

EVALUASI SIFAT FISIS DAN MEKANIS TANAH LEMPUNG YANG DISTABILISASI DENGAN FLY ASH

Mulizar¹, Supardin², Iskandar^{3*}, Bakhtiar⁴, Maya Indah⁵

^{1, 2, 3, 4} Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe

⁵ Mahasiswa Program Studi Teknologi Knnstruksi Jalan dan Jembatan Jurusan Teknik Sipil

Politeknik Negeri Lhokseumawe

Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 Indonesia

¹mulizar@pnl.ac.id

Abstrak— Tanah lempung memiliki sifat kembang-susut yang tinggi sehingga kurang baik sebagai lapisan dasar konstruksi. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi perubahan sifat fisis dan mekanis tanah lempung akibat penambahan fly ash, serta menentukan komposisi optimum untuk meningkatkan nilai *California Bearing Ratio* (CBR). Sampel tanah merupakan jenis tanah lempung yang dikelompokkan sebagai A-7-5(12) pada sistem klasifikasi AASHTO. Variasi campuran fly ash 0%, 15%, 30%, dan 45% dari berat tanah sampel. Pengujian meliputi berat jenis, batas Atterberg, Proctor standar, serta CBR (soaked dan unsoaked). Hasil menunjukkan bahwa fly ash menurunkan berat jenis dari 2,67 menjadi 2,61 dan menurunkan batas cair dari 57,08% menjadi 46,40%, sementara indeks plastisitas meningkat hingga 20,04%. Nilai kerapatan kering maksimum menurun dari 1,57 g/cm³ menjadi 1,34 g/cm³, sedangkan kadar air optimum meningkat dari 22,20% menjadi 30,20%. Nilai CBR *unsoaked* meningkat dari 12,7% menjadi 18,2% pada campuran 45%, tetapi CBR *soaked* menurun dari 4,9% menjadi 4,4%. Nilai *swelling* juga meningkat dari 3,49% menjadi 13,32%. Secara keseluruhan, fly ash dapat meningkatkan daya dukung tanah lempung pada kondisi tanpa rendaman, namun meningkatkan plastisitas dan potensi pengembangan.

Kata kunci— tanah lempung, fly ash, stabilisasi tanah, sifat fisis, sifat mekanis

Abstract— Clay soil has high shrink-swell characteristics, making it unsuitable as a subgrade layer for construction. This study aims to evaluate the changes in the physical and mechanical properties of clay soil due to the addition of fly ash, and to determine the optimum composition to improve the California Bearing Ratio (CBR) value. The soil sample is a type of clay soil classified as A-7-5(12) under the AASHTO classification system. The fly ash mixture variations are 0%, 15%, 30%, and 45% of the soil sample weight. Testing. Laboratory tests included specific gravity, Atterberg limits, Standard Proctor, and CBR (soaked and unsoaked). The results show that fly ash reduced the specific gravity from 2.67 to 2.61 and decreased the liquid limit from 57.08% to 46.40%, while the plasticity index increased up to 20.04%. The maximum dry density decreased from 1.57 g/cm³ to 1.34 g/cm³, while the optimum moisture content increased from 22.20% to 30.20%. Unsoaked CBR values increased from 12.7% to 18.2% at 45% mixture, but soaked CBR values decreased from 4.9% to 4.4%. Swelling values also increased from 3.49% to 13.32%. Overall, fly ash improves the load-bearing capacity of clay soil under unsoaked conditions, although it increases plasticity and swelling potential.

Keywords— clay soil, fly ash, soil stabilization, physical properties, mechanical properties

I. PENDAHULUAN

Tanah lempung banyak ditemukan di lapangan sebagai lapisan dasar konstruksi jalan, namun memiliki daya dukung rendah dan sifat kembang-susut tinggi. Hal ini menimbulkan kerusakan seperti retak, penurunan, dan deformasi pada konstruksi. Salah satu upaya perbaikan adalah stabilisasi tanah menggunakan bahan tambah. Fly ash, sisa pembakaran batu bara, mengandung silika dan alumina yang dapat bereaksi pozzolanik sehingga mengikat partikel tanah. Dengan demikian, fly ash berpotensi meningkatkan kekuatan tanah sekaligus mengurangi limbah industri

Mengingat potensi tersebut maka dilakukan penelitian penggunaan fly ash sebagai bahan stabilisasi tanah yang bertujuan untuk mengetahui perubahan sifat fisis, sifat mekanis dan mengukur persentase *fly ash* ideal untuk meningkatkan nilai CBR tanah lempung.

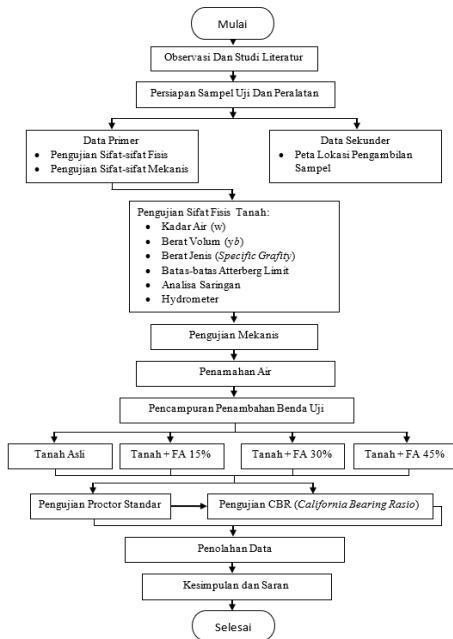
Material yang digunakan adalah tanah lempung yang berasal dari Lhoksukon Kabupaten Aceh Utara dan fly ash berasal dari sisa pembakaran batu bara PLTU Nagan Raya Kabupaten Nagan Raya Propinsi Aceh.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Sampel yang digunakan adalah tanah lempung dikelompokkan sebagai A-7-5(12) pada sistem klasifikasi AASHTO dan dikategorikan MH pada sistem klasifikasi USCS. Sampel dibuat dengan memvariasikan campuran fly ash 0%, 15%, 30%, dan 45% dari berat total benda uji. Pengujian laboratorium dilakukan berdasarkan standar SNI meliputi:

1. Berat jenis (Gs) ^[1]
2. Batas Atterberg (LL^[2], PL^[3], PI^[3])
3. Uji Proctor standar (γ_d max) ^[4]
4. Uji CBR laboratorium kondisi *unsoaked* ^[5]
5. Uji CBR laboratorium kondisi *soaked* ^[5]
6. Uji swelling ^[6].

Tahapan pengujian diperlihatkan pada bagan alir Gambar 1.



Gambar 1. Bagan alir penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian diperlihatkan pada Tabel 1.

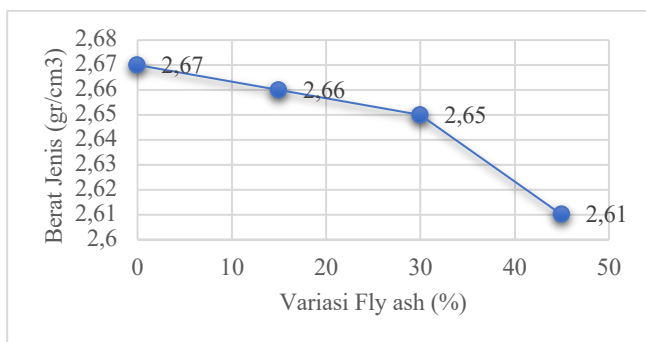
Tabel 1 Hasil pengujian

Variasi (%)	Berat Jenis gr/cm ³	LL (%)	PL (%)	PI (%)	OMC (%)	γ _d max (g/cm ³)	CBR Unsoaked (%)
0	2.67	57.08	41.81	15.27	22.20	1.57	12.7
15	2.66	47.66	31.21	16.45	22.50	1.50	12.9
30	2.65	47.63	29.98	17.65	29.50	1.41	13.7
45	2.61	46.40	26.36	20.04	30.20	1.34	18.2

Tabel 1 memperlihatkan bahwa penambahan fly ash pada semua variasi mengakibatkan terjadinya perubahan sifat fisis dan mekanis tanah. Perubahan tersebut lebih lanjut dijelaskan sebagai berikut,

1. Berat Jenis

Efek penambahan fly ash pada tanah lempung diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Hubungan variasi fly ash dan berat jenis

Gambar 2 menunjukkan adanya **penurunan berat jenis** seiring dengan bertambahnya persentase fly ash yang

dicampurkan. Penurunan relatif kecil pada 0–30%, tetapi menjadi lebih signifikan pada campuran 40%.

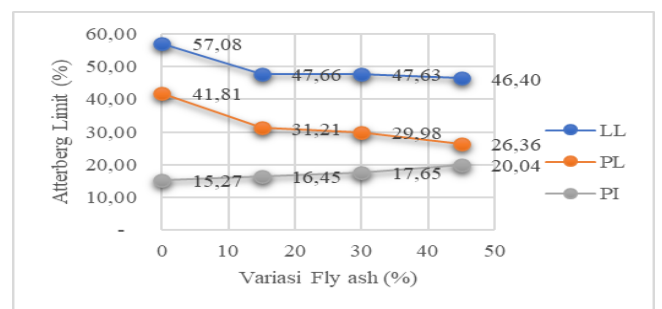
Fly ash memiliki berat jenis lebih rendah dibandingkan partikel tanah asli, sehingga semakin tinggi kandungan fly ash, semakin berkurang berat jenis campuran.

Penurunan ini menunjukkan bahwa penambahan fly ash dapat membuat campuran tanah menjadi lebih ringan.

Campuran tanah dengan fly ash berpotensi menghasilkan material yang lebih ringan, yang dapat bermanfaat dalam aplikasi konstruksi tertentu (misalnya untuk mengurangi beban struktur). Namun, perlu diperhatikan efek terhadap **sifat mekanis** lain seperti kuat tekan, daya dukung, dan kepadatan maksimum.

2. Batas Atterberg

Parameter atterberg yaitu batas cair (LL), batas plastis (PL) dan Indeks plastis PI) untuk setiap variasi fly ash diperlihatkan pada grafik Gambar 3



Gambar 3 Hubungan variasi fly ash dan batas atterberg

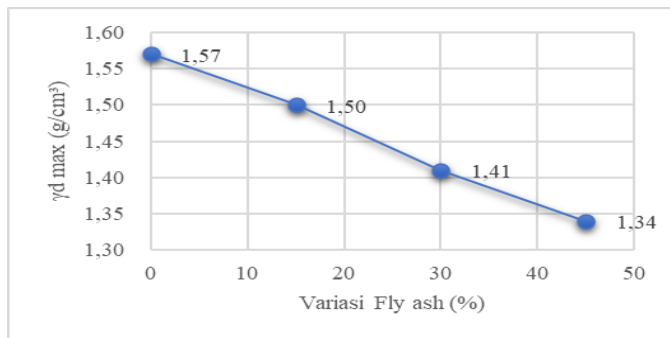
Semua parameter Atterberg Limit mengalami **penurunan signifikan** seiring penambahan fly ash. Penurunan PL lebih tajam dibandingkan LL, sehingga PI juga ikut menurun.

Penurunan LL menunjukkan berkurangnya kadar air yang dibutuhkan tanah untuk berubah dari kondisi plastis ke cair. Penurunan PL menunjukkan tanah menjadi kurang plastis, lebih cepat kehilangan sifat kohesifnya. PI yang semakin kecil berarti tanah semakin **non-plastis**, menunjukkan perbaikan sifat tanah lempung menjadi lebih stabil. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yaitu pengaruh bahan tambah fly ash terhadap karakteristik tanah lempung ekspansif ialah mengalami penurunan dari uji batas konsistensi tanah seperti LL, PL dan PI [7]

Penambahan fly ash dapat **meningkatkan stabilitas tanah**, karena mengurangi sifat plastisitas yang berlebihan pada tanah lempung. Tanah dengan PI rendah biasanya lebih baik digunakan sebagai material timbunan dan lapisan tanah dasar jalan karena lebih stabil terhadap perubahan kadar air.

3. Uji Proctor

Hasil uji proctor untuk setiap variasi campuran fly ash disampaikan pada Gambar 4.



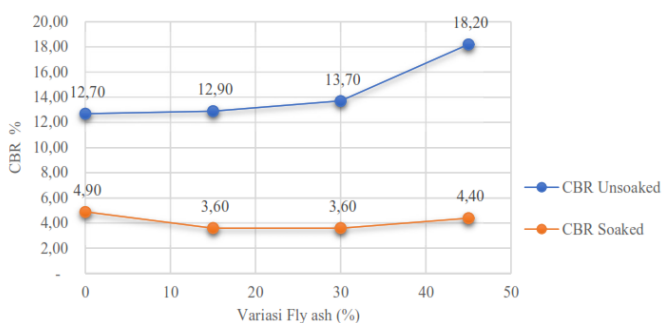
Gambar 4. Hasil uji proctor untuk variasi fly ash

Gambar 4 memperlihatkan bahwa kepadatan kering maksimum (γ_d max) menurun seiring dengan bertambahnya persentase fly ash. Penurunan cukup signifikan, dari 1,57 g/cm³ (tanpa fly ash) menjadi 1,34 g/cm³ pada variasi 45%.

Fly ash memiliki berat jenis yang lebih rendah dibandingkan partikel tanah asli. Oleh karena itu, semakin banyak fly ash yang ditambahkan, semakin kecil berat isi kering maksimum tanah yang dicapai. Penurunan γ_d max menunjukkan bahwa kepadatan maksimum campuran tanah + fly ash menjadi lebih rendah. Penambahan fly ash dapat menurunkan kepadatan maksimum tanah juga diperoleh dari penelitian lain Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan presentasi fly ash dari 50% menjadi 70% terhadap bahan campuran antara fly ash dan fill material menurunkan maximum dry density dari 1.44 t/m³ menjadi 1.20 t/m³[8]

Walaupun penambahan fly ash mengurangi kepadatan maksimum, fly ash tetap berfungsi sebagai material stabilisasi karena dapat meningkatkan sifat **kekuatan tanah** melalui reaksi pozzolanik. Artinya, meskipun berat isi kering maksimum turun, stabilitas dan daya dukung tanah bisa meningkat pada kadar fly ash tertentu.

4. Nilai CBR



Gambar 5 Hasil uji CBR untuk variasi fly ash

Gambar 5 memperlihatkan untuk kondisi **unsoaked** (kering/tidak jenuh air), **kondisi awal (tanpa fly ash)**: nilai CBR = 12,70%, yang berarti cukup baik untuk tanah lempung asli namun masih memiliki keterbatasan. **Fly ash 15–30%**: Peningkatan CBR relatif kecil. Hal ini menunjukkan bahwa pada kadar ini reaksi pozzolanik antara fly ash dengan mineral tanah belum optimal. **Fly ash 45%**: terjadi lonjakan CBR (18,20%). Ini menandakan bahwa kandungan fly ash yang tinggi memberikan ikatan tambahan melalui reaksi kimia (pembentukan kalsium silikat hidrat/CSH), sehingga memperkuat struktur tanah.

CBR unsoaked yang meningkat menandakan bahwa tanah hasil stabilisasi dengan fly ash memiliki daya dukung yang lebih tinggi pada kondisi tidak jenuh air. Dengan CBR 18,20%, tanah yang distabilisasi berpotensi lebih layak digunakan sebagai lapisan tanah dasar jalan (subgrade), karena memenuhi syarat minimum CBR untuk konstruksi jalan menurut standar Bina Marga (umumnya $\geq 6\%$).

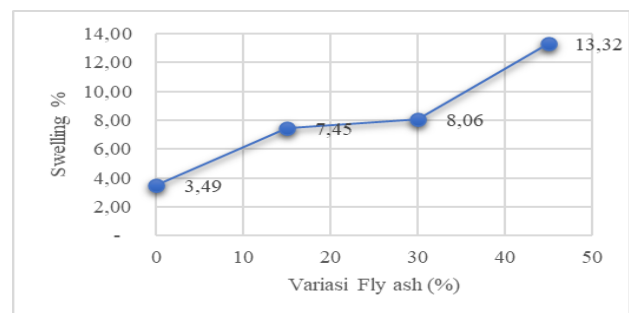
Sementara untuk kondisi **soaked** pola perubahan tanpa fly ash, nilai CBR soaked = 4,90%. Penambahan fly ash 15–30% justru menurunkan nilai CBR menjadi 3,60%. Pada 45% fly ash, terjadi sedikit peningkatan kembali ke 4,40%, meskipun masih lebih rendah dari kondisi awal.

Nilai CBR soaked 4,90% menunjukkan tanah lempung asli cukup lemah bila jenuh air. Air merusak ikatan antar partikel, sehingga daya dukung turun drastis dibanding kondisi unsoaked. Fly ash 15–30%: CBR turun ke 3,60%. Hal ini terjadi karena meskipun fly ash berfungsi sebagai bahan stabilisasi, kadar yang belum optimal tidak mampu menahan pengaruh negatif air. Ikatan antar partikel yang terbentuk belum cukup kuat untuk mempertahankan daya dukung pada kondisi jenuh. Fly ash 45%: terjadi peningkatan ke 4,40%. Ini menunjukkan pada kadar tinggi, fly ash mulai bekerja efektif membentuk ikatan pozzolanik (CSH) yang lebih tahan terhadap air, walaupun peningkatannya tidak sebesar pada kondisi unsoaked. Peningkatan nilai CBR tanah akibat penambahan fly ash juga diperoleh dari penelitian sebelumnya, dimana CBR dengan variasi campuran 0% sampai dengan 20% terus meningkat hingga mencapai titik puncak pada persentase 17,5% dengan nilai CBR 20,63%[7].

Secara umum, nilai CBR soaked jauh lebih rendah daripada unsoaked. Ini wajar karena kondisi jenuh air memperlemah tanah lempung. Penambahan fly ash hanya efektif pada kadar tinggi (45%), tetapi tetap belum bisa mengembalikan CBR soaked ke level awal (4,90%). Untuk aplikasi lapangan yang sering terendam air, penggunaan fly ash saja kurang cukup, perlu kombinasi dengan bahan lain (misalnya kapur/semen) atau perbaikan sistem drainase agar tanah dasar tidak jenuh.

5. Swelling

Hasil uji swelling/pengembangan diperlihatkan pada grafik Gambar 6.



Gambar 6. Hubungan variasi Fly ash dengan swelling

Gambar 6 menunjukkan Pola Perubahan nilai swelling meningkat seiring bertambahnya persentase fly ash. Kenaikan paling tajam terjadi pada variasi 45%, yaitu mencapai 13,40%.

Tanpa fly ash (0%): Swelling relatif rendah (3,60%), menunjukkan tanah asli masih memiliki potensi pengembangan yang kecil. **fly ash 15–30%:** Swelling meningkat menjadi 7,50–8,00%. Hal ini menandakan bahwa penambahan fly ash menyebabkan perubahan sifat tanah sehingga lebih mudah

menyerap air dan mengalami pengembangan. **Fly ash 45%**. Terjadi peningkatan signifikan menjadi 13,40%. Ini mengindikasikan bahwa pada kadar tinggi, fly ash justru menambah sifat ekspansif tanah. Fly ash yang bersifat halus dan reaktif memungkinkan terikatnya lebih banyak air dalam pori tanah, sehingga menyebabkan pengembangan lebih besar. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian lain yaitu, tanah terstabilisasi dengan presentase fly ash 15% + abu sekam padi 5% mengalami peningkatan nilai swelling sebesar 0,66%^[9]

Penambahan fly ash tidak selalu memperbaiki sifat swelling tanah lempung, justru pada kadar tinggi dapat memperburuk sifat ekspansifnya. Swelling yang tinggi dapat menimbulkan masalah pada konstruksi jalan atau fondasi karena menyebabkan **retak, gelombang, atau deformasi**. Oleh karena itu, untuk aplikasi pada tanah yang rentan mengembang, fly ash sebaiknya dikombinasikan dengan bahan stabilisasi lain (misalnya **kapur atau semen**) agar efek pengembangan bisa ditekan.

Berdasarkan hasil pengujian sifat fisis dan mekanis diketahui bahwa variasi fly ash 45 merupakan komposisi yang paling ideal. Pada variasi tersebut nilai berat jenis 2,61 gr/cm³, LL = 46,4%, PL = 26,36%, PI = 20,04%, γ_d max 1,34 gr/cm³, CBR unsoaked 18,20%, CBR soaked 4,40% dan swelling 13,32%.

IV. KESIMPULAN

1. Penambahan fly ash pada tanah lempung menurunkan berat jenis dari 2,67 gr/cm³ menjadi 2,61 gr/cm³ dan menurunkan batas cair (LL) dari 57,08% menjadi 46,40%. Namun, indeks plastisitas (PI) meningkat hingga 20,04%, yang menunjukkan adanya perubahan signifikan pada sifat plastisitas tanah.
2. Kepadatan kering maksimum (γ_d max) menurun dari 1,57 g/cm³ menjadi 1,34 g/cm³, Hal ini menandakan campuran tanah-fly ash lebih ringan, namun membutuhkan kadar air lebih tinggi untuk mencapai pemadatan maksimum
3. Daya dukung tanah (CBR):
Kondisi unsoaked meningkat dari 12,70% menjadi 18,20% pada variasi 45% fly ash.
4. Swelling meningkat seiring bertambahnya fly ash, dari 3,49% menjadi 13,32%. Ini menunjukkan adanya risiko pengembangan tanah yang lebih tinggi pada kadar fly ash besar.
5. Variasi 45% fly ash menghasilkan kondisi paling optimum dari segi peningkatan nilai CBR unsoaked, meskipun di sisi lain perlu diwaspadai potensi swelling yang meningkat.

REFERENSI

- [1] SNI 1964:2008, (2008), *Cara Uji Berat Jenis Tanah*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- [2] SNI 1967:2008, (2008), *Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- [3] SNI 1966:2008, (2008), *Cara Uji Penentuan Batas Plastis dan Indeks Plastisitas Tanah*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta..
- [4] SNI 1743:2008, (2008), *Cara Uji Kepadatan Berat untuk Tanah*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- [5] SNI 1744:2012, (2012), *Metode Uji CBR Laboratorium*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- [6] SNI 6795:2018, (2018), *Metode Uji Menentukan Tanah Ekspansif*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- [7] Setyono, E., Sunarto, S., & Wirasetiyo, K. (2018). *Pengaruh Bahan Tambah Fly Ash Terhadap Karakteristik Tanah Lempung Ekspansif di Daerah Dringu Kabupaten Probolinggo*. *Jurnal Media Teknik Sipil*, 16(1), 29–34. <https://doi.org/10.22219/jmts.v16i1.5452>
- [8] Situngkir, H. P., Nugraha, A. S., & Riyadi, S. (2025). Effect of Fly Ash Percentage on Compaction Parameters of a Fill Material. *Jurnal Teknik Sipil*, 21(1), 80–92. <https://doi.org/10.28932/jts.v21i1.9694>
- [9] Ukhrowiyah, S. (2021), *Stabilisasi Tanah Lempung Untuk Mengetahui Pengaruh Uji Durabilitas Terhadap Daya Dukung Dan Swelling Menggunakan Fly Ash Dan Abu Sekam Padi*, Universitas Islam Indonesia, <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/34468>.