size bahwa sampel tanah 100% termasuk dalam kategori fat clay (lempung berplastisitas tinggi), dengan komposisi fraksi yaitu Pasir (Sand) 4,4%, Lanau (Silt) 37,3%, dan Lempung (Clay) 58,3%. Berdasarkan karakteristik tersebut, penggunaan tanah Fat Clay sebagai material timbunan tidak direkomendasikan secara langsung tanpa perlakuan atau stabilisasi terlebih dahulu (Gambar 5).



Gambar 5. Grafik hasil uji grain size tanah 100% (Sumber: Laboratorium Mekanika Tanah PT. Bukit Asam, 2025)

Tanah 85% FABAs 15%

Berdasarkan grafik bahwa sampel campuran yang terdiri dari 85% tanah asli dan 15% FABAs dikategorikan ke dalam kelompok fat clay (lempung berplastisitas tinggi), dengan komposisi fraksi sebagai berikut: pasir (sand) 12,6%, lanau (silt) 45,6%, dan lempung (clay) 41,8% (Gambar 6).



Gambar 6. Grafik hasil uji grain size tanah 85% FABAs 15% (Sumber: Laboratorium Mekanika Tanah PT. Bukit Asam, 2025)

Tanah 75% FABAs 25%

Berdasarkan grafik uji grain size bahwa sampel campuran yang terdiri dari 75% tanah asli dan 25% FABAs masuk dalam kategori elastic silt (lanau elastis), dengan komposisi fraksi sebagai berikut: pasir (sand) 4,5%, lanau (silt) 50,4%, dan lempung (clay) 44,1%. Meskipun klasifikasi elastic silt masih mengandung kelemahan dari sisi kekuatan dibandingkan tanah granular, namun dengan perlakuan yang tepat (misalnya kontrol kadar air, desain lapisan penutup, dan sistem drainase yang baik), tanah ini berpotensi layak digunakan sebagai material timbunan jalan, terutama pada proyek-proyek berskala menengah hingga rendah.

Pengujian Kompaksi

Berdasarkan data hasil uji kompaksi pada campuran tanah dengan variasi penambahan FABAs, diperoleh hasil bahwa nilai kerapatan kering maksimum ($\gamma_{dry\ max}$) mengalami peningkatan seiring bertambahnya proporsi FABAs dalam campuran. Campuran tanah murni (100%) memiliki $\gamma_{dry\ max}$ sebesar 11,98 kN/m³, sedangkan pada campuran 85% tanah + 15% FABAs meningkat menjadi 12,70 kN/m³, dan mencapai nilai tertinggi sebesar 12,91 kN/m³ pada campuran 75% tanah + 25% FABAs.

Selain itu, kadar air optimum (OMC) yang diperlukan untuk mencapai kerapatan maksimum juga menunjukkan tren penurunan seiring bertambahnya persentase FABAs. Tanah asli memerlukan kadar air optimum sebesar 38,89%, sedangkan campuran dengan FABAs 15% turun menjadi 33,00%, dan semakin rendah pada campuran FABAs 25% yakni sebesar 31,75%.

Dengan demikian, berdasarkan hasil kompaksi yang diperoleh, campuran Tanah 75% + FABAs 25% dapat disimpulkan sebagai alternatif yang paling potensial digunakan sebagai material konstruksi timbunan jalan, baik dari segi teknis (kepadatan dan efisiensi kadar air) maupun dari aspek keberlanjutan lingkungan (Tabel 2).

Tabel 2. Data hasil pengujian kompaksi

	Tanah 100%	Tanah 85% FABA 15%	Tanah 75% FABA 25%
Kerapatan kering maksimum (γ dry max) (kN/m^3)	11.98	12.70	12.91
Kadar air optimum (%)	38.89	33.00	31.75

(Sumber: Laboratorium Mekanika Tanah PT. Bukit Asam, 2025)

Pengujian CBR

California bearing ratio (CBR) adalah perbandingan antara beban penetrasi suatu bahan terhadap bahan standar pada kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Berikut data dan perhitungan masing-masing sampel pada perlakuan sebelum perendaman dan setelah perendaman:

Tabel 3. Data hasil pengujian kompaksi sebelum perendaman

Sampel	CBR ₀₁	CBR ₀₂
Tanah 100%	1.23	1.22
Tanah 85% FABA 15%	2.61	2.67
Tanah 75% FABA 25%	10.54	11.08

(Sumber: Laboratorium Mekanika Tanah PT. Bukit Asam, 2025)

Hasil perhitungan nilai CBR dari sampel (Tabel 3), maka dapat membentuk grafik pnetrasi vs beban penetrasi sebelum perendaman (Gambar 7).



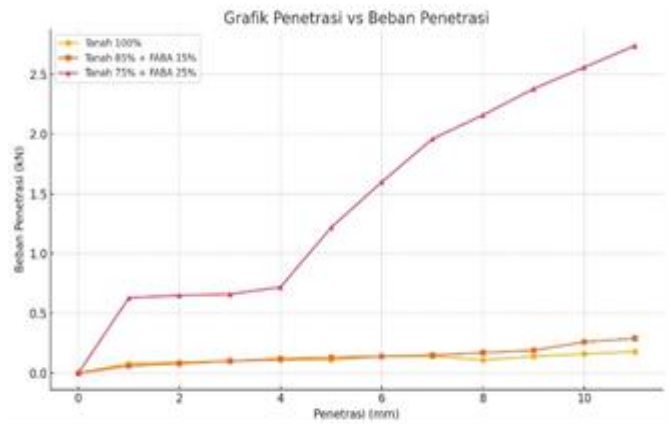
Gambar 7. Grafik pnetrasi vs beban penetrasi sebelum perendaman

Tabel 4. Data hasil pengujian kompaksi setelah perendaman

Sampel	CBR ₀₁	CBR ₀₂
Tanah 100%	0.70	0.71
Tanah 85% FABA 15%	1.49	1.55
Tanah 75% FABA 25%	9.12	9.21

(Sumber: Laboratorium Mekanika Tanah PT. Bukit Asam, 2025)

Hasil perhitungan nilai CBR dari sampel (Tabel 4), maka dapat membentuk grafik pnetrasi vs beban penetrasi sebelum perendaman (Gambar 8).



Gambar 8. Grafik pnetrasi vs beban penetrasi sesudah perendaman

Berdasarkan hasil uji CBR, tanah asli tanpa campuran FABA menunjukkan nilai yang sangat rendah, yaitu hanya sekitar 1,22% sebelum perendaman dan turun menjadi 0,70% setelah perendaman. Setelah dilakukan pencampuran FABA sebesar 15%, terjadi peningkatan nilai CBR menjadi 2,61% dalam kondisi kering dan 1,44% setelah perendaman. peningkatan signifikan terlihat pada campuran tanah dengan 25% FABA, yang menghasilkan nilai CBR sebesar 10,54% sebelum perendaman dan 8,12% setelah perendaman.

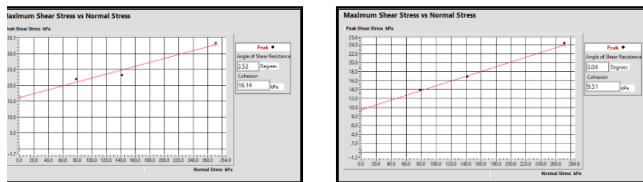
Secara umum, dapat disimpulkan bahwa campuran FABA sebesar 25% menunjukkan hasil paling optimal dan layak direkomendasikan untuk digunakan sebagai material timbunan pada lapisan subgrade atau subbase dalam konstruksi jalan

Pengujian Direct Shear

Pengujian kuat geser dilakukan menggunakan alat direct shear yang terintegrasi langsung dengan komputer sehingga data hasil pengujian dapat terekam secara otomatis. Selama proses pengujian, data dimonitor secara real time melalui DS 7.3 Application yang terhubung dengan alat DX. Aplikasi tersebut menampilkan hasil pengujian baik dalam bentuk grafik maupun tabel sehingga memudahkan proses pengamatan.

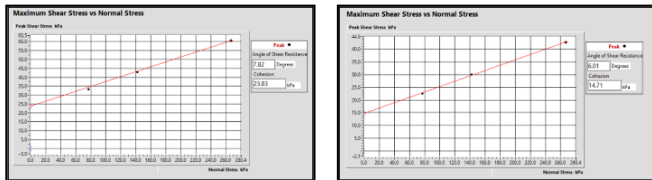
Tahap evaluasi dilakukan dengan mengelompokkan dan menggabungkan data hasil pengujian peak dan residual dari setiap sampel uji, yaitu sampel A, B, dan C. Setiap sampel tanah dipotong menjadi tiga bagian untuk memastikan konsistensi pengujian. Masing-masing bagian sampel kemudian diuji sebanyak dua kali. Pengujian ini bertujuan untuk memperoleh nilai kuat geser peak pada kondisi sampel masih utuh serta nilai kuat geser residual setelah sampel mengalami kegagalan akibat pergeseran.

Hasil pengujian didapatkan grafik antara nilai Normal Stress dan nilai Shear Stress seperti pada Gambar 9, 10, dan 11.



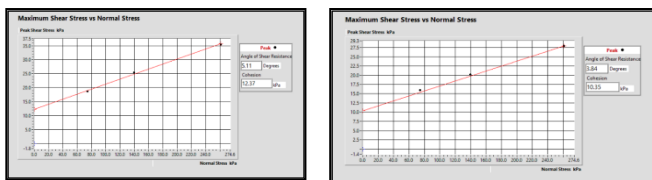
Gambar 9. A. Grafik nilai *peak* tanah 100% B. Grafik nilai *residual* tanah 100%

Tanah 85% FABA 15%



Gambar 10. A. Grafik nilai *peak* tanah 85% FABA 15% B. Grafik nilai *residual* tanah 85% FABA 15%

Tanah 75% FABA 25%



Gambar 11. A. Grafik nilai *peak* tanah 75% FABA 25% B. Grafik nilai *esidual* tanah 75% FABA 25%

Berdasarkan grafik tersebut didapatkan nilai sudut geser dan nilai kohesi dari masing masing sampel (Tabel 5).

Tabel 1. Data hasil uji **Direct Shear**

Sampel	Sudut Geser (Peak) (°)	Kohesi (Peak) (kPa)	Sudut Geser (Residual) (°)	Kohesi (Residual) (kPa)
Tanah 100%	3.57	16.14	3.04	9.51
Tanah 85% FABA 15%	5.11	12.37	3.84	10.35
Tanah 75% FABA 25%	7.86	28.83	6.01	14.71

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan FABA secara bertahap pada tanah asli berdampak positif terhadap peningkatan karakteristik geser tanah. Sudut geser mengalami peningkatan yang cukup signifikan seiring bertambahnya persentase FABA dalam campuran. Campuran dengan 75% tanah dan 25% FABA mencatatkan sudut geser tertinggi, yaitu 7.84° pada titik peak dan 6.01° pada titik residual.

Nilai kohesi juga menunjukkan tren yang menarik. Penambahan FABA sebesar 15%, kohesi justru mengalami penurunan dari nilai awal 16.14 kPa (tanah asli) menjadi 12.37 kPa. Namun, dengan peningkatan kadar FABA menjadi 25%, kohesi melonjak drastis menjadi 23.83 kPa pada titik peak dan 14.71 kPa pada

titik residual menjadi yang tertinggi di antara semua variasi komposisi.

Jika dilihat dari keseluruhan hasil pengujian, maka dapat disimpulkan bahwa komposisi campuran tanah 75% dengan penambahan 25% FABA memberikan kinerja teknis terbaik dalam konteks kekuatan geser. Hal ini sangat penting dalam konteks aplikasi sebagai tanah timbunan, karena mencerminkan kemampuan material untuk menahan beban berulang atau jangka panjang tanpa mengalami penurunan kekuatan yang signifikan. Dalam praktik konstruksi, stabilitas jangka panjang merupakan faktor krusial, terutama untuk struktur seperti tanggul, badan jalan, atau urugan reklamasi.

Kesimpulan

Karakteristik fisik tanah asli di daerah TAL MTB dilihat dari kandungan air dan Berat Jenis Tanah (G_s) menunjukkan bahwa tanah pada area TAL MTB ini memiliki kadar air yang tinggi sebesar 46,39% jika dibandingkan dengan batas optimum kadar air untuk tanah yang akan dijadikan material timbunan. Memiliki berat jenis tanah yang rendah, tanah seperti ini tidak cocok dijadikan sebagai konstruksi timbunan jalan.

Kadar air optimum (OMC) dan berat isi kering maksimum didapatkan pada pengujian pemadatan tanah pada variasi kompaksi campuran FABA 25%, dengan nilai Kadar air optimum 31,75% dan nilai berat isi kering maksimum 12,70 kN/m³. Hal ini sangat penting untuk aplikasi rekayasa sipil seperti konstruksi jalan di mana ketahanan terhadap beban dan deformasi sangat diperlukan.

Berdasarkan hasil uji direct shear yaitu komposisi 25% FABA dengan nilai kuat tekan sebesar 37,58 kPa, terbukti secara konsisten menghasilkan perbaikan pada sudut geser dalam, kohesi, serta kuat geser total, sehingga tanah dengan campuran FABA 25% sangat layak dijadikan sebagai tanah untuk konstruksi timbunan jalan.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Tim Satuan Kerja Laboratorium Mekanika Tanah (Eksplorasi & Geoteknik) yang telah memberikan bantuan teknis dan fasilitas yang diperlukan selama proses pengujian berlangsung. Bantuan dan kerja sama dari pihak-pihak terkait berperan penting dalam kelancaran dan keberhasilan penelitian ini.

Referensi

Aditama, R., Akib, M., Despa, D., & Setiawan, A. (2021). Pengelolaan Fly Ash dan Bottom Ash Pltu Tarahan Setelah Berlakunya Undang-Undang Cipta Kerja. *Journal Transformation of Mandalika*, 2(1), 172-181. doi:https://doi.org/10.36312/jtm.v2i1.711

Aslam, A.W., Sulfanita, A., Hendro, Hakzah, &

- Hamsyah. (2025). Penambahan limbah bottom ash sebagai substitusi pasir dan fly ash sebagai substitusi semen pada campuran beton. *Jurnal Teknik SILITEK*, 5(2), 643-650. doi:<https://doi.org/10.51135/hnbg2h06>
- Mujahidin, P.R., Setiawan, M.F., Rochim, A., & Fitriyana, L. (2024). Analisis CBR Tanah Lempung dengan penambahan Fly Ash dan Bottom Ash (FABA). *Jurnal Ilmiah Sultan Agung Universitas Islam Sultan Agung Semarang*, 3(1), 3-12. <https://jurnal.unissula.ac.id/index.php/JIMU/article/view/46626/13050>
- Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah Jilid 1 (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik)*. Jakarta, Indonesia: Penerbit Erlangga.
- Fatin, Q. (2024). Analisis Studi Stabilisasi Tanah Lempung dengan Campuran Polimer Silikon Terhadap Uji Pemadatan dan Uji Nilai CBR Tanpa Rendaman pada Kawasan Deltamas Cikarang Pusat Kabupaten Bekasi (Skripsi). Universitas Sangga Buana YPKP Bandung. <http://repository.usbypkp.ac.id/id/eprint/4491>
- Iman, M.B. & Syafira, F. (2024). Analisis Peraturan Pemerintah Nomor 22 tahun 2021 Terkait Fly Ash & Bottom Ash. *Proceeding Masyarakat Hukum Kesehatan Indonesia*, 1(01), 283-296. <https://rumah-jurnal.com/index.php/pmhki/article/view/214>
- Kuswanda, W.P. (2016). Perbaikan tanah lempung lunak metoda preloading pada pembangunan infrastruktur transportasi di Pulau Kalimantan. *Prosiding Seminar Nasional Geoteknik PS S2 Teknik Sipil Unlam, Banjarmasin*, 188-207. <http://dx.doi.org/10.20527/infotek.v0i0.3064>
- Pahlevi, R., Thamrin, S., Ahmad, I., & Nugroho, F. B. (2024). Masa depan pemanfaatan batubara sebagai sumber energi di indonesia. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 5(2), 50-60. <https://doi.org/10.14710/jebt.2024.22973>
- Putra, C. E., & Makarim, C. A. (2020). Analisis alternatif perbaikan tanah lunak dan sangat lunak pada jalan tol. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 1137-1150. <https://doi.org/10.24912/jmts.v3i4.8382>
- Ramadhanti, N. N., Ilmi, N. N., & Sunardi, E. (2024). Evaluasi Karakteristik Batuan Induk Berdasarkan Data Geokimia Dalam Menentukan Potensi Hidrokarbon Pada Cekungan Sumatera Selatan. *Geoscience Journal*, 8(2), 1973-1981. <https://doi.org/10.24198/pgj.v8i2.57219>