

PENGARUH TEGANGAN AIR PORI NEGATIF PADA CAMPURAN KITOSAN DAN BENTONIT

Diajukan untuk memenuhi persyaratan mencapai derajat magister S-2
pada Program Studi S-2 Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Lambung Mangkurat

Dibuat:

Muhammad Rizal

NIM. 2320828310056

Dosen Pembimbing:

Prof. Dr.-Ing. Yulian Firmana Arifin, S.T., M.T.

NIP. 19750719 200003 1 001



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI S-2 TEKNIK SIPIL
BANJARBARU 2026**

LEMBAR PENGESAHAN
TESIS PROGRAM STUDI S-2 TEKNIK SIPIL

Pengaruh Tegangan Air Pori Negatif pada Campuran Kitosan dan Bentonit

Oleh

Muhammad Rizal

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji pada tanggal 31 Juli 2026
dan dinyatakan

LULUS

Komite Penguji :

Ketua / Penguji I : Prof.Dr.Rusdiansyah,S.T.,M.T.

Sekretaris / Penguji II : Dr.Ir.Nursiah Chairunnisa,S.T.,M.Eng,IPM

Anggota 1 / Penguji III : Dr.Hutagamissufardal,S.T.,M.T.

Anggota 1 / Penguji III : Dr.M.Afief Ma'ruf,S.T.,M.T.

Pembimbing : Prof.Dr-Ing.Yulian Firmana Arifin,S.T.,M.T.

Banjarmasin, 31 Juli 2026

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, Juli 2026

Yang Membuat Pernyataan,

A handwritten signature in black ink that reads "rizal" in a cursive, lowercase script.

Muhammad Rizal

NIM. 2320828310056

PRAKATA

Puji syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan penyusunan tesis ini. ini disusun sebagai bagian dari proses akademik untuk memenuhi salah satu syarat dalam memperoleh gelar Magister pada Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Lambung Mangkurat.

Saya menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada dosen pembimbing, atas bimbingan, arahan, dan dukungan yang sangat berarti selama proses penyusunan ini. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada seluruh dosen penguji atas saran dan kritik konstruktif yang telah diberikan demi penyempurnaan tesis ini. Penghargaan dan terima kasih juga saya sampaikan kepada Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat atas fasilitas dan dukungan yang telah diberikan. Tak lupa, saya juga berterima kasih kepada rekan-rekan seperjuangan atas semangat dan dukungan moral yang senantiasa menguatkan. Secara khusus, saya menyampaikan terima kasih yang tulus kepada keluarga tercinta, terutama kepada suami saya yang selalu memberikan dukungan tanpa henti, serta anak saya yang menjadi sumber semangat dan inspirasi dalam menyelesaikan setiap tahapan studi ini.

Saya berharap tesis ini dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai penelitian yang dilakukan dan menjadi langkah awal menuju penyelesaian tesis secara utuh. Semoga hasil akhir dari penelitian ini nantinya dapat memberikan kontribusi nyata bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan praktik di bidang ketekniksipilan.

Banjarmasin, Juli 2026

Muhammad Rizal

Pengaruh Tegangan Air Pori Negatif pada Campuran Kitosan dan Bentonit

Muhammad Rizal
2320828310056

Prof. Dr.-Ing. Yulian Firmana Arifin, S.T., M.T.

ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji pengaruh tegangan air pori negatif pada campuran kitosan-bentonit sebagai material *clay liner* ramah lingkungan, dengan fokus pada bagaimana variasi waktu pencampuran dan kondisi lingkungan memengaruhi total *suction* serta perilaku permeabilitasnya. Metodologi eksperimen menggunakan campuran bentonit-kitosan dengan proporsi yang disesuaikan, diuji pada berbagai waktu pencampuran (mis. pendek hingga sedang) dan dihadapkan pada variasi suhu serta kelembapan relatif (RH). Total *suction* diukur secara kontinu menggunakan sensor RH, sedangkan struktur kimia dan interaksi antara komponen dianalisis melalui FTIR mikroskopis untuk mendeteksi perubahan ikatan hidrogen, ikatan amida, dan zona interaksi antara gugus fungsional kitosan dan lapisan bentonit. Hasil FTIR menunjukkan perubahan intensitas dan posisi puncak pada band hidroksil, amida, dan getar jaringan, mengindikasikan adanya interaksi fisik kuat antara kitosan dan bentonit yang mempengaruhi jaringan pori dan daya serap air. Secara umum, peningkatan waktu pencampuran berhubungan dengan perubahan profil total *suction*, sementara fluktuasi RH dan suhu lingkungan berperan menambah ketidakpastian ukuran suction pada sampel yang sama. Prediksi permeabilitas tidak jenuh menurun seiring meningkatnya *suction* total, menandakan potensi campuran ini sebagai liner tanah yang lebih stabil secara hidrasi. Temuan ini memberikan landasan untuk optimasi komposisi dan prosedur persiapan dalam aplikasi geoteknik yang menuntut kontrol kelembapan dan aliran air.

Kata kunci: tegangan air pori negative, kitosan, bentonite, *clay liner*, FTIR mikroskopis, RH sensor, total *suction*, permeabilitas tidak jenuh.

Evaluation of Total *Suction* Behavior in Chitosan–Bentonite Mixtures

Muhammad Rizal

2320828310056

Prof. Dr.-Ing. Yulian Firmana Arifin, S.T., M.T.

ABSTRACT

This study examines the effect of negative pore water pressure on a chitosan-bentonite mixture as an environmentally friendly clay liner material, focusing on how variations in mixing time and environmental conditions influence total suction and permeability behavior. The experimental methodology utilized a bentonite-chitosan mixture with adjusted proportions, tested under various mixing times (e.g., short to medium) and exposed to variations in temperature and relative humidity (RH). Total suction was continuously measured using an RH sensor; while the chemical structure and component interactions were analyzed using microscopic FTIR to detect changes in hydrogen bonds, amide bonds, and interaction zones between the functional groups of chitosan and the bentonite layers. The FTIR results revealed changes in peak intensity and position at the hydroxyl and amide bands, as well as network vibrations, indicating strong physical interactions between chitosan and bentonite that affect the pore network and water absorption capacity. Generally, increased mixing time corresponds to changes in the total suction profile, whereas fluctuations in RH and ambient temperature contribute to the uncertainty of suction measurements for the same sample. The prediction of unsaturated permeability decreases as total suction increases, highlighting the potential of this mixture as a soil liner with greater hydration stability. These findings provide a foundation for optimizing mixture composition and preparation procedures in geotechnical applications requiring moisture and water flow control.

Keywords: *negative pore water pressure; chitosan; bentonite; clay liner; microscopic FTIR; RH sensor; total suction; unsaturated permeability.*

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
BAB I PENDAHULUAN	9
1.1 Latar Belakang	9
1.2 Rumusan Masalah	12
1.3 Tujuan Penelitian.....	13
1.4 Manfaat Penelitian	13
1.5 Batasan Masalah.....	13
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	14
2.1 Pendahuluan	14
2.2 Total <i>Suction</i>	15
2.3 Pengukuran Total <i>Suction</i>	17
2.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Total <i>Suction</i>	19
2.5 Total <i>Suction</i> dan Perilaku Tanah Tidak Jenuh	21
2.6 Permeabilitas Tanah Tak Jenuh dan <i>Soil-Water Characteristic Curve</i> (SWCC).....	23
2.7 Total <i>Suction</i> dalam Aplikasi Teknik Sipil.....	25
2.8 Pengaruh Waktu Percampuran terhadap Total <i>Suction</i>	26
2.9 Metode Percampuran	27
2.10 Pengaruh Kondisi Lingkungan Terhadap Total <i>Suction</i>	28
2.11 Campuran Kitosan dan Bentonit	29
2.12 <i>Repeatability</i> dan Koefisien Variasi sebagai Parameter Presisi Pengujian Geoteknik	30

2.13 Pengujian Sifat Fisik	32
2.13.1 Kadar Air	32
2.13.2 Berat Jenis	32
2.13.3 Analisa Hidrometer	33
2.13.4 Batas Konsistensi Tanah (<i>Atterberg</i> Limit Test)	33
2.14 Pengujian Sifat Fisik dan Kimia pada Campuran Material.....	35
2.14.1 FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)	35
2.14.2 SEM (Scanning Electron Microscopy)	36
2.14.3 XRD (X-Ray Diffraction)	36
2.14.4 X-ray Fluorescence (XRF)	37
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	38
3.1 Bagan Alur Penelitian	38
3.2 Pendahuluan Metode Penelitian.....	39
3.3 Bahan dan Peralatan.....	39
3.3.1 Bahan	39
3.3.2 Peralatan.....	39
3.4 Prosedur Penelitian.....	40
3.4.1 Persiapan Sampel	40
3.4.2 Karakterisasi Campuran	41
3.4.3 Pengukuran Total <i>Suction</i> dengan Seonsor RH.....	42
3.4.4 Data Hasil Pengukuran.....	43
3.4.5 Pengukuran Berat Sampel	44
3.4.6 Kalibrasi dan Validasi Alat Pengukur	44
3.5 Metode Analisis Pengaruh Suhu, RH, dan Ketelitian Alat terhadap Hasil Total <i>Suction</i>	44
3.5.1 Pemilihan Data Kondisi Stabil (Mendekati Ekuilibrium).....	44

3.5.2 Analisis Presisi (Repeatability) Antar Replikasi	45
3.5.3 Analisis Pengaruh Ketelitian Alat (Propagasi Ketidakpastian	45
3.5.4 Analisis Pengaruh Suhu Dan RH Lingkungan Dalam <i>Chamber</i>	47
3.5.5 Keluaran Analisis	47
3.6 Uji Permeabilitas Sampel.....	47
3.6.1 Data yang Diperlukan	47
BAB IV PEMBAHASAN	53
4.1 Karakteristik Sifat Fisik dan Kimia.....	53
4.1.1 Sifat Fisik Bentonit	53
4.1.2 Sifat Kimia Bentonit	54
4.1.3 Sifat Fisik Kitosan.....	56
4.1.4 Sifat Kimia Kitosan.....	56
4.2 Sifat Fisik dan Kimia Pada Campuran Bentonit Kitosan.....	57
4.2.1 Sifat Fisik Pada Campuran Kitosan Bentonit	57
4.2.2 Sifat Kimia Pada Kitosan Bentonit	58
4.2.3 Analisis Mikroskopik Campuran Bentonite-Kitosan	60
4.3 Hasil Pengukuran Total <i>Suction</i>	61
4.4 Pengaruh Variasi Waktu Pencampuran Terhadap Hasil Pengukuran Total <i>Suction</i>	63
4.4.1 Pengaruh Waktu Pencampuran STPP terhadap <i>Total Suction</i> Campuran Bentonit–Kitosan	66
4.4.2 Hubungan dengan Hasil FTIR	69
4.5 Pengaruh Suhu, Kelembaban Relatif, dan Ketelitian Alat terhadap Hasil Total <i>Suction</i>	71
4.5.1 Ketelitian alat dan propagasi ketidakpastian.....	71
4.5.2 Evaluasi Kondisi Lingkungan Di Dalam <i>Chamber</i> Dari Data yang Ada	73

4.5.3 Repeatability (3 Ulangan) Dibandingkan Batas Ketelitian Alat	73
4.6 Prediksi Permeabilitas Sampel Tak Jenuh.....	75
4.7 Implikasi Praktis terhadap Interpretasi Hasil Pengukuran Total <i>Suction</i>	78
BAB V KESIMPULAN	80
5.1 Kesimpulan	80
5.2 Saran.....	80
DAFTAR PUSTAKA	81
Lampiran Hasil Pengujian.....	86
Lampiran Dokumentasi.....	89