

**TESIS**  
**PERILAKU KONSOLIDASI TANAH LEMPUNG**  
**BERPLASTISITAS TINGGI AKIBAT PENGARUH AIR**  
**LIMBAH *PALM OIL MILL EFFLUENT* (POME) DENGAN**  
**VARIASI SUHU PANAS**

**AHMAD AKBAR RAMADHANI**



**REKAYASA GEOTEKNIK**  
**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT**  
**2025**

**TESIS**  
**PERILAKU KONSOLIDASI TANAH LEMPUNG**  
**BERPLASTISITAS TINGGI AKIBAT PENGARUH AIR**  
**LIMBAH *PALM OIL MILL EFFLUENT* (POME) DENGAN**  
**VARIASI SUHU PANAS**

**Karya Tulis Sebagai Salah Satu Syarat**  
**Untuk Memperoleh Gelar Magister dari**  
**Universitas Lambung Mangkurat**

Oleh

**AHMAD AKBAR RAMADHANI**  
**2420828310065**



**REKAYASA GEOTEKNIK**  
**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT**  
**2025**

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**TESIS PROGRAM STUDI S-2 TEKNIK SIPIL**

**Perilaku Konsolidasi Tanah Lempung Berplastisitas Tinggi Akibat Pengaruh  
Air Limbah Palm Oil Mill Effluent (POME) dengan Variasi Suhu Panas**

**Oleh**

**Ahmad Akbar Ramadhani (2420828310065)**

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji pada (8 Desember) 2025 dan  
dinyatakan

**LULUS**

**Komite Penguji :**

- Ketua** : Prof. Dr.-Ing. Yulian Firmana Arifin, S.T., M.T., IPM  
NIP. 19750719 200003 1 001
- Anggota 1** : Dr. Nursiah Chairunnisa, S.T., M.Eng.  
NIP. 19790723 200501 2 005
- Anggota 2** : Dr. Hutagamissufardal, S.T., M.T.  
NIP. 19700212 199502 1 001
- Anggota 3** : Dr. Ir. Muhammad Afief Ma'ruf, S.T., M.T.  
NIP. 19841031 200812 1 001
- Pembimbing Utama** : Prof. Dr. Ir. Rusdiansyah, S.T., M.T., IPU.  
NIP. 19740809 200003 1 001



Banjarmasin, .....

Diketahui dan disahkan oleh:



Wakil Dekan Bidang Akademik  
Fakultas Teknik ULM

Dr. Mahmud, S.T., M.T.  
NIP. 19740107 199802 1 001

Koordinator Program Studi  
S-2 Teknik Sipil



Dr. Nursiah Chairunnisa, S.T., M.Eng.  
NIP. 19790723 200501 2 005

## **PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis ini merupakan penelitian yang telah saya lakukan. Segala kutipan dari berbagai sumber telah diungkapkan sebagaimana mestinya. Tesis ini belum pernah dipublikasikan untuk keperluan lain oleh siapapun juga.

Jika dikemudian hari ternyata pernyataan saya ini tidak benar, maka saya bersedia menerima hukuman dari ketidakbenaran pernyataan tersebut.

Banjarmasin, Desember 2025  
Yang Membuat Pernyataan,

Ahmad Akbar Ramadhani  
2420828310065

**ABSTRAK**

**PERILAKU KONSOLIDASI TANAH LEMPUNG  
BERPLASTISITAS TINGGI AKIBAT PENGARUH AIR LIMBAH  
*PALM OIL MILL EFFLUENT* (POME) DENGAN  
VARIASI SUHU PANAS**

**Ahmad Akbar Ramadhani**

**2420828310065**

**Prof. Dr. Ir. Rusdiansyah, S.T., M.T., IPU**

Pembuangan limbah *Palm Oil Mill Effluent* (POME) bersuhu tinggi (80–90°C) berisiko mengubah karakteristik mekanis tanah dasar kolam, namun studi mengenai interaksi simultan suhu panas dan infiltrasi kimiawi POME terhadap konsolidasi tanah lempung berplastisitas tinggi masih terbatas. Penelitian ini menguji tanah lempung Mandiangin yang dijenuhkan air bersih dan POME menggunakan oedometer termodifikasi pada variasi suhu 28°C hingga 90°C, disertai analisis mikrostruktur.

Hasil menunjukkan interaksi POME mengubah klasifikasi tanah dari lempung plastisitas tinggi (CH) menjadi rendah (CL) akibat penurunan Indeks Plastisitas dari 39,15% menjadi 16,22%. Pada suhu ekstrem 90°C, tanah terpapar POME mengalami lonjakan Indeks Kompresi ( $C_c$ ) sebesar 85,40%. Sebaliknya, keberadaan limbah POME menurunkan Indeks Pengembangan ( $C_s$ ) sebesar 25,86%, memperlambat Koefisien Konsolidasi ( $C_v$ ) sebesar 25,42%, serta menurunkan Permeabilitas ( $k$ ) sebesar 4,816% dibanding kondisi jenuh air bersih. Analisis mikrostruktur mengonfirmasi lonjakan kandungan karbon hingga 36,06% akibat POME mendispersi agregat tanah menjadi partikel amorf, memicu perubahan signifikan perilaku pemampatan.

Kata Kunci: *palm oil mill effluent* (POME), konsolidasi tanah, suhu panas, tanah lempung plastisitas tinggi

## ABSTRACT

# CONSOLIDATION BEHAVIOR OF HIGH-PLASTICITY CLAY AFFECTED BY PALM OIL MILL EFFLUENT (POME) WITH VARIATIONS IN HEAT TEMPERATURE

**Ahmad Akbar Ramadhani**

**2420828310065**

**Prof. Dr. Ir. Rusdiansyah, S.T., M.T., IPU**

High-temperature (80–90°C) Palm Oil Mill Effluent (POME) disposal poses risks to pond soil stability, yet studies on the simultaneous interaction of heat and chemical infiltration on high plasticity clay consolidation remain limited. This research tested Mandiangin clay saturated with clean water and POME using a modified oedometer at temperatures ranging from 28°C to 90°C, accompanied by microstructural analysis.

Results indicate POME interaction shifts soil classification from high (CH) to low plasticity clay (CL), reducing the Plasticity Index from 39.15% to 16.22%. At 90°C, POME-exposed soil exhibited an 85.40% increase in Compression Index ( $C_c$ ). Conversely, POME presence reduced the Swelling Index ( $C_s$ ) by 25.86%, slowed the Coefficient of Consolidation ( $C_v$ ) by 25.42%, and decreased Permeability ( $k$ ) by 4.816% compared to clean water conditions analysis confirmed a carbon content surge to 36.06%, dispersing soil aggregates into amorphous particles, triggering significant compressibility changes.

Keywords: *palm oil mill effluent* (POME), soil consolidation, hot temperature, high plasticity clay

## PRAKATA

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala Rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul “Perilaku Konsolidasi Tanah Lempung Berplastisitas Tinggi Akibat Pengaruh Air Limbah *Palm Oil Mill Effluent* (POME) Dengan Variasi Suhu Panas” guna memenuhi sebagian persyaratan untuk memperoleh gelar Magister pada Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Lambung Mangkurat.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan tesis ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada :

1. Kedua orang tua yang senantiasa memberikan doa restu, semangat, dan memfasilitasi saya hingga apa yang saya cita-citakan tercapai.
2. Istriku Nisa Afifa dan Ananda Muhammad Khaleed Elfathan tercinta yang senantiasa menemani dan memberikan semangat.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Rusdiansyah, S.T., M.T., IPU. selaku Dosen Pembimbing Akademik Serta Dosen Pembimbing Utama yang telah membimbing selama perkuliahan pada Program Magister Teknik Sipil dan selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan tesis ini.
4. Seluruh Dosen Program Studi Magister Teknik Sipil yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
5. Fajri, Amalia, Rizal, Iman dan semua Instruktur Laboratorium Transportasi Jalan Raya dan Mekanika Tanah FT-ULM yang membantu saya selama penelitian.
6. Kepala Laboratorium Mekanika Tanah FT-ULM yang sudah memberikan izin penelitian saya.
7. Semua keluarga dan teman-teman yang telah membantu dan memberikan dukungan.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga tesis ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembaca.

Banjarmasin, Desember 2025

Ahmad Akbar Ramadhani

## DAFTAR ISI

|   |      |
|---|------|
| HALAMAN JUDUL TESIS.....                                      | ii   |
| LEMBAR PENGESAHAN.....  | iii  |
| PERNYATAAN.....   | iv   |
| ABSTRAK.....  | v    |
| <i>ABSTRACT</i> .....   | vi   |
| PRAKATA.....  | vii  |
| DAFTAR ISI.....   | viii |
| DAFTAR TABEL.....   | xi   |
| DAFTAR GAMBAR.....  | xii  |
| DAFTAR PERSAMAAN.....   | xiv  |
| BAB I PENDAHULUAN.....  | 1    |
| 1.1 Latar Belakang.....                                       | 1    |
| 1.2 Rumusan Masalah.....                                      | 4    |
| 1.3 Tujuan Penelitian.....                                    | 4    |
| 1.4 Batasan Masalah.....                                      | 5    |
| 1.5 Manfaat Penelitian.....                                   | 5    |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....                                  | 6    |
| 2.1 Tanah.....  | 6    |
| 2.2 Klasifikasi Tanah.....                                    | 6    |
| 2.2.1 Sistem Klasifikasi USCS.....                            | 7    |
| 2.2.2 Sistem Klasifikasi AASHTO.....                          | 11   |
| 2.3 Tanah Lempung.....  | 12   |
| 2.4 Pemadatan Tanah.....                                      | 13   |
| 2.4.1 Pengujian Pemadatan Standar di Laboratorium.....        | 14   |
| 2.4.2 Pengujian Pemadatan Modifikasi di Laboratorium.....     | 15   |
| 2.4.3 Pembuatan Benda Uji Sampel.....                         | 15   |
| 2.5 Konsolidasi Tanah.....                                    | 16   |
| 2.5.1 Dasar – Dasar Konsolidasi.....                          | 17   |
| 2.5.2 Pengujian Konsolidasi Satu Dimensi di Laboratorium..... | 18   |
| 2.6 Limbah Pabrik Kelapa Sawit.....                           | 23   |

|                                   |   |    |
|-----------------------------------|---|----|
| 2.6.1                             | Limbah Padat.....   | 24 |
| 2.6.2                             | Limbah Cair.....  | 26 |
| 2.7                               | Modifikasi Alat Pengatur Suhu pada Dinding Luar Sel Konsolidasi ..... | 29 |
| 2.8                               | Pengujian Sifat Kimia.....  | 30 |
| 2.9                               | Penelitian yang Relevan .....   | 33 |
| 2.10                              | Ringkasan Penelitian Terdahulu yang Relevan .....                     | 44 |
| BAB III METODE PENELITIAN .....   |   | 55 |
| 3.1                               | Diagram Alir Penelitian .....   | 55 |
| 3.2                               | Studi Literatur .....   | 56 |
| 3.3                               | Persiapan Alat.....   | 56 |
| 3.3.1                             | Alat Uji Konsolidasi Laboratorium.....                                | 56 |
| 3.3.2                             | Sel Konsolidasi Modifikasi .....                                      | 57 |
| 3.4                               | Persiapan Sampel.....   | 57 |
| 3.4.1                             | Sampel Tanah Lempung Berplastisitas Tinggi .....                      | 57 |
| 3.4.2                             | Sampel Air Limbah <i>Palm Oil Mill Effluent</i> (POME) .....          | 57 |
| 3.5                               | Pengujian Sifat Fisik Tanah di Laboratorium.....                      | 58 |
| 3.5.1                             | Pengujian Berat Jenis .....   | 58 |
| 3.5.2                             | Pengujian Analisa Ukuran Butiran.....                                 | 59 |
| 3.5.3                             | Pengujian Batas Cair ( <i>Liquid Limit</i> ).....                     | 59 |
| 3.5.4                             | Pengujian Batas Plastis ( <i>Plastic Limit</i> ) .....                | 60 |
| 3.6                               | Pengujian Sifat Mekanik Tanah di Laboratorium .....                   | 60 |
| 3.6.1                             | Pengujian Pemadatan .....   | 60 |
| 3.6.2                             | Pengujian Konsolidasi.....  | 61 |
| 3.7                               | Karakteristik Sifat Kimia .....                                       | 61 |
| 3.7.1                             | XRF ( <i>X-Ray Fluorosense</i> ).....                                 | 62 |
| 3.7.2                             | XRD ( <i>X-Ray Diffraction</i> ) .....                                | 62 |
| 3.7.3                             | SEM ( <i>Scanning Electron Microscope</i> ).....                      | 62 |
| 3.8                               | Kebutuhan Sampel.....   | 62 |
| 3.9                               | Analisa Data.....   | 64 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN ..... |   | 65 |
| 4.1                               | Pendahuluan.....  | 65 |
| 4.2                               | Sifat Fisik Tanah Lempung .....                                       | 65 |

|                     |   |    |
|---------------------|---|----|
| 4.3                 | Sifat Mekanis Tanah Lempung.....  | 66 |
| 4.4                 | Konsolidasi Tanah .....   | 67 |
| 4.4.1               | Analisa Hubungan Nilai Indeks Kompresi (Cc) Dengan Suhu Panas .....             | 68 |
| 4.4.2               | Analisa Hubungan Nilai Indeks Pengembangan (Cv) dengan Suhu Panas.....          | 69 |
| 4.4.3               | Analisa Hubungan Nilai Indeks Pengembangan (Cs) dengan Suhu Panas .....         | 71 |
| 4.4.4               | Analisa Hubungan Angka Pori dengan Log Tekanan.....                             | 72 |
| 4.4.5               | Analisa Hubungan Koefisien Pemampatan Volume dengan Suhu Panas.....             | 73 |
| 4.4.6               | Analisa Hubungan Koefisien Permeabilitas dengan Suhu Panas.....                 | 75 |
| 4.5                 | Sifat Kimia.....  | 76 |
| 4.5.1               | Uji X-Ray <i>Fluorescence</i> (XRF) .....                                       | 77 |
| 4.5.2               | Uji X-Ray <i>Diffraction</i> (XRD) .....  | 78 |
| 4.5.3               | Uji SEM-EDX.....  | 84 |
| 4.6                 | Tinjauan Perubahan Komposisi Kimiawi Limbah <i>Palm Oil Mill Effluent</i> ..... | 87 |
| BAB V PENUTUP ..... |   | 89 |
| 5.1                 | Kesimpulan .....  | 89 |
| 5.2                 | Saran .....   | 91 |
| DAFTAR RUJUKAN..... |   | 92 |
| LAMPIRAN.....       |   | 97 |

## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| Tabel II.1 Sistem Klasifikasi USCS .....   | 9  |
| Tabel II.2 Klasifikasi Sistem Menurut AASHTO .....   | 11 |
| Tabel II.3 Kandungan Unsur Kimia yang Terkandung pada POME .....   | 29 |
| Tabel II.4 Penelitian Terdahulu yang Relevan .....   | 44 |
| Tabel II.5 Perbandingan Penelitian Terdahulu Relevan dengan Penelitian Sekarang ....   | 52 |
| Tabel III.1 Perhitungan Jumlah Benda Uji Parameter Tanah .....   | 62 |
| Tabel III.2 Perhitungan Jumlah Benda Uji Konsolidasi Dijenuhkan Air Bersih .....   | 63 |
| Tabel III.3 Perhitungan Jumlah Bnda Uji Konsolidasi Dijenuhkan Air POME .....  | 63 |
| Tabel III.4 Perhitungan Jumlah Benda Uji Sifat Kimia Tanah Dijenuhkan Air Bersih..   | 63 |
| Tabel III.5 Perhitungan Jumlah Benda Uji Sifat Kimia Tanah Dijenuhkan Air POME .   | 64 |
| Tabel IV.1 Hasil pengujian sifat fisik tanah lempung yang dijenuhkan dengan air bersih dan air limbah POME .....                       | 65 |
| Tabel IV.2 Hasil analisa nilai Cc Rata-rata tiap kondisi suhu.....   | 68 |
| Tabel IV.3 Hasil analisa nilai Cv Rata-rata tiap kondisi suhu.....   | 69 |
| Tabel IV.4 Hasil analisa nilai Cs Rata-rata tiap kondisi suhu .....  | 71 |
| Tabel IV. 5 Hasil analisa nilai angka pori tiap kondisi suhu.....  | 72 |
| Tabel IV. 6 Hasil analisa nilai mv Rata-rata tiap kondisi suhu .....   | 74 |
| Tabel IV.7 Hasil Analisa Nilai k Rata-rata Tiap Kondisi Suhu .....   | 75 |
| Tabel IV.8 Hasil Analisis Kuantitatif Komposisi Kimia Tanah.....   | 77 |
| Tabel IV.9 Hasil Analisis Pengujian SEM-EDX-Mapping.....   | 86 |
| Tabel IV.10 Perbandingan Unsur Kimia Air Limbah POME, Tanah+Jenuh Air Bersih Suhu 28°C dan Tanah+Jenuh Air Limbah POME Suhu 90°C ..... | 87 |

## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| Gambar I.1 Kolam Air Limbah <i>Palm Oil Mill Effluent</i> (POME).....           | 2  |
| Gambar II.1 Grafik USCS.....  | 8  |
| Gambar II.2 Grafik Hubungan Berat Volume Kering dan Kadar Air .....             | 16 |
| Gambar II.3 Contoh Grafik Tegangan Vs Angka Pori.....                           | 21 |
| Gambar II.4 Metode Akar Waktu.....  | 22 |
| Gambar II.5 Tampak Atas Kolam Air Limbah Palm Oil Mill Effluent (POME) .....    | 27 |
| Gambar II.6 Limbah POME Berupa Cairan Hasil Proses Pengolahan Kelapa Sawit..... | 28 |
| Gambar II.7 Skema Alat Konsolidasi Modifikasi .....                             | 30 |
| Gambar II.8 Contoh data hasil pengujian SEM.....                                | 32 |
| Gambar II.9 Contoh data hasil pengujian XRF .....                               | 32 |
| Gambar II.10 Contoh data hasil pengujian XRD .....                              | 33 |
| Gambar III.1 Diagram Alir Penelitian.....                                       | 55 |
| Gambar III.2 Alat Uji Konsolidasi Satu Dimensi Tipe Standa .....                | 56 |
| Gambar III.3 Skema Sel Konsolidasi Modifikasi serta Susunannya.....             | 57 |
| Gambar III.4 Air Limbah Pada Suhu Ruangan 28°C dan Pada Suhu Diatas 40°C.....   | 58 |
| Gambar III.5 Pengujian Berat Jenis.....   | 58 |
| Gambar III.6 Pengujian Analisis Ukuran Butiran (Hidrometer).....                | 59 |
| Gambar III.7 Pengujian Batas Cair.....  | 59 |
| Gambar III.8 Pengujian Batas Plastis.....                                       | 60 |
| Gambar III.9 Pengujian Pematatan.....   | 60 |
| Gambar III.10 Pengujian Konsolidasi.....  | 61 |
| Gambar IV.1 Kurva Pematatan Tanah Lempung.....                                  | 67 |
| Gambar IV.2 Grafik hubungan nilai rata-rata Cc dan Suhu .....                   | 68 |
| Gambar IV.3 Grafik hubungan nilai Cv rata-rata dan suhu .....                   | 70 |
| Gambar IV.4 Grafik Hubungan Nilai Cs rata-rata dan Suhu .....                   | 71 |
| Gambar IV.5 Grafik hubungan angka pori dan waktu .....                          | 73 |
| Gambar IV.6 Grafik Hubungan Koefisien Pemampatan Volume dan Suhu.....           | 74 |
| Gambar IV.7 Grafik Hubungan Koefisien Permeabilitas dan Suhu.....               | 75 |
| Gambar IV.8 Scanning XRD Tanah Dengan Penjenuhan Air Bersih Suhu 28°C.....      | 78 |
| Gambar IV.9 Scanning XRD Tanah dengan Penjenuhan Air POME Suhu 40°C.....        | 79 |

|   |    |
|---|----|
| Gambar IV.10 Scanning XRD Tanah dengan Penjenuhan Air Bersih Suhu 90°C.....       | 81 |
| Gambar IV.11 Scanning XRD Tanah Dengan Penjenuhan Air POME Suhu 90°C .....        | 82 |
| Gambar IV.12 SEM untuk sampel pada suhu 28 °C dan 90 °C perbesaran 1000 kali .... | 84 |
| Gambar IV.13 SEM untuk Sampel pada Suhu 28 °C dan 90 °C Perbesaran 5000 Kali ..   | 85 |

## DAFTAR PERSAMAAN

|  |    |
|--|----|
| Pers. (2.1) Persamaan Berat Volume.....                      | 14 |
| Pers. (2.2) Persamaan Berat Volume Basah .....               | 14 |
| Pers. (2.3) Persamaan Tebal Benda Uji .....                  | 19 |
| Pers. (2.4) Persamaan Tinggi Awal Ruang Pori .....           | 19 |
| Pers. (2.5) Persamaan Angka Pori Awal .....                  | 19 |
| Pers. (2.6) Persamaan Perubahan Angka Pori .....             | 20 |
| Pers. (2.7) Persamaan Angka Pori yang Baru .....             | 20 |
| Pers. (2.8) Persamaan Koefisien Konsolidasi ( $C_v$ ) .....  | 21 |
| Pers. (2.9) Persamaan Indeks Pemampatan ( $C_c$ ) .....      | 22 |
| Pers. (2.10) Persamaan Penurunan Konsolidasi ( $S_c$ ) ..... | 22 |
| Pers. (2.11) Persamaan Time Factor .....                     | 23 |
| Pers. (2.12) Persamaan Derajat Konsolidasi ( $U$ ) .....     | 23 |