

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur sipil merupakan bagian penting dalam agenda peningkatan konektivitas nasional dan memiliki peran vital dalam mendukung pertumbuhan ekonomi. Untuk memastikan kualitas infrastruktur tersebut, pemerintah terus mendorong penguatan desain geoteknik yang tangguh terhadap kondisi lingkungan. Oleh karena itu, peningkatan ketahanan struktur menjadi tuntutan utama bagi setiap perencanaan teknik sipil, terutama karena pembangunan jalan, gedung, dan fasilitas lainnya menuntut daya dukung tanah dasar yang stabil, kuat, dan berkelanjutan. Di sinilah tanah ekspansif muncul sebagai tantangan utama dalam rekayasa geoteknik, mengingat tanah jenis ini memiliki fluktuasi volume ekstrem akibat perubahan kadar air. Karakteristik tanah ekspansif ini secara langsung memengaruhi stabilitas struktur, keamanan konstruksi, serta umur layan bangunan, baik pada proyek infrastruktur skala besar maupun kecil (Díaz & Tomás, 2025)

Kondisi iklim tropis di Indonesia memungkinkan adanya kecenderungan kerusakan infrastruktur yang dibangun di atas tanah ekspansif, mulai dari retakan struktur, penurunan pondasi yang tidak merata, jalan bergelombang, hingga bertambahnya frekuensi perbaikan. Dampak langsung dari kondisi tersebut berupa pembengkakan biaya pemeliharaan, inefisiensi umur bangunan, dan penurunan tingkat pelayanan jalan. Evaluasi perilaku kembang susut tanah menjadi penting karena stabilitas struktur hanya dapat dijaga melalui pemahaman mendalam terkait parameter dasar tanah ekspansif (Putri et al., 2022) Bukti di lapangan menegaskan perlunya pendekatan geoteknik yang lebih terstruktur dan berbasis eksperimental.

Penurunan stabilitas tanah dasar umumnya dipicu oleh tingginya fluktuasi kadar air yang memengaruhi tekanan mengembang (*swelling pressure*). Parameter kadar air digunakan sebagai indikator utama untuk mengidentifikasi

potensi pengembangan melalui pengujian *Atterberg limits*, uji pemadatan standar Proctor, dan uji konsolidasi oedometer. Penelitian (Faye et al., 2023) membuktikan bahwa pemetaan potensi mengembang membantu insinyur menentukan langkah stabilisasi secara kuantitatif. Temuan (Tuhumury & Iskandar, 2025) menunjukkan bahwa fluktuasi kadar air efektif dalam mengubah nilai tekanan mengembang sehingga strategi perkuatan tanah dapat disusun lebih terarah. Karakteristik mineral lempung seperti montmorilonit yang memiliki afinitas tinggi terhadap air menjadikan pendekatan ini relevan untuk memetakan penyebab kerusakan infrastruktur.

Analisis parameter indeks fisik tanah mampu menggambarkan potensi pengembangan awal pada suatu area. Namun, untuk memahami perilaku pengembangan tanah secara lebih mendalam diperlukan pengamatan langsung terhadap perubahan volume dan tekanan mengembang akibat perubahan kadar air. Dalam penelitian ini, pengamatan dilakukan menggunakan box swelling yang memungkinkan simulasi proses pembasahan tanah secara bertahap dari kondisi kering, basah, hingga jenuh pada sampel yang sama. Pendekatan ini memberikan gambaran mengenai perkembangan tekanan mengembang selama proses perubahan kadar air yang berlangsung secara kontinu dalam kondisi laboratorium yang terkontrol. Pengujian oedometer digunakan sebagai pengujian pendukung untuk memperoleh nilai tekanan mengembang serta membantu interpretasi hasil pengujian utama. Penelitian Saputra et al., (2022) menunjukkan bahwa pengujian skala laboratorium mampu menyimulasikan tekanan yang ditimbulkan tanah ekspansif terhadap struktur secara terukur. Penelitian Liu et al., (2021) turut membuktikan bahwa pengujian laboratorium yang dimodifikasi dapat mengevaluasi perilaku mengembang anisotropik secara lebih presisi. Parameter geoteknik seperti batas cair, indeks plastisitas, dan berat volume menjadi dasar kuantitatif dalam penyusunan model empiris melalui analisis regresi statistik. Penelitian Dewi et al., (2022) menunjukkan bahwa identifikasi sifat fisik dan mineralogi tanah meningkatkan akurasi penilaian potensi bahaya tanah ekspansif. Temuan Yousif et al., (2020) membuktikan bahwa prediksi persentase pengembangan dari sifat intrinsik tanah mampu meningkatkan efisiensi tahap

perencanaan konstruksi. Karakteristik tanah ekspansif yang sangat reaktif terhadap air menjadikan pemodelan empiris relevan untuk memprediksi perilakunya di lapangan.

Hasil penelitian di berbagai kondisi geologis menunjukkan efektivitas pemodelan laboratorium dalam memprediksi bahaya tanah ekspansif. Penelitian Yi et al., (2025) mencatat pentingnya pemahaman karakteristik tekanan mengembang dalam perencanaan konstruksi terowongan pada zona tanah bermasalah. Temuan Jones & Jefferson, (1998) menunjukkan peningkatan keberhasilan desain pondasi setelah penerapan analisis kembang susut yang komprehensif. Bukti empiris tersebut menegaskan potensi uji laboratorium dan pemodelan empiris dalam menganalisis perilaku tanah ekspansif pada berbagai proyek rekayasa sipil.

Kajian literatur menunjukkan masih terbatasnya penelitian yang mengintegrasikan pengujian eksperimental kadar air dengan pemodelan tekanan mengembang skala laboratorium secara spesifik. . Beberapa studi menunjukkan korelasi sifat fisik dengan pengembangan bebas secara umum, berbeda dengan penelitian sebelumnya yang hanya meninjau parameter indeks atau stabilisasi tanah, penelitian ini mengintegrasikan pengaruh kadar air terhadap tekanan mengembang melalui pendekatan eksperimental dan pemodelan regresi empiris. Pendekatan tersebut jarang dikombinasikan dengan model regresi empiris statistik yang mengukur besaran tekanan secara kuantitatif. Kondisi tersebut menunjukkan adanya celah penelitian yang memerlukan pendekatan integratif antara pengujian fisik di laboratorium dan pemodelan matematis empiris, Pendekatan integratif ini tidak hanya menutup celah literatur, tetapi juga menghasilkan model prediksi kuantitatif yang lebih praktis dan aplikatif bagi insinyur lapangan dibandingkan pengujian konvensional.

Meskipun berbagai penelitian telah mengkaji karakteristik tanah ekspansif, masih diperlukan model empiris yang mampu menggambarkan hubungan kuantitatif antara perubahan kadar air dan tekanan mengembang berdasarkan hasil pengujian laboratorium. Informasi tersebut menjadi sangat penting karena

perubahan kadar air merupakan faktor utama yang memengaruhi perilaku kembang-susut tanah dan secara langsung berdampak pada stabilitas konstruksi. Tanpa adanya model prediksi yang memadai, perencanaan geoteknik berpotensi mengalami ketidakpastian dalam memperkirakan respons tanah terhadap kondisi lapangan, sehingga meningkatkan risiko kerusakan struktur, pembengkakan biaya pemeliharaan, serta menurunkan umur layan infrastruktur. Oleh karena itu, penelitian ini menjadi penting untuk menghasilkan model hubungan empiris yang dapat digunakan sebagai dasar analisis awal dalam perencanaan dan mitigasi risiko pembangunan pada wilayah yang memiliki potensi tanah ekspansif.

Investigasi perubahan kadar air dan tekanan mengembang pada tanah ekspansif memiliki potensi untuk meningkatkan pemahaman mengenai perilaku kembang-susut tanah yang dapat memengaruhi kinerja konstruksi. Integrasi antara pengujian sifat fisik tanah, pemadatan Standard Proctor, pengujian box swelling sebagai pengujian utama, serta pengujian oedometer sebagai pendukung memberikan pendekatan yang komprehensif dalam mengevaluasi respons tanah terhadap perubahan kadar air. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai karakteristik tekanan mengembang pada kondisi kering, basah, dan jenuh, sehingga dapat menjadi referensi awal dalam analisis geoteknik pada daerah yang memiliki potensi tanah ekspansif. Pemahaman tersebut diharapkan mampu mendukung upaya peningkatan keamanan konstruksi, pengurangan risiko kerusakan struktur, dan pengelolaan pemeliharaan infrastruktur secara lebih efektif.

Penelitian ini disusun untuk merumuskan model empiris hubungan kadar air dan tekanan mengembang pada tanah ekspansif melalui studi eksperimental dan pemodelan skala laboratorium. Pendekatan tersebut diharapkan mampu memberikan kontribusi akademik dalam bentuk pemodelan regresi statistik berbasis pengujian oedometer. Hasil penelitian ini juga difokuskan untuk memberikan kontribusi praktis bagi insinyur geoteknik dalam merancang infrastruktur yang tangguh di atas lapisan tanah ekspansif

1.2 Perumusan masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang, masalah yang akan diteliti dalam riset ini dirumuskan menjadi beberapa pertanyaan berikut:

1. Bagaimana karakteristik sifat fisik dan Mekanik pada sampel tanah ekspansif yang diuji?
2. Bagaimana perubahan nilai tekanan mengembang pada satu sampel tanah ekspansif yang diuji secara berkelanjutan dalam kondisi kering, basah, dan jenuh menggunakan box swelling?
3. Bagaimana analisis hasil uji tekanan mengembang tanah ekspansif menggunakan model regresi linier dan nonlinier berdasarkan pengujian box swelling?

1.3 Batasan masalah

1. Penelitian difokuskan pada analisis hubungan antara perubahan kondisi kadar air tanah (kering, basah, dan jenuh) terhadap perilaku pengembangan (swelling) dan tekanan mengembang pada tanah ekspansif dalam skala laboratorium.
2. Pengujian utama dilakukan menggunakan box uji swelling dengan satu sampel tanah yang sama dan satu box pengujian, sehingga perubahan kondisi kadar air dilakukan secara bertahap dan berkelanjutan tanpa penggantian sampel selama proses penelitian.
3. Pengujian oedometer digunakan sebagai pengujian pendukung untuk memperoleh nilai tekanan mengembang tanah serta sebagai data pembanding dalam penyusunan model empiris hubungan kadar air dan tekanan mengembang.
4. Sampel tanah yang digunakan berasal dari satu lokasi tertentu dan disiapkan dalam kondisi terganggu (*disturbed sample*), sehingga hasil penelitian hanya merepresentasikan karakteristik tanah pada lokasi tersebut.

5. Variabel yang dianalisis dibatasi pada perubahan kondisi kadar air tanah dan respons pengembangannya, tanpa membahas secara rinci pengaruh parameter geoteknik lainnya seperti kuat geser, permeabilitas, kompresibilitas, maupun daya dukung tanah.
6. Analisis penelitian difokuskan pada penyusunan hubungan empiris antara kondisi kadar air dan tekanan mengembang berdasarkan hasil pengujian laboratorium, tanpa melibatkan pemodelan numerik atau simulasi menggunakan perangkat lunak geoteknik.
7. Seluruh pengujian dilakukan dalam kondisi laboratorium yang terkontrol, sehingga pengaruh faktor lapangan seperti variasi iklim, siklus basah-kering alami, drainase, vegetasi, dan fluktuasi muka air tanah tidak menjadi bagian dari penelitian.

Penelitian ini memiliki nilai kebaruan karena mengkaji secara langsung perubahan tekanan mengembang tanah ekspansif akibat perubahan kondisi kadar air pada sampel yang sama melalui pengujian laboratorium yang dilakukan secara berkelanjutan. Pendekatan ini memungkinkan pengamatan perilaku pengembangan tanah secara lebih representatif terhadap proses perubahan kadar air yang terjadi secara bertahap. Beberapa aspek yang menjadi keunikan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian menggunakan satu sampel tanah yang sama dan satu box swelling yang diuji secara berkelanjutan dari kondisi kering, basah, hingga jenuh, sehingga dapat menggambarkan perubahan perilaku tekanan mengembang akibat perubahan kadar air tanpa dipengaruhi oleh variasi karakteristik antar sampel.
2. Pengujian utama dilakukan menggunakan box swelling yang dirancang untuk mengamati respons pengembangan tanah pada berbagai kondisi kadar air, sehingga diperoleh gambaran evolusi tekanan mengembang secara bertahap selama proses pembasahan.

3. Pengujian oedometer digunakan sebagai pengujian pendukung untuk memperoleh nilai tekanan mengembang yang lebih terstandarisasi serta sebagai dasar verifikasi terhadap hasil yang diperoleh dari box swelling.
4. Penelitian tidak hanya mengidentifikasi potensi mengembang tanah berdasarkan parameter indeks atau klasifikasi tanah, tetapi juga mengevaluasi secara kuantitatif perubahan tekanan mengembang yang terjadi pada setiap kondisi kadar air yang diuji.
5. Hasil pengujian laboratorium digunakan untuk menyusun hubungan empiris antara kondisi kadar air dan tekanan mengembang tanah ekspansif, sehingga dapat memberikan dasar awal dalam memprediksi respons pengembangan tanah akibat perubahan kadar air.
6. Penelitian memberikan pendekatan eksperimental yang mengintegrasikan pengamatan perilaku swelling pada box pengujian dan data tekanan mengembang dari oedometer dalam satu rangkaian penelitian, yang masih relatif jarang diterapkan pada studi tanah ekspansif di Indonesia.

1.4 Tujuan Dan Manfaat Penelitian

Tujuan penelitian:

- a. Mengidentifikasi karakteristik sifat fisik dan parameter pemadatan tanah ekspansif yang digunakan sebagai sampel penelitian.
- b. Menganalisis perubahan perilaku pengembangan dan tekanan mengembang tanah ekspansif pada kondisi kering, basah, dan jenuh berdasarkan hasil pengujian box swelling
- c. Membandingkan nilai tekanan mengembang yang terjadi pada setiap kondisi kadar air untuk mengetahui pengaruh perubahan kadar air terhadap respons pengembangan tanah ekspansif.
- d. Mengevaluasi hasil pengujian box swelling dengan hasil pengujian oedometer sebagai pengujian pendukung dalam menentukan tekanan mengembang tanah.

- e. Mengidentifikasi pola hubungan antara kondisi kadar air dan tekanan mengembang berdasarkan data hasil pengujian laboratorium.
- f. Memberikan kontribusi teoritis berupa penguatan konsep hubungan kadar air dan tekanan mengembang dalam kerangka interaksi tanah–air pada tanah ekspansif.
- g. Menyusun hubungan empiris sederhana antara kondisi kadar air dan tekanan mengembang yang dapat digunakan sebagai dasar interpretasi perilaku tanah ekspansif dalam skala laboratorium.
- h. Memberikan pemahaman yang lebih baik mengenai mekanisme perubahan tekanan mengembang akibat perubahan kondisi kadar air pada tanah ekspansif.

Manfaat Penelitian:

- a. Manfaat Akademis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu geoteknik, khususnya pada kajian perilaku tanah ekspansif akibat perubahan kadar air. Hasil penelitian dapat memperkaya pemahaman mengenai mekanisme pengembangan tanah pada kondisi kering, basah, dan jenuh melalui pengamatan langsung menggunakan box swelling dan pengujian pendukung oedometer.

Secara akademis, penelitian ini memberikan informasi mengenai hubungan antara perubahan kondisi kadar air dan tekanan mengembang yang terjadi pada sampel tanah yang sama secara berkelanjutan. Pendekatan tersebut dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang membahas perilaku kembang-susut tanah ekspansif, metode pengujian laboratorium, maupun pengembangan model empiris sederhana yang berkaitan dengan tekanan mengembang tanah.

Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat menambah data dan literatur mengenai karakteristik tanah ekspansif di Indonesia yang masih relatif terbatas, sehingga dapat mendukung pengembangan penelitian geoteknik pada masa mendatang.

b. Manfaat Praktis

Secara praktis, penelitian ini memiliki relevansi langsung terhadap praktik rekayasa geoteknik, khususnya dalam perencanaan dan evaluasi konstruksi pada daerah dengan tanah ekspansif. Tekanan mengembang yang tidak teridentifikasi dengan baik dapat menyebabkan kerusakan struktural seperti retak pada fondasi, pergeseran lantai, hingga deformasi pada perkerasan jalan. Dengan adanya model empiris yang menghubungkan kadar air dan tekanan mengembang, praktisi teknik sipil dapat memperoleh gambaran awal mengenai potensi tekanan yang mungkin terjadi akibat perubahan kadar air di lapangan, terutama pada kondisi fluktuasi musiman atau perubahan sistem drainase.

Bagi institusi perencana dan kontraktor, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan awal dalam analisis risiko tanah ekspansif sebelum dilakukan perancangan struktur fondasi. Model prediksi yang dikembangkan dapat membantu dalam pengambilan keputusan terkait kebutuhan stabilisasi tanah, pemilihan tipe fondasi, atau pengendalian kadar air di sekitar bangunan. Selain itu, bagi pemerintah daerah dan pembuat kebijakan di wilayah dengan sebaran tanah ekspansif, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar pertimbangan dalam penyusunan pedoman teknis atau standar mitigasi risiko kerusakan infrastruktur akibat pengembangan tanah.

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memiliki nilai akademik dalam memperkuat teori dan literatur ilmiah, tetapi juga memiliki urgensi praktis dalam mendukung pengambilan keputusan

teknis yang lebih tepat, efisien, dan berbasis data dalam praktik rekayasa geoteknik.

1.5 Keaslian Tugas Akhir

Penelitian ini memiliki tingkat keunikan yang tinggi karena belum banyak kajian yang secara rinci mengintegrasikan pengujian eksperimental fluktuasi air dengan pemodelan empiris untuk memprediksi tekanan mengembang secara spesifik. Beberapa keunikan dari penelitian ini:

7. Sebagian besar penelitian terdahulu umumnya hanya berfokus pada identifikasi potensi mengembang secara kualitatif berdasarkan parameter indeks fisik (*Atterberg limits*), tanpa melakukan pengujian tekanan mengembang secara langsung dan terukur menggunakan simulasi *Box Uji Swelling*.
8. Penelitian mengenai tanah ekspansif selama ini lebih banyak menitikberatkan pada metode perkuatan atau stabilisasi tanah (baik secara kimiawi maupun mekanis), bukan pada analisis perilaku dasar dan perumusan model hubungan antara kadar air dan tekanan mengembang itu sendiri.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan Tugas Akhir ini disusun ke dalam lima bab yang saling berkaitan, dengan uraian sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang penelitian mengenai perilaku tekanan mengembang tanah ekspansif, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan Tugas Akhir.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan teori-teori yang menjadi landasan penelitian, meliputi pengertian dan karakteristik tanah ekspansif, sifat fisik tanah, parameter pemadatan, mekanisme pengembangan tanah, pengujian tekanan mengembang menggunakan metode *box swelling*, faktor-faktor yang memengaruhi tekanan mengembang, konsep analisis regresi linier dan regresi nonlinier, serta penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian ini.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan lokasi dan waktu penelitian, jenis penelitian, bahan dan peralatan yang digunakan, prosedur pengujian laboratorium, metode pengumpulan data, tahapan pelaksanaan pengujian sifat fisik, pemadatan, dan *box swelling*, serta metode analisis data menggunakan regresi linier dan regresi nonlinier untuk memperoleh model prediksi tekanan mengembang tanah ekspansif.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil pengujian laboratorium yang meliputi karakteristik sifat fisik tanah, hasil pengujian pemadatan, perubahan kadar air selama proses pengujian, perkembangan tekanan mengembang pada setiap periode pengamatan, analisis hubungan antara kadar air dan tekanan mengembang menggunakan regresi linier dan regresi nonlinier, evaluasi nilai koefisien determinasi (R^2), serta pembahasan terhadap hasil penelitian berdasarkan teori dan penelitian terdahulu.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian dalam menjawab rumusan masalah serta saran yang dapat digunakan sebagai masukan untuk penelitian selanjutnya maupun penerapan pada bidang geoteknik, khususnya yang berkaitan dengan perilaku tekanan mengembang tanah ekspansif.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum Tanah Ekspansif

Pemahaman mendasar mengenai tanah ekspansif sangat diperlukan sebelum menganalisis lebih jauh tentang perilaku mekanisnya, terutama terkait perubahan kadar air dan tekanan mengembang. Sub-bab ini akan menguraikan definisi, karakteristik, mineralogi, serta identifikasi awal dari tanah ekspansif.

2.1.1 Definisi dan Karakteristik Tanah Ekspansif

Tanah ekspansif merupakan salah satu jenis tanah bermasalah yang sangat peka terhadap fluktuasi atau perubahan kadar air. Tanah ini memiliki karakteristik utama berupa tingkat kembang susut yang tinggi akibat adanya perubahan pada volume pori. Perilaku fisik tanah ekspansif sangat dipengaruhi oleh musim; pada musim hujan tanah akan mengalami pengembangan (*swelling*), sedangkan pada musim kemarau atau panas tanah akan mengalami penyusutan. Secara visual dan fisik, tanah ini akan membentuk rekahan-rekahan ketika dalam kondisi kering, dan berubah menjadi licin serta plastis ketika mengembang. Perubahan volume yang ekstrem ini dapat menimbulkan gaya angkat pada konstruksi yang berada di atasnya sehingga sering memicu kerusakan infrastruktur (Alihudien et al., 2021)

2.1.2 Mineralogi Lempung Ekspansif

Sifat kembang susut yang signifikan pada tanah lempung ekspansif utamanya dikontrol oleh kandungan mineral dominan di dalamnya. Tanah ekspansif umumnya mengandung kadar lempung yang tinggi dengan dominasi mineral *montmorillonite*. Kandungan mineral ini menyebabkan partikel tanah memiliki luas permukaan yang cukup besar sehingga tanah menjadi sangat mudah untuk menyerap air dalam jumlah yang banyak saat kondisi basah (Uba et al., 2021). Selain itu, mineral ini juga mudah melepaskan air saat kondisi lingkungan mengering. Karakteristik lain dari butiran penyusunnya adalah ukurannya yang sangat halus (lebih kecil dari 0,002 mm), bersifat sangat kohesif, memiliki permeabilitas yang rendah, serta proses konsolidasinya berjalan lambat (Haykal et al., 2021)