

TUGAS AKHIR
RANCANG BANGUN ALAT UJI PERMEABILITAS YANG
TERINTEGRASI DENGAN PENGUJIAN *SWELLING PRESSURE* UNTUK
TANAH EKSPANSIF PADA KONDISI VOLUME KONSTAN

Diajukan untuk memenuhi persyaratan mencapai derajat Sarjana S-1 pada
Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Lambung Mangkurat

Dibuat:

Redhani Ahmad

NIM. 2210811310022

Dosen Pembimbing:

Prof. Dr.-Ing. Ir. Yulian Firmana Arifin, S.T., M.T., IPM., Asean Eng.

NIP. 197507192000031001



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL
BANJARBARU

2026

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Redhani Ahmad
NIM : 2210811310022
Fakultas : Teknik
Program Studi : S-1 Teknik Sipil
Judul Skripsi : Rancang Bangun Alat Uji Permeabilitas Yang Terintegrasi
Dengan Pengujian *Swelling Pressure* Untuk Tanah
Ekspansif Pada Kondisi Volume Konstan
Pembimbing : Prof. Dr.-Ing. Ir. Yulian Firmana Arifin, S.T., M.T., IPM.,
Asean Eng.

Dengan ini menyatakan bahwa hasil penulisan Skripsi yang telah saya buat ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata di kemudian hari penulisan Skripsi ini merupakan hasil plagiat atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan tata tertib Universitas Lambung Mangkurat.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tidak dipaksakan.

Banjarbaru,

Penulis,



Redhani Ahmad

NIM. 2210811310022

LEMBAR PENGESAHAN
SKRIPSI PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL

**Rancang Bangun Alat Uji Permeabilitas Yang Terintegrasi Dengan
Pengujian *Swelling Pressure* Untuk Tanah Ekspansif Pada Kondisi Volume
Konstan**

Oleh
Redhani Ahmad (2210811310022)

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji pada 15 Juli 2026 dan dinyatakan

LULUS

Komite Penguji :

Ketua : Ir. Humaira Afrila, S.T., M.T.
NIP. 199504112023212036

Anggota 1 : Ir. Adriani, M.T.
NIP. 196201151991031002

Anggota 2 : Dr. Muhammad Afief Ma'ruf, S.T., M.T.
NIP. 198410312008121001

Pembimbing : Prof. Dr.-Ing. Ir. Yulian Firmana Arifin, S.T., M.T.,
Utama IPM., Asean Eng.
NIP. 197507192000031001

[Handwritten signatures of committee members]

Banjarbaru, ... 21 JUL 2026

Diketahui dan disahkan oleh:

Wakil Dekan Bidang Akademik
Fakultas Teknik ULM,

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

Koordinator Program Studi
S-1 Teknik Sipil,

[Signature]
Dr. Muhammad Arsyad, S.T., M.T.
NIP. 19720826 199802 1 001

ABSTRAK

Tanah ekspansif merupakan tanah yang memiliki potensi mengalami perubahan volume akibat perubahan kadar air karena mengandung mineral lempung ekspansif. Pada kondisi di lapangan, khususnya pada lapisan tanah yang sehingga menghasilkan *swelling pressure*. Namun, alat permeameter konvensional belum mampu merepresentasikan kondisi tersebut, sehingga diperlukan alat yang dapat mengintegrasikan pengujian permeabilitas dan *swelling pressure* dalam satu sistem pada kondisi volume konstan. Penelitian ini bertujuan merancang alat uji permeabilitas yang terintegrasi dengan pengujian *swelling pressure*, memvalidasi kinerja alat berdasarkan prinsip volume konstan, serta membandingkan hasil pengujian permeabilitas dengan permeameter konvensional.

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan metode eksperimen. Tahapan penelitian meliputi perancangan dan fabrikasi alat, validasi kinerja alat, serta pengujian permeabilitas menggunakan metode falling head pada sampel bentonit kalsium. Hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan permeameter konvensional untuk mengevaluasi kinerja alat yang dikembangkan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat berhasil mengintegrasikan pengujian permeabilitas dan *swelling pressure* pada kondisi volume konstan. Validasi menunjukkan sistem tidak mengalami kebocoran, aliran air stabil, serta kondisi volume konstan berhasil dipertahankan selama pengujian. Nilai koefisien permeabilitas yang diperoleh menggunakan alat rancang bangun sebesar $8,92 \times 10^{-12}$ m/s, sedangkan permeameter konvensional sebesar $1,22 \times 10^{-11}$ m/s, atau sekitar 26,91% lebih besar. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kondisi volume konstan memengaruhi nilai permeabilitas yang diperoleh. Dengan demikian, alat yang dikembangkan telah bekerja sesuai prinsip volume konstan yang dirancang dan dapat digunakan sebagai alternatif alat uji permeabilitas yang terintegrasi dengan pengujian *swelling pressure*.

Kata kunci: tanah ekspansif, permeabilitas, *swelling pressure*, volume konstan, falling head, rancang bangun alat.

ABSTRAK

Expansive soil is a type of soil that undergoes volume changes due to variations in water content because it contains expansive clay minerals. Under field conditions, particularly in confined soil layers, soil expansion tends to occur under constant volume conditions, resulting in swelling pressure. However, conventional permeameters are not designed to represent these conditions. Therefore, a testing device capable of integrating permeability and swelling pressure tests under constant volume conditions is required. This study aimed to design a permeability testing apparatus integrated with a swelling pressure test, validate its performance based on the constant volume principle, and compare its permeability test results with those obtained using a conventional permeameter.

This study employed a quantitative experimental approach. The research consisted of designing and fabricating the testing apparatus, validating its performance, and conducting permeability tests using the falling head method on calcium bentonite specimens. The permeability results obtained from the developed apparatus were then compared with those obtained from a conventional permeameter to evaluate the performance of the proposed device.

The results showed that the developed apparatus successfully integrated permeability and swelling pressure testing under constant volume conditions. The validation indicated that the system was leak-free, maintained a stable water flow, and successfully preserved constant volume throughout the testing process. The permeability coefficient obtained using the developed apparatus was 8.92×10^{-12} m/s, whereas the conventional permeameter produced a value of 1.22×10^{-11} m/s, approximately 26.91% higher. These results indicate that constant volume conditions influence the measured permeability coefficient. Therefore, the developed apparatus has been validated to operate according to the intended constant volume principle and can serve as an alternative testing device for integrated permeability and swelling pressure measurements on expansive soils.

Keywords: *expansive soil, permeability, swelling pressure, constant volume, falling head, testing apparatus design.*

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan syukur Alhamdulillah kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan karunia, rahmat dan hidayah-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Rancang Bangun Alat Uji Permeabilitas Yang Terintegrasi Dengan Pengujian *Swelling Pressure* Untuk Tanah Ekspansif Pada Kondisi Volume Konstan”.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan yang ditetapkan dalam kurikulum Program S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST). Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih pada semua pihak atas bantuan dan bimbingannya dalam penyusunan tugas akhir ini.

Pada kesempatan ini tidak lupa saya ucapkan terima kasih kepada pihakpihak yang banyak membantu saya dalam penyusunan Tugas Akhir ini yaitu:

1. Orang Tua yang telah memberikan dukungan penuh (doa, semangat, dan dana) sampai sekarang sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Prof. Dr.-Ing. Ir. Yulian Firmana Arifin, S.T., M.T., IPM., Asean Eng. selaku dosen pembimbing yang mau membimbing penulis dan meluangkan waktu untuk memberikan arahan dan penjelasan terkait skripsi kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Keluarga yang telah banyak memberikan bantuan dalam berbagai aspek untuk bisa membuat saya menyelesaikan penulisan laporan Tugas Akhir ini.
4. Segenap Dosen Fakultas Teknik Sipil Universitas Lambung Mangkurat yang telah memberikan ilmu yang tak terhingga mulai awal hingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Segenap staff dan pekerja di Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat yang tidak bisa disebutkan yang telah membantu kelancaran selama perkuliahan.
6. Teman-teman saya dari awal perkuliahan hingga akhir, rekan-rekan mahasiswa yang telah membantu saya, khususnya angkatan 2022 Teknik Sipil yang telah memberikan bantuan dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini
7. Dan untuk diri saya sendiri yang sudah mau bertahan sampai saat ini yang akhirnya dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Kata menyerah tak pernah ingin

terucap, mengingat orang tua dan teman yang telah penuh semangat memberikan dukungan untuk saya sampai akhirnya saya sampai pada tahap akhir ini.

Akhir kata, saya mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berperan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini. Saya sebagai penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna dikarenakan kurangnya pengalaman dan pengetahuan yang dimiliki penulis, oleh karena itu penulis mengharapkan segala bentuk saran serta masukan dan kritik yang membangun dari berbagai pihak. Penulis berharap Laporan Tugas Akhir ini dapat berguna bagi banyak orang dan dapat menjadi sumber informasi dan literatur bagi yang ingin melakukan penelitian sejenis berikutnya.

Banjarbaru,

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, overlapping loops and strokes, positioned above the printed name.

Redhani Ahmad

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	i
<i>ABSTRAK</i>	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
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 Ekspansif	6
2.1.1 Karakteristik Tanah Ekspansif	6
2.1.2 Kondisi Pengembangan Bebas (<i>Free swelling</i>) dan Kondisi Volume Konstan (<i>Constant volume</i>)	7
2.2 Permeabilitas Tanah	8
2.2.1 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Permeabilitas Tanah	9
2.2.2 <i>Falling head</i>	10
2.2.3 <i>Constant Head</i>	11
2.3 Tekanan Pengembangan (<i>Swelling Pressure</i>)	12
2.3.1 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Tekanan Pengembangan	13
2.3.2 Pengujian Tekanan Pengembangan (<i>Swelling Pressure</i>)	14
2.4 Bentonite	16
2.5 Hubungan Permeabilitas dan Tekanan Pengembangan (<i>Swelling Pressure</i>)	18
BAB III METODE PENELITIAN	19
3.1 Umum	19

3.2	Diagram Alir Penelitian.....	24
3.3	Studi Literatur dan Identifikasi Masalah	25
3.4	Lokasi Penelitian	25
3.5	Alat dan Bahan	25
3.5.1	Alat.....	25
3.5.2	Bahan.....	26
3.6	Skema Alat Uji	27
3.6.1	Gambaran Umum Alat	27
3.6.2	Komponen dan Fungsi Pelat Dasar	30
3.6.3	Komponen dan Fungsi Sel Sampel	31
3.6.4	Komponen dan Fungsi Piston Penahan.....	32
3.6.5	Spesifikasi Teknis Alat	33
3.7	Mekanisme Kerja Alat.....	33
3.7.1	Tahap Persiapan	34
3.7.2	Tahap Pengukuran <i>Swelling Pressure</i> (Terintegrasi).....	34
3.7.3	Tahap Pengujian Permeabilitas <i>Falling head</i>	35
3.8	Prosedur Pengujian.....	35
3.8.1	Setup Alat.....	35
3.8.2	Persiapan Sampel Bentonite.....	37
3.8.3	Prosedur Pengujian dengan Alat Rancang Bangun.....	39
3.8.4	Prosedur Pengujian Alat Permeameter Konvensional	40
3.9	Metode Analisis Data	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		42
4.1	Sifat Fisik Bentonite.....	42
4.2	Hasil Perancangan dan Pembuatan Alat.....	42
4.2.1	Deskripsi Alat Hasil Rancangan	42
4.2.2	Dokumentasi Alat.....	43
4.3	Hasil Persiapan Sampel Bentonite	46
4.3.1	Penyesuaian Kadar Air Awal Sampel.....	46
4.3.2	Hasil Pemadatan Statis Sampel.....	46
4.3.3	Propertis Fisik Sampel Sebelum Pengujian	47
4.4	Hasil Pengujian Permeabilitas dengan Alat Rancang Bangun	48

4.5	Hasil Pengujian Permeabilitas dengan Alat Konvensional	48
4.6	Perbandingan Hasil Pengujian dan Analisis Keseluruhan Kinerja Alat.	49
4.6.1	Perbandingan Nilai k Alat Rancang Bangun dengan Alat Konvensional	49
4.6.2	Analisis Perbandingan Kemampuan Alat $\times$	50
4.7	Evaluasi Kinerja Alat Rancang Bangun	53
4.7.1	Evaluasi Kebocoran Sistem.....	53
4.7.2	Evaluasi Kestabilan Aliran.....	56
4.7.3	Evaluasi Kekakuan Penahan (Kondisi Volume Konstan).....	57
4.7.4	Evaluasi Kemudahan Operasional	58
4.7.5	Rekaitulasi Evaluasi Keseluruhan Kinerja Alat.....	60
4.8	Catatan Data <i>Swelling Pressure</i>	61
4.8.1	Pembacaan <i>Load cell</i> Selama Pengujian.....	61
4.8.2	Kesesuaian Desain Alat dengan Karakteristik Fungsional	63
4.8.3	Keterbatasan Alat dan Potensi Pengembangan Lanjutan.....	64
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		66
5.1	Kesimpulan.....	66
5.2	Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA		68
LAMPIRAN A		72
LAMPIRAN B.....		84
LAMPIRAN C.....		92
LAMPIRAN D		97
LAMPIRAN E		100

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi Permeabilitas.....	9
Tabel 3. 1 Metode Tahap 1	20
Tabel 3. 2 Metode Tahap 3	21
Tabel 3. 3 Metode Tahap 3	22
Tabel 3. 4 Spesifikasi Teknis Alat Uji Rancang Bangun.....	33
Tabel 4. 1 Sifat Fisik Bentonite yang digunakan pada penelitian ini	42
Tabel 4. 2 Hasil Pemadatan Statis Sampel Bentonite	46
Tabel 4. 3 Properti Fisik Sampel Bentonite Sebelum Pengujian	47
Tabel 4. 4 Perbandingan Nilai k Alat Rancang Bangun dan Alat Konvensional .	49
Tabel 4. 5 <i>Summary</i> perbandingan alat.....	53
Tabel 4. 6 Hasil Evaluasi Kebocoran Sistem.....	54
Tabel 4. 7 Rekapitulasi Evaluasi Kerja Alat	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Mineral-mineral lempung ekspansif (Hardiyatmo, 2002).....	6
Gambar 2. 2 Prinsip uji permeabilitas falling head (Hardiyatmo, 2002).....	10
Gambar 2. 3 Prinsip uji permeabilitas constant head (Hardiyatmo, 2002)	12
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	24
Gambar 3. 2 Skema Alat Uji Rancang Bangun.....	28
Gambar 3. 3 Bagian-bagian alat.....	28
Gambar 3. 4 Detail ukuran piston penahan.....	29
Gambar 3. 5 Detail ukuran sel sampel	29
Gambar 3. 6 Detail ukuran pelat dasar.....	29
Gambar 3. 7 3D alat	30
Gambar 3. 8 Potongan 3D alat	30
Gambar 3. 9 Setup alat.....	36
Gambar 4. 1 Piston Penahan	43
Gambar 4. 2 Sel Sampel.....	44
Gambar 4. 3 Pelat Dasar.....	44
Gambar 4. 4 Tampak Depan Alat	44
Gambar 4. 5 Tampak Atas Alat.....	45
Gambar 4. 6 Dokumentasi Setup Alat	45
Gambar 4. 7 Diameter Sampel	47
Gambar 4. 8 Tinggi Sampel	48
Gambar 4. 9 Grafik penurunan k terhadap waktu alat rancang bangun.....	48
Gambar 4. 10 Grafik penurunan k terhadap waktu alat permeameter konvensional	49
Gambar 4. 11 Grafik Perbandingan nilai k	50
Gambar 4. 12 Pengukuran deformasi vertikal sampel alat brancang bangun	51
Gambar 4. 13 Deformasi Horizontal alat permeameter	51
Gambar 4. 14 Deformasi vertikal alat permeameter	52
Gambar 4. 15 Desain penyempurnaan bagian sambungan alat.....	56
Gambar 4. 16 Pelat dasar setelah penyempurnaan alat	56
Gambar 4. 17 Grafik penurunan head kestabilan aliran.....	57
Gambar 4. 18 Grafik Pembacaan Load cell Terhadap Waktu	58

Gambar 4. 19 Timeline diagram pengujian.....	62
Gambar 4. 20 Skema racangan sistem penahan konstan volume.....	65
Gambar 4. 21 3D alat sisitem panahan konstan volume	65