



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

# EFEKTIVITAS *FLY ASH* DALAM STABILISASI TANAH EKSPANSIF SEBAGAI TANAH DASAR

HERLINA AULIA DAULAY



PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL DAN LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2026

## PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Efektivitas *Fly Ash* dalam Stabilisasi Tanah Ekspansif sebagai Tanah Dasar” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Agustus 2026

Herlina Aulia Daulay  
F0507251029



## RINGKASAN

HERLINA AULIA DAULAY. Efektivitas *Fly Ash* dalam Stabilisasi Tanah Ekspansif sebagai Tanah Dasar. Dibimbing oleh HERIANSYAH PUTRA dan ERIZAL.

Tanah ekspansif banyak dijumpai di Indonesia dan menjadi permasalahan pada pekerjaan tanah dasar karena potensi kembang-susut akibat perubahan kadar air dapat mengganggu kestabilan serta menurunkan daya dukung perkerasan. Penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas *fly ash* kelas C terhadap ekspansivitas, CBR, mikrostruktur, serta menganalisis korelasi *fly ash* terhadap ekspansivitas dan CBR melalui regresi linear berganda. Pengujian dilakukan pada tanah ekspansif rendah, sedang, dan tinggi dengan penambahan *fly ash* 5%, 10%, dan 15% melalui *curing* 7 hari pada kondisi *unsoaked* dan *soaked*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan 15% *fly ash* menurunkan indeks plastisitas sebesar 45,09%, 22,50%, dan 22,06%, serta *swelling* sebesar 25,86%, 59,09%, dan 64,94% pada tanah ekspansif rendah, sedang, dan tinggi. Seluruh sampel memenuhi batas minimum CBR efektif 6% menurut Bina Marga, dengan peningkatan CBR *unsoaked* sebesar 3,17 kali lipat, 3,63 kali lipat, dan 3,54 kali lipat, serta CBR *soaked* sebesar 2,47 kali lipat, 2,67 kali lipat, dan 2,93 kali lipat dibandingkan tanah asli. Analisis SEM dan XRD menunjukkan montmorilonit turun menjadi 0,2%, terbentuk CSH 0,3%, serta struktur tanah lebih padat dan terflokulasi. Analisis regresi menunjukkan korelasi yang kuat antara kadar *fly ash*, ekspansivitas tanah, dan nilai CBR. Persamaan terbaik diperoleh pada parameter *swelling* ( $S = 0,297IP - 0,128FA$ ) dengan  $R^2$  0,923, CBR *soaked* ( $CBR = 3,581 + 0,260FA - 0,194S$ ) dengan  $R^2$  0,962, dan CBR *unsoaked* ( $CBR = 5,296 + 0,457FA - 0,143IP$ ) dengan  $R^2$  0,858. Hasil analisis regresi tersebut dapat digunakan sebagai acuan awal untuk memperkirakan nilai CBR tanah lempung yang distabilisasi dengan *fly ash* hingga penggunaan kadar 15%.

Kata kunci: CBR, indeks plastisitas, kembang-susut, korelasi *fly ash*, stabilisasi tanah



## SUMMARY

HERLINA AULIA DAULAY. Effectiveness of Fly Ash in Stabilizing Expansive Soil as Subgrade Material. Supervised by HERIANSYAH PUTRA and ERIZAL.

Expansive soils are commonly found in Indonesia and pose challenges in subgrade construction because moisture-induced expansion and contraction can compromise stability and reduce the bearing capacity of the subgrade. This study aimed to evaluate the effectiveness of Class C fly ash in reducing soil expansivity and improving CBR performance and investigate microstructural changes, as well as to examine the correlation between fly ash content, expansivity, and CBR using multiple linear regression analysis. Tests were conducted on low-, medium-, and high-expansive soils with 5%, 10%, and 15% fly ash additions, followed by a 7-day curing period under unsoaked and soaked conditions. The results showed that the addition of 15% fly ash reduced the plasticity index by 45.09%, 22.50%, and 22.06%, and the swelling by 25.86%, 59.09%, and 64.94% in low-, medium-, and high-expansive soils, respectively. All samples satisfied the minimum effective CBR requirement of 6% specified by Bina Marga, with unsoaked CBR increasing by 3.17-fold, 3.63-fold, and 3.54-fold, and soaked CBR increasing by 2.47-fold, 2.67-fold, and 2.93-fold compared with the untreated soil. SEM and XRD analyses showed that the montmorillonite content decreased to 0.2%, C-S-H was detected at 0.3%, and the soil structure became denser and more flocculated. Regression analysis revealed a strong correlation between fly ash content, soil expansivity, and CBR. The best regression equations were obtained for swelling ( $S = 0.297IP - 0.128FA$ ) with an  $R^2$  of 0.923, soaked CBR ( $CBR = 3.581 + 0.260FA - 0.194S$ ) with an  $R^2$  of 0.962, and unsoaked CBR ( $CBR = 5.296 + 0.457FA - 0.143IP$ ) with an  $R^2$  of 0.858. The resulting regression equations may serve as a preliminary predictive tool for estimating the CBR of clay soils stabilized with fly ash contents of up to 15%.

**Keywords:** CBR, fly ash correlation, plasticity index, shrink-swell, soil stabilization



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026  
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

*Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.*

*Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.*



# **EFEKTIVITAS *FLY ASH* DALAM STABILISASI TANAH EKSPANSIF SEBAGAI TANAH DASAR**

**HERLINA AULIA DAULAY**

Tesis  
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Magister pada  
Program Studi Teknik Sipil dan Lingkungan

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL DAN LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Tim Penguji pada Ujian Tesis:  
Ir. Tri Sudibyo, S.T., M.Sc., Ph.D.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.





Judul Tesis : Efektivitas *Fly Ash* dalam Stabilisasi Tanah  
Ekspansif sebagai Tanah Dasar  
Nama : Herlina Aulia Daulay  
NIM : F0507251029

Disetujui oleh

Ketua Komisi Pembimbing:  
Dr. Eng. Ir. Heriansyah Putra, S.Pd., M.Eng.  
NIP. 19900209 201803 1 001



Anggota Komisi Pembimbing:  
Dr. Ir. Erizal, M.Agr.  
NIP. 19650106 199002 1 001



Diketahui oleh

Ketua Prodi Magister Teknik Sipil dan Lingkungan:  
Prof. Dr. Ir. Satyanto Krido Saptomo, S.T.P., M.Si.  
NIP. 19730411 200501 1 002



Dekan Fakultas Teknik dan Teknologi:  
Prof. Dr. Ir. Slamet Budijanto, M.Agr.  
NIP. 19610502 198603 1 002



Tanggal Ujian: 05 Agustus 2026

Tanggal Lulus: 08 AUG 2026





## PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga tesis ini dapat diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak September 2025 hingga Mei 2026 ini ialah mengenai stabilisasi kimiawi untuk tanah ekspansif, dengan judul “Efektivitas *Fly Ash* dalam Stabilisasi Tanah Ekspansif sebagai Tanah Dasar”

Terima kasih penulis ucapkan kepada pihak yang berperan dalam proses penelitian dan penyelesaian tesis ini, khususnya kepada:

1. Dr. Eng. Ir. Heriansyah Putra, S.Pd., M. Eng. dan Dr. Ir. Erizal, M.Agr. selaku komisi pembimbing yang telah membimbing serta memberikan masukan dalam proses penelitian dan penyusunan tesis;
2. Prof. Dr. Ir. Satyanto Krido Saptomo, S.T.P., M.Si. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil dan Lingkungan yang telah membantu dalam memberikan arahan serta saran dalam penyusunan tesis;
3. Ir. Tri Sudibyo, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran perbaikan dalam penyempurnaan tesis;
4. Dr. Eng. Allen Kurniawan, S.T., M.T. selaku pimpinan sidang yang telah membantu dalam pelaksanaan sidang tesis;
5. Keluarga yang senantiasa memberikan do'a, dukungan, serta motivasi;
6. Teman-teman mahasiswa Teknik Sipil dan Lingkungan, terutama rekan Sinergi SIL 58 serta orang-orang terdekat penulis lainnya yang telah kebersamai dan membantu selama masa perkuliahan, penelitian, dan penyusunan tesis.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi pada bidang teknik sipil dan lingkungan.

Bogor, Agustus 2026

*Herlina Aulia Daulay*

## DAFTAR ISI

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| DAFTAR ISI                                                             | ix |
| DAFTAR TABEL                                                           | x  |
| DAFTAR GAMBAR                                                          | x  |
| DAFTAR LAMPIRAN                                                        | x  |
| I PENDAHULUAN                                                          | 1  |
| 1.1 Latar Belakang                                                     | 1  |
| 1.2 Rumusan Masalah                                                    | 3  |
| 1.3 Tujuan                                                             | 4  |
| 1.4 Manfaat                                                            | 4  |
| 1.5 Ruang Lingkup                                                      | 4  |
| II TINJAUAN PUSTAKA                                                    | 5  |
| 2.1 Lapisan Tanah Dasar                                                | 5  |
| 2.2 Tanah Ekspansif                                                    | 6  |
| 2.3 <i>Fly Ash</i> untuk Stabilisasi Tanah                             | 7  |
| 2.4 Evaluasi Data                                                      | 9  |
| III METODE                                                             | 10 |
| 3.1 Waktu dan Tempat                                                   | 10 |
| 3.2 Alat dan Bahan                                                     | 10 |
| 3.3 Prosedur Penelitian                                                | 10 |
| IV HASIL DAN PEMBAHASAN                                                | 17 |
| 4.1 <i>Properties</i> Tanah                                            | 17 |
| 4.2 Pengaruh <i>Fly Ash</i> terhadap Tingkat Plastisitas               | 18 |
| 4.3 Parameter CBR                                                      | 23 |
| 4.4 Potensi Pengembangan ( <i>Swelling</i> )                           | 30 |
| 4.5 Analisis Mineralogi dan Morfologi                                  | 33 |
| 4.6 Korelasi <i>Fly Ash</i> terhadap Ekspansivitas Tanah dan Nilai CBR | 39 |
| V SIMPULAN DAN SARAN                                                   | 46 |
| 5.1 Simpulan                                                           | 46 |
| 5.2 Saran                                                              | 46 |
| DAFTAR PUSTAKA                                                         | 47 |
| LAMPIRAN                                                               | 54 |
| RIWAYAT HIDUP                                                          | 56 |

## DAFTAR TABEL

|   |                                                          |    |
|---|----------------------------------------------------------|----|
| 1 | Perkiraan derajat dan persen pengembangan berdasarkan PI | 6  |
| 2 | Sifat-sifat tanah terkait potensi pengembangannya        | 7  |
| 3 | Susunan kimia dan sifat fisik <i>fly ash</i>             | 8  |
| 4 | Klasifikasi nilai koefisien determinasi ( $R^2$ )        | 9  |
| 5 | Variasi sampel uji                                       | 13 |
| 6 | Hasil properties tanah ekspansif                         | 17 |
| 7 | Persamaan regresi berganda potensi pengembangan dan CBR  | 39 |

## DAFTAR GAMBAR

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |    |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1  | Skema letak <i>subgrade</i> pada struktur perkerasan jalan                                                                                                                                                                                                                                                                | 5  |
| 2  | Bahan penelitian (a) lempung asli (b) bentonit (c) <i>fly ash</i>                                                                                                                                                                                                                                                         | 10 |
| 3  | Prosedur pelaksanaan penelitian                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 11 |
| 4  | Skema penentuan tingkat ekspansivitas tanah                                                                                                                                                                                                                                                                               | 12 |
| 5  | Skema pembuatan sampel uji                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 13 |
| 6  | Skema pengujian CBR                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 14 |
| 7  | Pengaruh kadar <i>fly ash</i> terhadap indeks plastisitas tanah ekspansif                                                                                                                                                                                                                                                 | 19 |
| 8  | Pengaruh waktu <i>curing</i> terhadap indeks plastisitas tanah ekspansif yang distabilisasi dengan <i>fly ash</i>                                                                                                                                                                                                         | 21 |
| 9  | Hasil pengujian proktor pada tanah ekspansif                                                                                                                                                                                                                                                                              | 23 |
| 10 | Pengaruh <i>fly ash</i> terhadap nilai CBR <i>unsoaked</i> pada tanah ekspansif                                                                                                                                                                                                                                           | 25 |
| 11 | Pengaruh <i>fly ash</i> terhadap nilai CBR <i>soaked</i> pada tanah ekspansif                                                                                                                                                                                                                                             | 26 |
| 12 | Pengaruh kadar <i>fly ash</i> terhadap nilai <i>swelling</i> tanah ekspansif                                                                                                                                                                                                                                              | 31 |
| 13 | Hasil analisis (a) pola XRD dan (b) citra SEM lempung <i>untreated</i>                                                                                                                                                                                                                                                    | 34 |
| 14 | Hasil analisis (a) pola XRD dan (b) citra SEM <i>fly ash</i>                                                                                                                                                                                                                                                              | 35 |
| 15 | Hasil analisis (a) pola XRD dan (b) citra SEM lempung <i>treated</i>                                                                                                                                                                                                                                                      | 37 |
| 16 | Hubungan nilai aktual dan nilai prediksi hasil regresi berganda untuk berbagai kombinasi variabel <i>input</i> : (a) <i>swelling</i> (IP dan FA), (b) CBR (IP dan FA), (c) CBR <i>soaked</i> ( <i>Swelling</i> dan FA), (d) CBR <i>soaked</i> (FA), (e) CBR <i>unsoaked</i> (IP dan FA), dan (f) CBR <i>unsoaked</i> (FA) | 41 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|   |                                                                      |    |
|---|----------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Lampiran 1 Kurva karakteristik <i>California Bearing Ratio</i> (CBR) | 54 |
| 2 | Lampiran 2 Dokumentasi penelitian                                    | 55 |

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.  
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.