

TESIS
PENURUNAN ANGKA PERMEABILITAS TANAH UNTUK
TPA (TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR) MENGGUNAKAN
MIKROBAKTERI BACILLUS SUBTILIS

RESKA SYAFRI RIZALDI



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, SAINS, DAN
TEKNOLOGI
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
BANJARMASIN
2025

TESIS
PENURUNAN ANGKA PERMEABILITAS TANAH UNTUK
TPA (TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR) MENGGUNAKAN
MIKROBAKTERI BACILLUS SUBTILIS

Karya tulis sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Magister dari
Universitas Lambung Mangkurat

Oleh

RESKA SYAFRI RIZALDI

NIM. 2320828310009



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



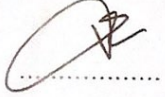
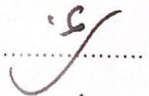
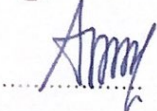
LEMBAR PENGESAHAN
TESIS PROGRAM STUDI S-2 TEKNIK SIPIL

Penurunan Angka Permeabilitas Tanah Untuk TPA (Tempat Pembuangan Akhir) Menggunakan Mikrobakteri *Bacillus Subtilis*

Oleh

Reska Syafri Rizaldi (2320828310009)

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji pada (15/Januari) 2025 dan dinyatakan
LULUS

| | | | |
|-------------------------|---|--|---|
| Komite Penguji | : | | |
| Ketua | : | Prof. Dr.-Ing. Yulian Firmana Arifin, S.T., M.T. NIP. 19750719 200003 1 001 |  |
| Anggota 1 | : | Dr. Nursiah Chairunnisa, S.T., M.Eng. NIP. 19790723 200501 2 005 |  |
| Anggota 2 | : | Prof. Dr. Ir. Rusdianyah, S.T., M.T. NIP. 19740809 200003 1 001 |  |
| Anggota 3 | : | Dr. Ir. Rustam Effendi, M.A.Sc., Ph.D NIP. 19620426 199003 1 001 |  |
| Pembimbing Utama | : | Dr. Ir. Muhammad Afief Ma'ruf, S.T., M.T. NIP. 19841031 200812 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

TESIS

Judul Tesis : Penurunan Angka Permeabilitas Tanah Untuk TPA (Tempat Pembuangan Akhir) Menggunakan Mikrobakteri *Bacillus Subtilis*

Nama : Reska Syafri Rizaldi

NIM : 2320828310009

Disetujui Komisi Pembimbing
Pembimbing Utama



Dr. Ir. Muhammad Affef Ma'ruf, S.T., M.T.
NIP. 19841031 200812 1 001

Koordinator Program Studi
Magister Teknik Sipil



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

TESIS

PENURUNAN ANGKA PERMEABILITAS TANAH UNTUK TPA (TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR) MENGGUNAKAN MIKROBAKTERI *BACILLUS SUBTILIS*

RESKA SYAFRI RIZALDI

2320828310009

Tesis ini telah diuji dan telah diperbaiki pada tanggal 16 Januari 2025

Tim penguji/penilai:

Prof. Dr.-Ing. Yulian Firmana Arifin, S.T., M.T.
NIP. 19750719 200003 1 001

Ketua



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

Sekretaris



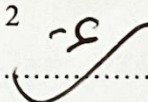
Prof. Dr. Ir. Rusdianyah, S.T., M.T.
NIP. 19740809 200003 1 001

Anggota 1



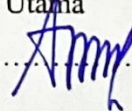
Dr. Ir. Rustam Effendi, M.A.Sc., Ph.D
NIP. 19620426 199003 1 001

Anggota 2



Dr. Ir. Muhammad Afief Ma'ruf, S.T., M.T.
NIP. 19841031 200812 1 001

Pembimbing Utama



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, 3 Januari 2025

Yang Membuat Pernyataan,



RESKA SYAFRI RIZALDI

NIM. 2320828310009

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, 3 Januari 2025
Yang Membuat Pernyataan,

RESKA SYAFRI RIZALDI
NIM. 2320828310009

ABSTRAK

Penurunan Angka Permeabilitas Tanah Untuk TPA (Tempat Pembuangan Akhir) Menggunakan Mikrobakteri *Bacillus Subtilis*

Reska Syafri Rizaldi

NIM. 2320828310009

Dr. Ir. Muhammad Afief Ma'ruf, S.T., M.T.

NIP. 19841031 200812 1 001

Penelitian ini mengevaluasi efektivitas penggunaan bakteri *Bacillus subtilis* dalam menurunkan angka permeabilitas tanah di area Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Permasalahan utama yang dihadapi di TPA adalah pencemaran air tanah akibat rembesan leachate, yang disebabkan oleh tingginya permeabilitas tanah. Pendekatan konvensional seperti penggunaan liner sintetik memiliki keterbatasan, sehingga diperlukan metode alternatif yang lebih berkelanjutan.

Mikrobakteri *Bacillus subtilis* merupakan variasi bakteri yang digunakan pada penelitian ini. Tahap pemeraman tanah yang diinokulasi bakteri dilakukan selama 3 hari. Pengujian penelitian ini bertujuan mengetahui penurunan nilai permeabilitas, antara tanah terpengaruh bakteri dan tanah tidak terpengaruh bakteri sebagai control pengujian. Uji SEM dilakukan guna mengetahui bentuk dari tanah terpengaruh bakteri dengan waktu pemeraman 3 hari, larutan sementasi 15% dan pasir 5%.

Bakteri *Bacillus subtilis* dapat menurunkan angka permeabilitas pada tanah dengan hasil $1,612 \times 10^{-7}$ untuk tanah rawa dengan pengaruh larutan sementasi (*reagen* bakteri) 15% dan pasir 5%, serta $9,791 \times 10^{-8}$ untuk tanah laterit dengan pengaruh larutan sementasi (*reagen* bakteri) 15% dan pasir 5%.

Kata Kunci : *Bacillus Subtilis*; Permeabilitas Tanah; Tempat Pembuangan Akhir (TPA); SEM.

ABSTRACT

Reducing Soil Permeability Rates for Landfills Using Bacillus Subtilis Microbacteria

Reska Syafri Rizaldi

NIM. 2320828310009

Dr. Ir. Muhammad Afief Ma'ruf, S.T., M.T.

NIP. 19841031 200812 1 001

This study evaluates the effectiveness of using *Bacillus subtilis* bacteria in reducing soil permeability rates in landfill areas. The primary issue faced at landfills is groundwater contamination caused by leachate seepage due to high soil permeability. Conventional approaches, such as using synthetic liners, have limitations, necessitating the development of more sustainable alternative methods.

Bacillus subtilis microbacteria were used in this study. The soil inoculated with bacteria underwent an incubation period of 3 days. This study aimed to determine the reduction in permeability values by comparing bacteria-affected soil with untreated soil as a control. SEM testing was conducted to observe the soil structure affected by bacteria after a 3-day incubation period with 15% cementation solution and 5% sand.

Bacillus subtilis bacteria were found to reduce soil permeability rates, achieving a result of 1.612×10^{-7} for swamp soil with a 15% cementation solution (bacterial reagent) and 5% sand, as well as 9.791×10^{-8} for laterite soil with the same cementation solution and sand composition.

Keywords: *Bacillus subtilis*; Soil Permeability; Landfill; SEM.

PRAKATA

Alhamdulillah, segala puji hanya milik Allah SWT. Berkat rahmat dan berkah-Nya penulis dapat menyelesaikan tesis ini yang berjudul **“Penurunan Angka Permeabilitas Tanah Untuk TPA (Tempat Pembuangan Akhir) Menggunakan Mikrobakteri *Bacillus Subtilis*”**. Sholawat dan salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW. beserta keluarganya. Semoga kita mendapat syafa’atnya di hari kiamat kelak.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan baik dari segi bahasa, pembahasan dan pemikiran. Penulis juga menyadari bahwa tesis ini berhasil disusun berkat bantuan dan do’a serta bimbingan dari berbagai pihak, sehingga merupakan keharusan bagi penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya teruntuk yang selalu memberikan dukungan baik moril maupun materil. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu penulis Desliati Harahap yang selalu mendukung dan mendoakan saya.
2. Bapak Prof. Dr. Ahmad, SE., M.Si. selaku rektor Universitas Lambung Mangkurat Banjarmasin
3. Bapak Dr. Mahmud, S.T., M.T. selaku Wakil Dekan Bidang Akademik Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat Banjarmasin dan Ibu Dr. Nursiah Chairunnisa, S.T., M.Eng. selaku Koordinator Program Studi S-2 Teknik Sipil.
4. Bapak Dr. Ir. Muhammad Afief Ma’ruf, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing utama yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing, memberikan masukan, memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis selama proses penyusunan tesis ini.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Iphan Fitriani Radam, ST., MT., IPU. Selaku Dekan Fakultas Teknik.
6. Seluruh Dosen Fakultas Teknik Sipil Universitas Lambung Mangkurat Banjarmasin, yang selama ini memberikan ilmu yang bermanfaat.
7. Seluruh staf keluarga besar Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat Banjarmasin.
8. Keluarga besar “SEKRE” yang selalu menemani dan memberikan dukungan kepada penulis untuk dapat menyelesaikan tesis ini.
9. Teman-teman “MC” yang mana penulis mendapatkan motivasi dalam menyelesaikan tesis ini tepat pada waktunya.
10. Seluruh keluarga yang memberikan doa dan dukungan moral kepada penulis.
11. Teman-teman S-2 yang berjuang bersama dalam masa perkuliahan di Magister Fakultas Teknik Sipil .

DAFTAR ISI

| | |
|---|-----------|
| PERNYATAAN | 2 |
| ABSTRAK | 3 |
| ABSTRACT | 4 |
| PRAKATA | 5 |
| DAFTAR ISI | 6 |
| DAFTAR TABEL | 8 |
| DAFTAR GAMBAR | 9 |
| BAB I | 10 |
| PENDAHULUAN | 10 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 10 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 11 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 11 |
| 1.4 Manfaat Penelitian..... | 12 |
| 1.5 Batasan Masalah..... | 12 |
| BAB II | 13 |
| TINJAUAN PUSTAKA | 13 |
| 2.1 Hasil Penelitian Terdahulu (<i>State of art</i>) | 13 |
| 2.2 Legalitas Penelitian | 14 |
| 2.3 Umum..... | 15 |
| 2.4 Tempat Pembuangan Akhir (TPA)..... | 15 |
| 2.5 Bio-grouting | 17 |
| 2.6 Bacillus Subtilis..... | 18 |
| 2.7 Tanah Rawa | 19 |
| 2.7.1 Klasifikasi Tanah Rawa..... | 20 |
| 2.7.2 Sifat Fisik Tanah Rawa..... | 20 |
| 2.8 Tanah Laterit..... | 21 |
| 2.8.1 Sifat Fisik Tanah Laterit..... | 21 |
| 2.9 Pasir | 22 |
| 2.10 Permeabilitas | 22 |
| BAB III | 24 |
| METODE PENELITIAN | 24 |
| 3.1 Umum | 24 |
| 3.2 Lokasi Penelitian dan Pengambilan Sampel..... | 24 |

| | | |
|-----------------------------|--|-----------|
| 3.3 | Bahan Penelitian | 24 |
| 3.4 | Peralatan Pengujian | 27 |
| 3.4.1 | Peralatan Pengujian Pendahuluan | 27 |
| 3.4.2 | Peralatan pengujian utama Permeabilitas..... | 30 |
| 3.5 | Pembuatan Larutan Sementasi (<i>Reagen</i> Bakteri) | 30 |
| 3.6 | Pengujian Pendahuluan..... | 32 |
| 3.7 | Pengujian Utama (Permeabilitas)..... | 34 |
| 3.7.1 | Prosedur Pengujian Utama (Permeabilitas)..... | 36 |
| 3.8 | Pengujian SEM..... | 38 |
| 3.9 | Bagan Alir Penelitian..... | 39 |
| BAB IV | | 40 |
| HASIL DAN PEMBAHASAN | | 40 |
| 4.1 | Deskripsi Umum..... | 40 |
| 4.2 | Pengujian Pendahuluan..... | 40 |
| 4.2.1 | Kadar Air Tanah Rawa | 40 |
| 4.2.2 | Kadar Air Tanah Laterit..... | 40 |
| 4.2.3 | Berat Spesifik (Gs)..... | 40 |
| 4.3 | Sifat-sifat Tanah Rawa..... | 41 |
| 4.4 | Sifat-sifat Tanah Laterit | 41 |
| 4.5 | Pengujian Sifat Fisik Terstabilisasi Larutan Bakteri..... | 41 |
| 4.5.1 | Kadar Air Terstabilisasi Larutan Bakteri..... | 42 |
| 4.5.2 | Pengujian Sifat Fisik Tanah Laterit Terstabilisasi Larutan Bakteri | 42 |
| 4.5.3 | Berat Jenis Tanah Rawa Terstabilisasi Larutan Bakteri | 43 |
| 4.5.4 | Berat Jenis Tanah Laterit Terstabilisasi Larutan Bakteri..... | 43 |
| 4.6 | Hasil Pengujian Permeabilitas Menggunakan Metode Falling Head | 44 |
| 4.6.1 | Hasil Pengujian Permeabilitas Tanah Rawa | 44 |
| 4.6.2 | Hasil Pengujian Permeabilitas Tanah Laterit | 46 |
| 4.7 | Hasil Pengujian SEM (Scanning Electron Microscopy) | 48 |
| BAB V | | 50 |
| PENUTUP | | 50 |
| 5.1 | Kesimpulan..... | 50 |
| 5.2 | Saran..... | 51 |
| DAFTAR RUJUKAN | | 52 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel II. 1 Sifat Fisik Tanah Rawa Indonesia (Mochtar,2002) | 20 |
| Tabel II. 2 Hasil Pengujian Sifat Fisik Tanah Laterit Landasan, Mandiangin dan Sungai Ulin | 22 |
| Tabel III. 1 Komposisi Larutan Sementasi | 31 |
| Tabel III. 2 Variasi Campuran Tanah Rawa dan Larutan Sementasi Pada Sampel Uji Permeabilitas..... | 34 |
| Tabel III. 3 Variasi Campuran Tanah Rawa, Pasir dan Larutan Sementasi Pada Sampel Uji Permeabilitas..... | 35 |
| Tabel III. 4 Variasi Campuran Tanah Laterit dan Larutan Sementasi Pada Sampel Uji Permeabilitas..... | 35 |
| Tabel III. 5 Variasi Campuran Tanah Laterit, Pasir dan Larutan Sementasi Pada Sampel Uji Permeabilitas..... | 36 |
| Tabel IV. 1 Sifat-sifat Tanah Rawa | 41 |
| Tabel IV. 2 Sifat-sifat Tanah Laterit | 41 |
| Tabel IV. 3 Nilai Kadar Air (W) Tanah Rawa Terhadap Penambahan Larutan Sementasi..... | 42 |
| Tabel IV. 4 Nilai Kadar Air (W) Tanah Laterit Terhadap Penambahan Larutan Sementasi | 42 |
| Tabel IV. 5 Nilai Berat Jenis (Gs) Tanah Rawa Terhadap Penambahan Larutan Bakteri | 43 |
| Tabel IV. 6 Nilai Berat Jenis (Gs) Tanah Laterit Terhadap Penambahan Larutan Bakteri | 43 |
| Tabel IV. 7 Hasil Pembacaan Uji Permeabilitas Metode Falling Head Pada Tanah Rawa | 44 |
| Tabel IV. 8 Hasil Pembacaan Uji Permeabilitas Metode Falling Head Pada Tanah Laterit | 46 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar II. 1 Bakteri Bacillus Subtilis | 18 |
| Gambar II. 2 Bagan Alir Penelitian..... | 39 |
| Gambar III. 1 Tanah Rawa | 25 |
| Gambar III. 2 Tanah Laterit | 25 |
| Gambar III. 3 Pasir Barito..... | 26 |
| Gambar III. 4 Bakteri Bacillus Subtilis dan CaCl ₂ | 26 |
| Gambar III. 5 Senyawa Urea | 27 |
| Gambar III. 6 Air Aquades | 27 |
| Gambar III. 7 Cawan..... | 28 |
| Gambar III. 8 Timbangan digital | 28 |
| Gambar III. 9 Oven dengan pengatur suhu..... | 29 |
| Gambar III. 10 Piknometer dan Timbangan digital | 29 |
| Gambar III. 11 Kompor | 29 |
| Gambar III. 12 Botol Air Aquades | 30 |
| Gambar III. 13 Alat Uji Permeabilitas Falling Head | 30 |
| Gambar III. 14 Proses Pembuatan Larutan Sementasi (Reagent Bakteri)..... | 32 |
| Gambar III. 15 Pengujian Kadar Air Tanah Asli..... | 33 |
| Gambar III. 16 Pengujian Berat Jenis | 33 |
| Gambar III. 17 Pembuatan dan Pengujian Sampel Uji Permeabilitas Metode Falling Head .. | 38 |
| Gambar IV. 1 Grafik Pengujian Permeabilitas menggunakan Metode Falling Head pada Tanah Rawa | 45 |
| Gambar IV. 2 Grafik Pengujian Permeabilitas menggunakan Metode Falling Head pada Tanah Laterit..... | 47 |
| Gambar IV. 3 Hasil Uji SEM Tanah Rawa Dengan Bakteri Bacillus Subtilis Pada Masa Pemeraman 3 Hari..... | 48 |
| Gambar IV. 4 Hasil Uji SEM Tanah Laterit Dengan Bakteri Bacillus Subtilis Pada Masa Pemeraman 3 Hari..... | 49 |