

KORELASI FAKTOR PENGARUH PERILAKU MENGEMBANG TANAH TERHADAP NILAI SWELLING PRESSURE

Joan Nathasya Tuhumury^{1*}, Ali Iskandar¹

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
*joan.325210073@stu.untar.ac.id

Masuk: 14-10-2024, revisi: 17-02-2025, diterima untuk diterbitkan: 10-04-2025

ABSTRACT

There are numerous challenges faced by geotechnical engineers in ensuring the construction of safe and durable infrastructure, one of which is the presence of expansive soils. Expansive soil refers to any soil or rock material that has the potential to shrink or swell due to changes in moisture conditions. However, moisture content is not the only factor affecting soil expansion behavior; Plastic limit, Liquid limit, Plasticity Index, Clay Percentage and Fine Content Percentage also play significant roles. Under certain conditions, these parameters may not directly influence the degree of soil expansion. These parameters significantly impact soil swelling when expansive minerals like montmorillonite or vermiculite are present. In this study, while X-Ray Diffraction Analysis was not conducted to identify soil minerals, the coefficients of determination indicate that dry density, water content, natural void ratio, initial void ratio, and fine content percentage are the most influential factors affecting swelling pressure, respectively. However, variations in samples may lead to differing conclusions due to the lack of information regarding the mineral composition of each sample.

Keywords: Expansive soil; Montmorillonite; Liquid limit; Plastic limit; Plasticity Index

ABSTRAK

Terdapat banyak tantangan bagi insinyur geoteknik dalam pelaksanaan pembangunan infrastruktur yang aman dan tahan lama, salah satunya adalah keberadaan tanah ekspansif. Tanah ekspansif adalah istilah yang diterapkan pada material tanah atau batuan apa pun yang berpotensi menyusut atau membengkak karena kondisi kelembaban yang berubah. Namun tidak hanya kelembaban yang memengaruhi perilaku mengembang tanah, rasio pori tanah, *Plastic limit*, *Liquid limit*, *Plasticity Index*, *Clay Percentage*, dan *Fine Content Percentage* juga memengaruhinya. Pada kondisi tertentu beberapa parameter ini tidak semata-mata memengaruhi besarnya pengembangan tanah. Parameter-parameter tersebut akan berpengaruh secara signifikan apabila diiringi dengan kondisi tanah lempung yang mengandung mineral ekspansif seperti *montmorillonite* atau *vermiculite*. Pada penelitian ini tidak dilakukan *X-Ray Diffraction Analysis* sehingga tidak ada data mengenai mineral yang terkandung dalam sampel tanah, namun dari nilai masing-masing koefisien determinasi dapat disimpulkan bahwa secara berurutan, *dry density*, *water content*, *natural void ratio*, *initial void ratio*, dan *%fine content* adalah yang paling memengaruhi nilai *swelling pressure*.

Kata kunci: Ekspansif; *Montmorillonite*; Batas Cair; Batas Plastis; Index Plastisitas

1. PENDAHULUAN

Keberadaan tanah ekspansif sejatinya menjadi tantangan tersendiri bagi insinyur geoteknik dalam merancang dan membangun infrastruktur yang aman dan tahan lama. Sebelum dapat memahami mengapa tanah ekspansif menjadi tantangan, terlebih dahulu perlu diketahui apa itu tanah ekspansif. Tanah ekspansif adalah istilah yang umumnya diterapkan pada material tanah atau batuan apa pun yang berpotensi menyusut atau membengkak karena kondisi kelembaban yang berubah (Nelson & Miller, 1997). Dari pengertian ini dapat diketahui bahwa perilaku tanah ekspansif sangat bergantung pada variasi kandungan air yang ada di dalamnya. Selain itu, juga diketahui bahwa tanah liat ekspansif yang mengandung mineral montmorillonit menunjukkan pembengkakan dan penyusutan yang disebabkan oleh variasi kadar air, yang menyebabkan kerusakan yang signifikan (Panda et al., 2023).

Banyak hal yang dapat memengaruhi perilaku tanah untuk dapat mengembang dan menyusut. Dalam *Expansive Soils Problems and Practice in Foundation and Pavement Engineering* oleh Nelson & Miller (1997), hal-hal yang memengaruhi perilaku kembang susut tanah dapat dikategorikan menjadi 3 kelompok, yaitu karakteristik tanah yang memengaruhi sifat alamiahnya, faktor lingkungan, dan tekanan yang terjadi di dalam tanah.

Dari banyak faktor yang ada, penelitian ini akan membahas condong kepada faktor karakteristik tanah. Hal ini ditujukan untuk mengetahui parameter yang paling berpengaruh dalam perilaku tanah ekspansif namun dengan batasan-batasan tertentu.

Microscale Factors

Karakteristik tanah dipengaruhi oleh *microscale factors* dan *macroscale factors*. *Microscale factors* termasuk di dalamnya adalah kandungan mineral dan kandungan kimiawi dalam tanah. Bagaimana *microscale factors* dapat berpengaruh terhadap perilaku kembang susut tanah adalah dikarenakan interaksi antar partikel tanah pada tingkat mikroskopis yang tidak kasat mata namun pada praktiknya berpengaruh terhadap perilaku tanah.

Salah satu contohnya adalah keterkaitan antar partikel tanah lempung, tanah lempung cenderung mengalami *swelling* yang lebih besar apabila dibandingkan dengan tanah berpasir dikarenakan interaksi antar partikelnya lebih kuat pada tingkat mikroskopis. Selain itu kandungan mineral pada tanah juga merupakan factor mikroskopis yang memengaruhi kembang susut tanah. Mineral yang umumnya menyebabkan perubahan volume pada tanah adalah *montmorillonite* dan *vermiculite*, sedangkan *illite* dan *kaolinite* jarang bersifat ekspansif namun tetap dapat bersifat ekspansif bila ukurannya yang sangat kecil.

Macroscale Factors

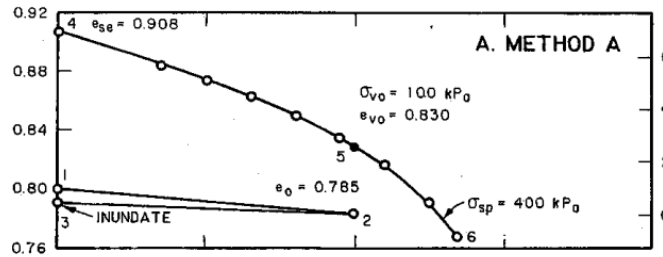
Macroscale factors merupakan karakteristik fisik dan mekanis bahan yang memengaruhi perilaku tanah dalam aplikasi rekayasa yang mana secara tidak langsung dipengaruhi juga oleh faktor mikro tanah itu sendiri (Nelson & Miller, 1997; Yuliyanti et al., 2013). *Macroscale factors* merupakan faktor-faktor yang memengaruhi perilaku tanah secara keseluruhan, terutama yang bisa diamati pada skala besar atau secara visual. Salah satunya yang paling memengaruhi perilaku kembang susut tanah adalah variasi kadar air, variasi kadar air merupakan salah satu faktor paling penting yang memengaruhi potensi pengembangan tanah. Tanah ekspansif yang awalnya lembap akan mengembang lebih sedikit ketika bersentuhan dengan air, karena afinitasnya terhadap air telah menurun. Afinitas ini dijelaskan oleh hubungan langsung antara kadar air dan tekanan isap (*suction pressure*). Parameter ini (variasi kadar air), dikombinasikan dengan parameter kedua yaitu densitas tanah, merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap tingkat perubahan volume. Kepadatan dari tanah ekspansif memengaruhi perilakunya. Tanah lempung yang padat akan mengalami tingkat pengembangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi tanah yang kurang padat pada kadar air yang sama (Louafi & Dafalla, 2022).

Kemudian faktor lainnya adalah *dry density*, *dry density* tetap menjadi parameter utama yang mengatur perilaku kembang-susut tanah. Semakin padat tanahnya (yang ditandai dengan *void ratio* rendah atau kadar air awal yang rendah), maka semakin kecil penyusutan yang terjadi, dan semakin besar pula pengembangan yang akan muncul (Makki et al., 2024).

Selain kadar air dan densitas tanah, *Atterberg Limit* juga berpengaruh terhadap perilaku kembang susut tanah. Batas-batas *Atterberg* diantaranya adalah *Liquid Limit*, *Plastic Limit*, *Shrinkage Limit*, dan juga *Plasticity Index*. Indeks Plastisitas dapat digunakan untuk memprediksi karakteristik *swelling* tanah ekspansif dimana tanah ekspansif yang mempunyai Indeks Plastisitas yang tinggi akan mempunyai kecenderungan mengembang yang besar (Misdi, 2024). Dari penelitian yang pernah dilakukan, hasil analisis menunjukkan bahwa semakin besar indeks plastisitas tanah maka semakin besar pula tekanan mengembangnya dan semakin rendah kadar air awal pada suatu tanah lempung maka tekanan mengembang pada tanah tersebut semakin tinggi. Besar persentase mengembang suatu tanah sebanding dengan tekanan mengembangnya, yaitu semakin besar persentase mengembang maka tekanan mengembangnya juga semakin besar (Saputra et al., 2021).

Semua faktor tersebut sejatinya saling terkait, begitu juga dengan persentase kadar lempung yang terkandung dalam tanah. Perilaku kembang-susut tanah sangat berkaitan dengan sifat intrinsik tanah, termasuk kandungan lempung dan jenisnya, kandungan karbonat anorganik, dan densitas massa kering. Di sisi lain, perilaku ini juga dapat sangat dipengaruhi oleh sejumlah besar faktor eksternal, seperti tekanan beban, bahan aditif, kimia air pori, intensitas pengeringan, siklus pembekuan-pencairan, serta siklus pengeringan-pembasahan (Qi et al., 2022). Hal ini menunjukkan bahwa perilaku kembang susut tanah tidak hanya ditentukan oleh sifat dasar tanah, tetapi juga oleh berbagai kondisi lingkungan yang berubah ubah.

Swelling Test



Gambar 1. Void Ratio - Log Pressure Curve (ASTM D4546-03)

Nilai *Swelling Pressure* yang digunakan pada penelitian ini didapat dari hasil uji *swelling* dengan berdasarkan kepada ASTM D4546-03 tentang *Standard Test Methods for One-Dimensional Swell or Settlement Potential of Cohesive Soils, Method A*. Standard ini menjelaskan metode untuk menentukan besar nilai kembang susut yang dapat terjadi pada tanah kohesif dengan mengukur perubahan volume yang terjadi pada tanah saat mengalami perubahan kadar air dan pemberian beban secara vertikal.

Selain menjelaskan mengenai prosedur pengujian, ASTM D4546-03 juga menjelaskan bagaimana besar nilai *swelling pressure* didapatkan. Nilai *Swell Pressure* didapat dari grafik *void ratio versus vertical pressure* yang diplot dengan skala logaritmik. Pada pengujian *Method A* ini dicatat tinggi awal spesimen (h_0), perubahan tinggi spesimen (Δh), *void ratio at the seating pressure* (e_{se}), dan *initial void ratio* (e_0). Parameter-parameter tersebut nantinya akan digunakan untuk mendapatkan besar nilai *free swell at seating pressure*, *heave percentage at vertical pressure*, dan *swell pressure* yang masing-masing diperoleh dari Persamaan 1, Persamaan 2, dan Persamaan 3.

a) *Free Swell at Seating Pressure*

Persentase *free swell* didapatkan dari perbandingan antara nilai rasio pori tanah awal (*initial void ratio*) dan nilai *void ratio* spesimen setelah mengembang dengan tekanan awal. Selain Persamaan 1, persentase *free swell* juga terdapat pada sisi kanan grafik *void ratio versus log pressure*.

$$\frac{\Delta h}{h_0} \times 100 = \frac{e_{se} - e_0}{1 + e_0} \times 100 = \frac{\gamma_{d0}}{\gamma_{dse}} \times 100 \tag{1}$$

Dengan Δh = perubahan tinggi spesimen, h_0 = tinggi awal spesimen, e_{se} = *void ratio* spesimen pada keadaan mengembang akibat tekanan awal sebesar 1 kPa, e_0 = *initial void ratio*, γ_{d0} = *dry unit weight at void ratio e_0* , dan γ_{dse} = *dry unit weight at void ratio e_{se}* .

b) *Heave Percentage at Vertical Pressure*

Persentase nilai *heave* merupakan perbandingan antara perubahan tinggi spesimen dengan tinggi awal spesimen. Berbeda dengan nilai *Free Swell* yang dipengaruhi oleh beban awal sebesar 1 kPa, persentase *heave* dipengaruhi oleh beban vertikal terhadap spesimen. Beban vertikal yang digunakan dibatasi hingga beban pada titik *Swell Pressure* atau pada *initial void ratio*.

$$\frac{\Delta h}{h_0} \times 100 = \frac{e - e_0}{1 + e_0} \times 100 = \left(\frac{\gamma_{d0}}{\gamma_d} - 1 \right) \times 100 \tag{2}$$

Dengan e = *void ratio at vertical pressure*, dan γ_d = *dry unit weight at void ratio e* .

c) *Swell Pressure*

Swell Pressure merupakan nilai tekanan yang diberikan terhadap spesimen yang telah mengalami pembengkakan untuk mengetahui sejauh mana spesimen dapat kembali ke keadaan semula atau *initial void ratio*. Nilai *Swell Pressure* didapat dari grafik perbandingan antara *void ratio versus log pressure*.

Mekanisme pengembangan tanah ekspansif sangat kompleks dan dipengaruhi oleh berbagai faktor yang saling terkait (Yao et al., 2024). Dari banyak faktor utama dan faktor pendukung, penelitian ini ditujukan untuk mengetahui parameter yang paling berpengaruh pada perilaku kembang susut pada tanah lempung. Tujuan diketahuinya faktor yang paling berpengaruh salah satunya adalah untuk dapat digunakan pada perencanaan perbaikan tanah ekspansif. Bagaimanapun perbaikan tanah ekspansif merupakan langkah penting yang harus diambil untuk mengurangi potensi kerusakan pada struktur akibat perubahan volume tanah.

2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, terlebih dahulu dilakukan studi pustaka mengenai materi terkait. Dari serangkaian studi yang telah dilakukan, disimpulkan bahwa dalam penelitian ini dibutuhkan beberapa parameter yang harus dicari terlebih dahulu untuk kemudian dapat dijadikan dasar dalam pengambilan kesimpulan.

Sebagai batasan, sampel tanah yang digunakan pada penelitian ini adalah sampel dari Proyek di Jawa Barat. Hal ini perlu diperhatikan sebab karakteristik tanah dan kesimpulan yang nantinya akan didapatkan kemungkinan akan berbeda bila dibandingkan dengan tanah di lokasi lain.

Parameter yang dibutuhkan dicari dengan pengujian sampel tanah di laboratorium dengan berdasarkan standar ASTM (*American Society of Testing Material*) dan dalam keadaan tanah *Undisturbed*. Beberapa pengujian beserta parameter yang diperlukan diantaranya adalah:

1. *Index Properties Test*
 - *Water content (%)*
 - *Unit Weight*
 - *Specific Gravity*
2. *Atterberg Limit Test*
 - *Liquid limit*
 - *Plastic limit*
 - *Plasticity Index*
3. *Grain Size Analysis*
 - *Grain size distribution*
 - *Clay percentage*
 - *Fine content percentage*
4. *Swelling Test*
 - *Swelling Pressure*
 - *Magnitude of Free Swell*
 - *Magnitude of Swell at Overburden Pressure*

Setelah semua parameter yang dibutuhkan tersedia, dilakukan olah data dan korelasi antara parameter-parameter hasil *Index Properties Test*, *Atterberg Limit Test*, dan *Grain Size Analysis*, dengan nilai *Swelling Pressure*. Selain itu diperlukan juga penentuan variabel guna membantu proses penarikan Kesimpulan. Variabel yang digunakan antara lain adalah:

1. Variabel Independen
Variabel independen merupakan variabel bebas, variabel bebas bertindak sebagai faktor yang memengaruhi variabel terikat dan dipilih untuk melihat seberapa variabel terikat dapat dipengaruhi oleh variabel bebas. Dalam penelitian ini, parameter-parameter hasil *Index Properties Test*, *Atterberg Limit Test*, dan *Grain Size Analysis* merupakan variabel independent.
2. Variabel Dependen
Variabel dependen adalah variabel terikat atau variabel yang dipengaruhi. Variabel dependen diamatati untuk melihat dampak dari perubahan variabel bebas, dalam kata lain variabel dependen bergantung pada variabel bebas. Dalam penelitian ini, variabel yang dipengaruhi adalah nilai *Swelling Pressure*.

Selanjutnya dilakukan perhitungan koefisien determinasi atau R^2 antara variabel dependen terhadap variabel independent. Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui sifat fisik tanah yang paling berpengaruh terhadap perilaku kembang susut tanah. Rentang nilai R^2 adalah 0 hingga 1. Dimana $R^2 = 0$ berarti variabel dependen tidak berkontribusi dalam perubahan nilai *swelling pressure* dan sebaliknya jika $R^2 = 1$, maka variabel dependen sepenuhnya memengaruhi perubahan nilai *swelling pressure*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji sampel disajikan pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3.

Tabel 1. Hasil uji Index Properties dan Atterberg Limit

	<i>Index Properties</i>				<i>Atterberg Limit</i>			
	<i>Water Content (%)</i>	Gs	<i>Wet Density (kN/m³)</i>	<i>Dry Density (kN/m³)</i>	<i>Natural void ratio</i>	<i>Liquid limit (%)</i>	<i>Plastic Limit (%)</i>	<i>Plasticity Index (%)</i>
Sampel 1	61.59	2.59	13.93	8.62	1.95	62.00	32.00	30.00

Tabel 2 (Lanjutan). Hasil uji Index Properties dan Atterberg Limit

	Index Properties				Atterberg Limit			
	Water Content (%)	Gs	Wet Density (kN/m ³)	Dry Density (kN/m ³)	Natural void ratio	Liquid limit (%)	Plastic Limit (%)	Plasticity Index (%)
Sampel 2	63.74	2.67	15.99	9.77	1.68	61.00	31.00	30.00
Sampel 3	52.41	2.63	15.25	10.01	1.57	96.00	28.00	68.00
Sampel 4	53.15	2.53	15.43	10.07	1.46	94.00	26.00	68.00
Sampel 5	44.62	2.53	15.50	10.72	1.31	90.00	35.00	54.00
Sampel 6	45.76	2.54	16.43	11.27	1.21	88.00	34.00	54.00
Sampel 7	44.56	2.50	16.48	11.40	1.15	66.00	31.00	51.00
Sampel 8	46.96	2.51	16.79	11.42	1.15	90.00	36.00	40.00
Sampel 9	34.35	2.70	17.65	13.13	1.01	47.00	25.00	22.00
Sampel 10	36.05	2.60	18.77	13.79	0.85	57.00	32.00	25.00
Sampel 11	27.94	2.55	17.76	13.89	0.80	84.00	34.00	53.00

Tabel 3. Hasil Grain Size Analysis

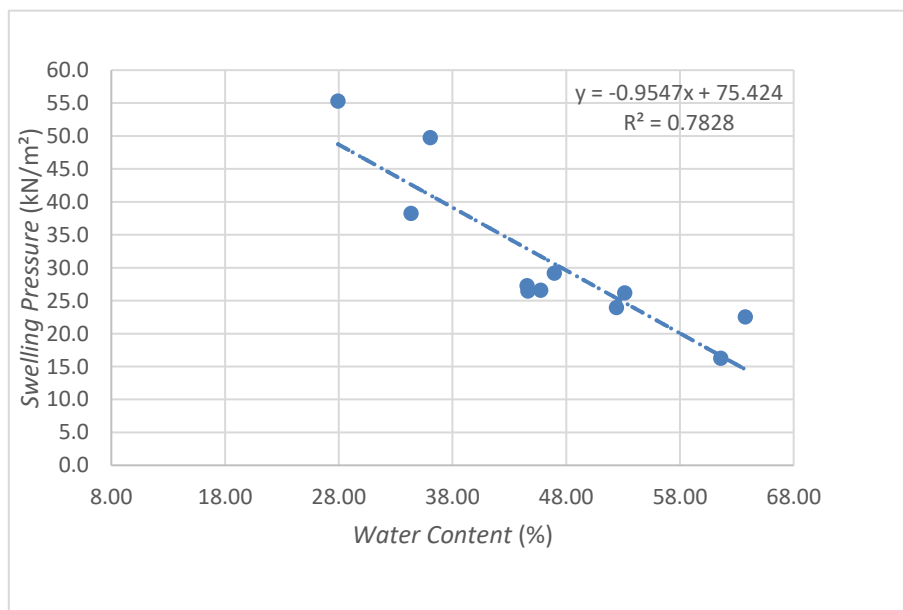
	Grain Size Distribution (%)					
	Gravel	Sand	Silt	Clay	Material finer than 2 micron	Fine Content
	(>4.75mm)	(>0.075mm)	(>0.005mm)	(<0.005mm)	%	%
Sampel 1	0.00	6.20	69.30	24.50	20.00	91.00
Sampel 2	0.00	8.00	51.20	40.80	21.00	92.00
Sampel 3	0.00	2.40	39.90	57.70	32.00	97.60
Sampel 4	0.00	0.40	24.90	74.70	44.00	99.60
Sampel 5	0.00	1.40	43.80	54.80	28.00	98.60
Sampel 6	5.20	5.80	37.30	51.70	38.00	89.00
Sampel 7	0.00	5.20	64.70	30.10	0.50	94.80
Sampel 8	0.00	1.40	52.00	46.60	30.00	98.60
Sampel 9	0.00	21.00	49.50	29.50	20.00	79.00
Sampel 10	0.00	11.40	58.00	30.60	17.50	88.60
Sampel 11	11.40	19.20	29.40	40.00	28.00	69.40

Tabel 4. Hasil Uji Swelling berdasarkan ASTM D4546-03 Method A

	Swelling pressure (kN/m ²)	Magnitude of Free swell (%)	Magnitude of Swell at Overburden Pressure (%)
Sampel 1	16.27	0.18%	0.00%
Sampel 2	22.51	0.30%	0.27%
Sampel 3	23.97	0.96%	0.89%
Sampel 4	26.19	0.20%	0.00%
Sampel 5	26.45	0.63%	0.00%
Sampel 6	26.58	0.69%	0.00%
Sampel 7	27.26	0.86%	0.80%
Sampel 8	29.18	0.72%	0.67%
Sampel 9	38.23	1.05%	0.79%
Sampel 10	49.75	1.97%	0.00%
Sampel 11	55.28	1.33%	1.30%

Dari hasil uji tersebut dilakukan korelasi antara nilai *swelling pressure* dengan masing-masing parameter hasil uji *Index Properties*, *Atterberg Limit*, serta *Grain Size Analysis*. Berikut merupakan grafik korelasi masing-masing parameter:

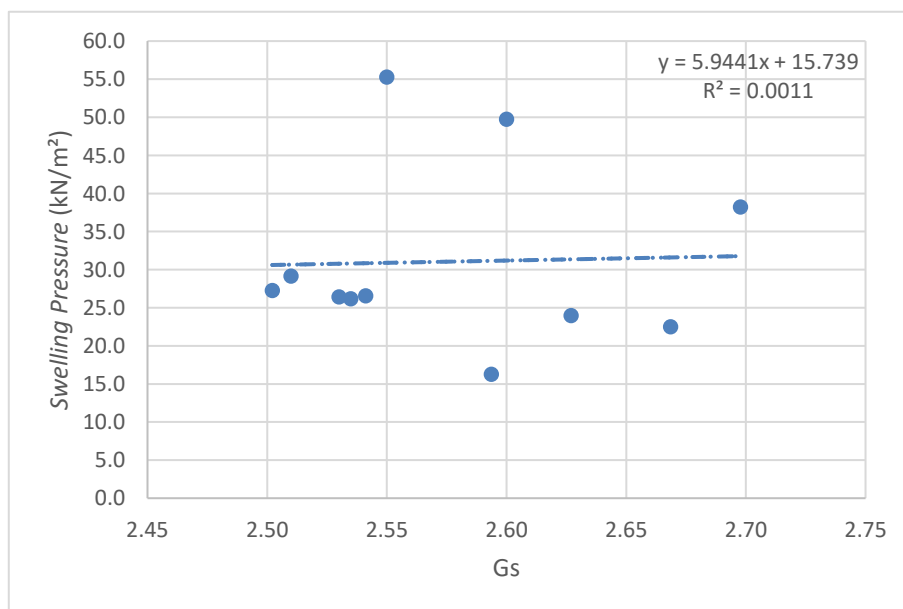
Swelling pressure (kN/m²) vs Water Content (%)



Gambar 2. Korelasi *Swelling Pressure* (kN/m²) vs *Water Content* (%)

Korelasi antara persentase *water content* terhadap nilai *swelling pressure* yang dapat dilihat pada Gambar 2 menunjukkan bahwa semakin besar kandungan air di dalam tanah maka nilai *swelling pressure* akan semakin kecil. Hal ini dapat terjadi sebab tanah dengan kandungan air yang tinggi memiliki afinitas rendah terhadap air tambahan dan tidak mudah mengembang. Pori-pori tanah yang sebagian besar telah terisi air menurunkan kapasitas tanah untuk dapat menyerap lebih banyak air.

Swelling pressure (kN/m²) vs G_s

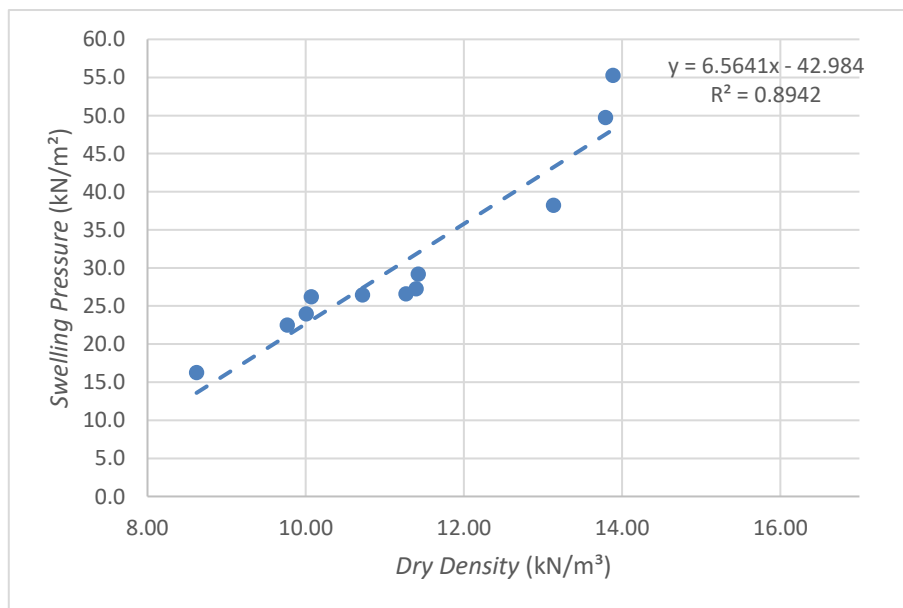


Gambar 3. Korelasi *Swelling Pressure* (kN/m²) vs G_s

Gambar 3 menunjukkan hubungan yang acak antara *swelling pressure* dan nilai *specific gravity*. Hal ini dikarenakan hubungan antara nilai tekanan mengembang tanah tidak berhubungan langsung dengan nilai *specific gravity*. Nilai *specific gravity* menyatakan perbandingan densitas material dengan densitas air, sedangkan *swelling pressure* merupakan tekanan yang dihasilkan tanah setelah menyerap air dan mengembang. Namun, *specific gravity*

menentukan berat jenis tanah. Tanah dengan nilai G_s tinggi cenderung memiliki partikel tanah yang lebih berat yang kemudian berpengaruh pada porositas dan kemampuan penyerapan air yang dimiliki oleh tanah tersebut.

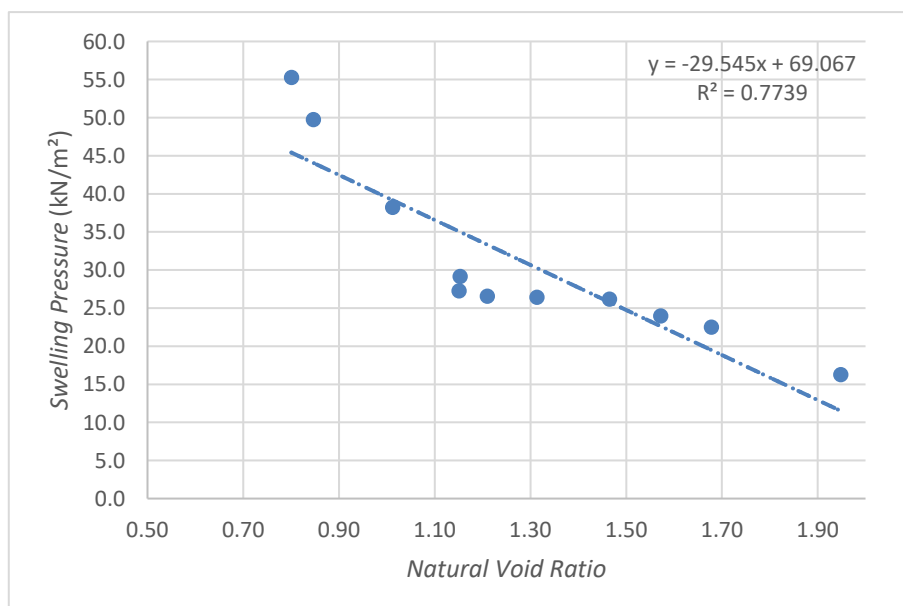
Swelling pressure (kN/m²) vs Dry density (kN/m³)



Gambar 4. Korelasi Swelling Pressure (kN/m²) vs Dry Density (kN/m³)

Hubungan antara nilai *swelling pressure* dan *dry density* menunjukkan hubungan yang berbanding lurus. Nilai *swelling pressure* tampak semakin besar seiring dengan meningkatnya *dry density* yang dimiliki masing-masing sampel tanah. Hal ini dikarenakan semakin tinggi densitas mengindikasikan semakin sedikitnya ruang antar partikel yang mana menghasilkan gaya tolak menolak antar partikel yang semakin besar sehingga berpotensi untuk terjadi pengembangan yang lebih besar juga.

Swelling pressure (kN/m²) vs Natural void ratio

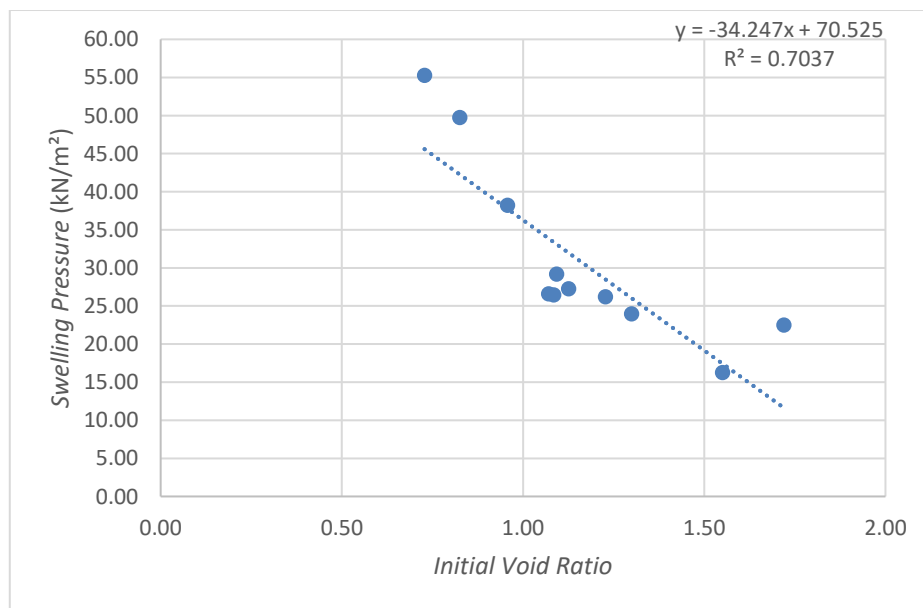


Gambar 5. Korelasi Swelling Pressure (kN/m²) vs Natural Void Ratio

Nilai *swelling pressure* mengecil seiring dengan bertambahnya nilai *natural void ratio*. Hal ini berbanding terbalik dengan korelasi antara *swelling pressure* terhadap *dry density* yang menunjukkan hubungan yang berbanding lurus, sebab secara umum *void ratio* dan *dry density* memiliki hubungan yang berbanding terbalik. Semakin kecil *void ratio*

maka tanah akan semakin padat akibat dari sedikitnya ruang atau pori yang ada, yang artinya tanah memiliki *dry density* yang tinggi.

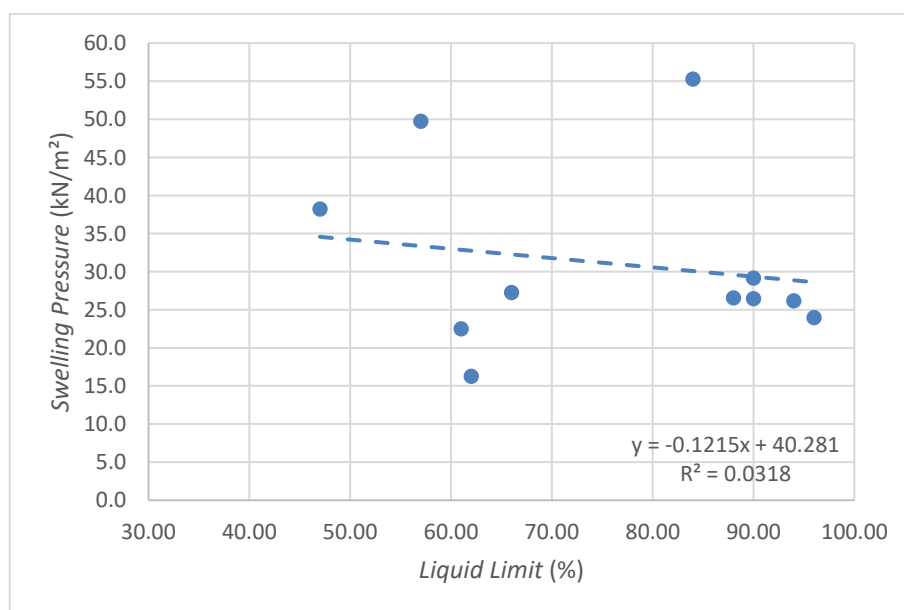
Swelling pressure (kN/m²) vs Initial void ratio



Gambar 6. Korelasi *Swelling Pressure (kN/m²) vs Initial Void Ratio*

Sama halnya dengan korelasi antara nilai natural void ratio terhadap swelling pressure, korelasi antara nilai initial void ratio terhadap swelling pressure juga menunjukkan hubungan yang berbanding terbalik, Dimana semakin besar nilai initial void ratio maka semakin kecil nilai swelling pressure. Hal ini dikarenakan initial void ratio merupakan nilai rasio pori tanah yang diukur sesaat sebelum uji swelling dimulai sedangkan nilai natural void ratio adalah nilai rasio pori tanah pada kondisi asli. Oleh karena itu perbandingan antara keduanya menunjukkan hubungan yang tidak jauh berbeda.

Swelling pressure (kN/m²) vs Liquid Limit (%)

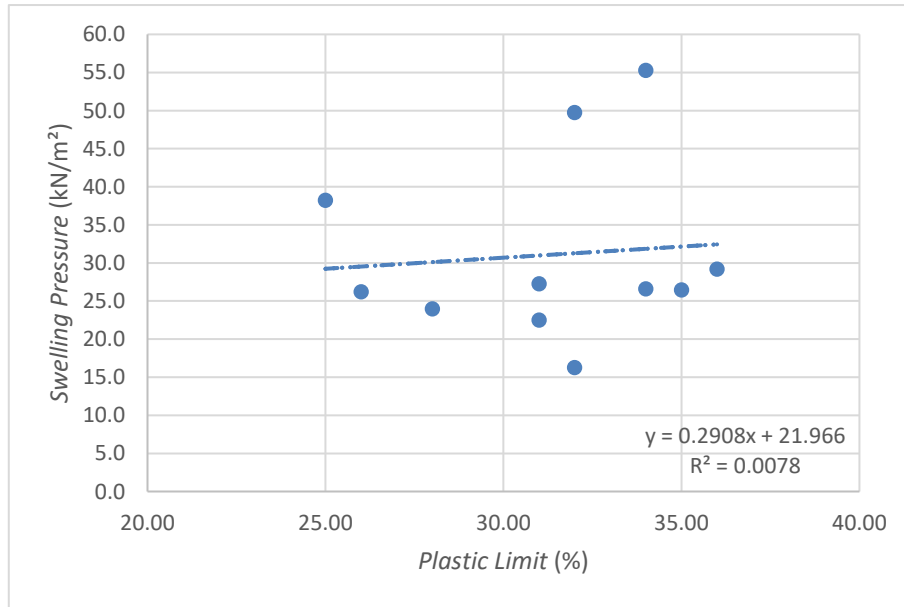


Gambar 7. Korelasi *Swelling Pressure (kN/m²) vs Liquid Limit (%)*

Liquid limit merupakan batas kadar air di kondisi plastis tanah lempung sebelum berubah ke kondisi cair. Dengan demikian *liquid limit* umumnya memengaruhi nilai *swelling pressure* tanah. Namun, pada penelitian ini tidak dapat

ditarik kesimpulan dari korelasi antar keduanya sebab terlihat bahwa nilai *swelling pressure* dan *liquid limit* menunjukkan hubungan yang acak dan nilai koefisien determinasi yang mendekati 0 (nol). Hal ini dapat terjadi sebab kandungan air pada tanah akan berpengaruh signifikan apabila disertai dengan kandungan mineral yang berpotensi ekspansif juga. Tetapi pada umumnya *liquid limit* yang tinggi menyatakan tanah memiliki banyak ruang untuk dapat menyerap air yang artinya akan menyebabkan besarnya nilai *swelling pressure*.

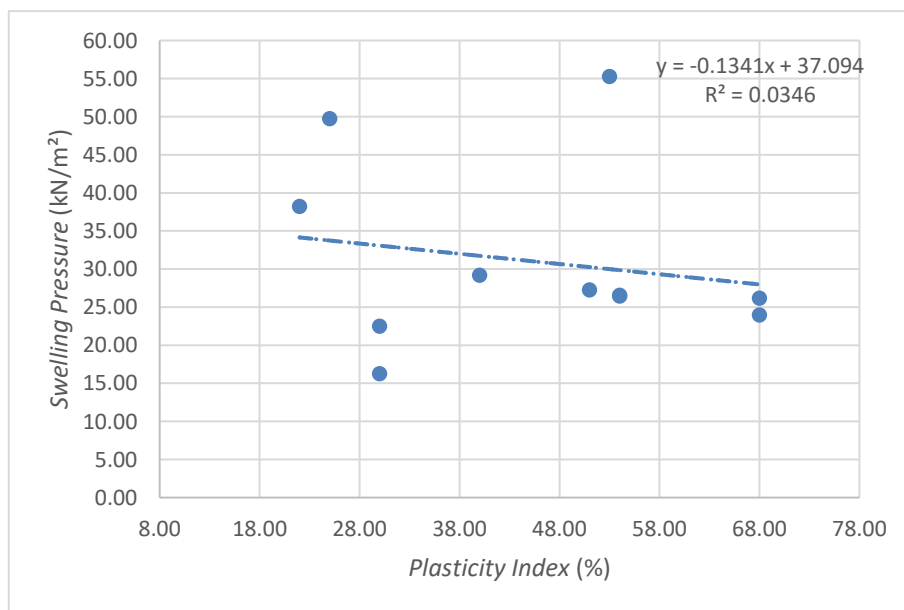
Swelling pressure (kN/m²) vs Plastic Limit (%)



Gambar 8. Korelasi *Swelling Pressure* (kN/m²) vs *Plastic Limit* (%)

Jika *liquid limit* adalah batas kadar air sebelum tanah berubah ke kondisi cair, maka *plastic limit* adalah batas kadar air dimana tanah mulai berperilaku plastis. Parameter ini juga erat kaitannya dengan kandungan air di dalam tanah, oleh sebab itu hubungan antara *swelling pressure* dengan *plastic limit* juga dipengaruhi oleh kandungan mineral yang ada di dalam tanah. Tanah dengan persentase *plastic limit* yang tinggi yang kemudian mengandung mineral ekspansif seperti *montmorillonite* akan cenderung mempunyai nilai *swelling pressure* dan *swelling potential* yang besar.

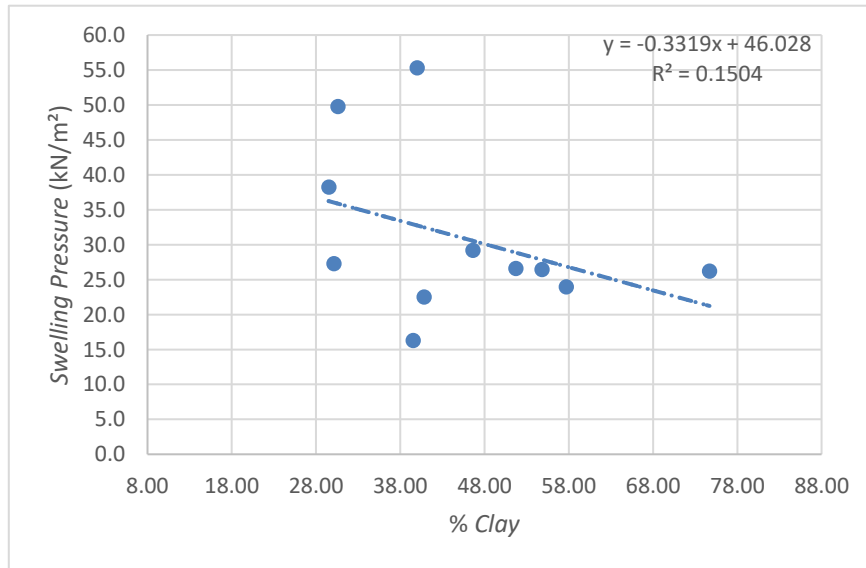
Swelling pressure (kN/m²) vs Plasticity Index (%)



Gambar 9. Korelasi *Swelling Pressure* (kN/m²) vs *Plasticity Index* (%)

Plasticity index merupakan selisih antara *liquid limit* dan *plastic limit* yang mana menunjukkan rentang plastisitas tanah lempung. Semakin tinggi rentang plastisitas mengartikan bahwa tanah mampu menyerap banyak air dan tetap berada dalam keadaan plastisnya. Tanah dengan rentang plastisitas yang luas akan memiliki *swelling pressure* dan *swelling potential* yang tinggi terutama yang mengandung mineral ekspansif seperti *montmorillonite*. Namun pada penelitian ini nilai *plasticity index* tidak dapat langsung disimpulkan menjadi parameter yang paling berpengaruh terhadap besarnya nilai *swelling pressure* sebab tidak adanya data komposisi mineral yang terkandung dalam tanah.

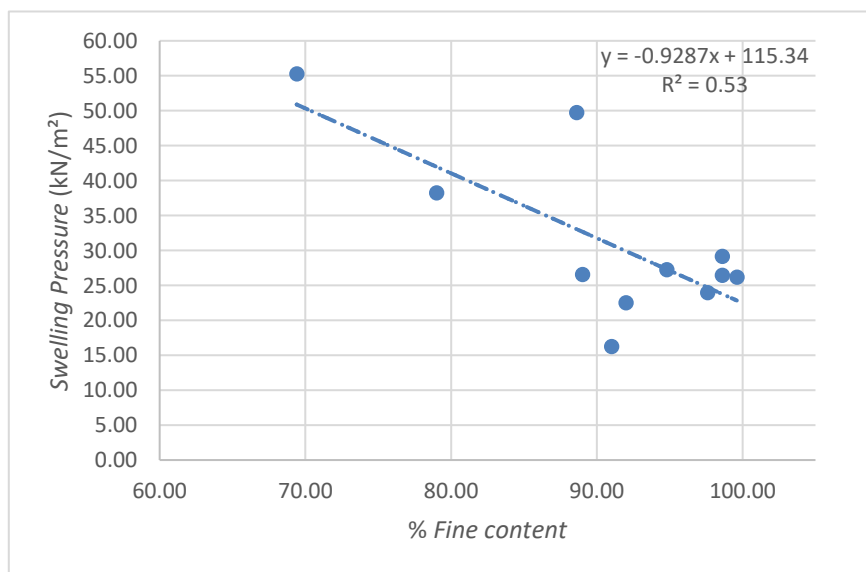
Swelling pressure (kN/m²) vs % Clay



Gambar 10. Korelasi *Swelling Pressure (kN/m²) vs % Clay*

Pada penelitian ini, hubungan antara *swelling pressure* dan persentase lempung menunjukkan hubungan yang acak. Namun pada teorinya persentase *clay* berpengaruh terhadap besarnya nilai *swelling potential* dan *swelling pressure*. Hal ini disebabkan oleh ukuran butir tanah lempung yang sangat kecil sehingga memiliki kapasitas penyerapan air yang tinggi. Dari penyerapan air yang tinggi tersebut yang akhirnya meningkatkan nilai *swelling pressure*. Hubungan acak yang tampak pada gambar 10 dapat disebabkan oleh perbedaan mineral yang terkandung di dalam masing-masing sampel.

Swelling pressure (kN/m²) vs %Fine Content



Gambar 11. Korelasi *Swelling pressure (kN/m²) vs %Fine Content*

Selain persentase lempung, persentase *fine content* juga memengaruhi perilaku kembang susut tanah. *Fine content* merupakan kumulatif antara persentase kadar lanau dan kadar lempung yang terkandung dalam tanah. Hal ini menjadi faktor pengaruh sebab tanah dengan kandungan partikel halus tinggi cenderung mempunyai kapasitas retensi air yang lebih besar dan sering kali mengandung mineral *montmorillonite* yang bersifat ekspansif. Dengan nilai koefisien determinasi 0,53 menunjukkan bahwa persentase *fine content* memiliki kemampuan menengah dalam memengaruhi nilai *swelling pressure*.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Perilaku kembang susut tanah dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya adalah karakteristik tanah, faktor lingkungan, dan tekanan yang terjadi di dalam tanah.
2. Faktor karakteristik tanah yang dibahas pada penelitian ini mencakup *microscale* dan *macroscale factors*. *Microscale factors* mencakup kandungan mineral seperti *montmorillonite*, *vermiculite*, *illite* dan *kaolinite*. Sedangkan *macroscale factors* merupakan karakteristik fisik tanah yang mampu memengaruhi perilaku tanah, contohnya adalah parameter-parameter yang didapatkan dari hasil *Index Properties Test*, *Atterberg Limit Test*, dan *Grain Size Analysis*.
3. Setelah dilakukan korelasi antara *swelling pressure* terhadap faktor-faktor yang dapat memengaruhi pengembangan tanah, dapat disimpulkan bahwa semua *macroscale factors* bergantung pada *microscale factors*. Namun dari perhitungan koefisien determinasi masing-masing model, terlihat bahwa beberapa parameter memang berkontribusi lebih besar terhadap pengembangan yang terjadi.
4. Dari 10 model disimpulkan bahwa parameter yang paling memengaruhi nilai *swelling pressure* diantaranya adalah:
 - *Dry density* dengan $R^2 = 0,8942$
 - *Water content* dengan $R^2 = 0,7828$
 - *Natural void ratio* dengan $R^2 = 0,7739$
 - *Initial void ratio* dengan $R^2 = 0,7037$
 - *%fine content* dengan $R^2 = 0,53$

Beberapa parameter lain memiliki nilai koefisien determinasi di bawah 0,5 dan cenderung mendekati nilai 0 (nol) yang mengartikan parameter tersebut tidak berpengaruh besar terhadap nilai *swelling pressure*. Namun perlu diperhatikan bahwa penelitian ini dilakukan tanpa *X-Ray Diffraction Analysis* maka akan menghasilkan Kesimpulan yang mungkin berbeda pada sampel tanah lain dikarenakan tidak diketahuinya kandungan mineral masing-masing sampel. Dari hal ini dapat disimpulkan bahwa akan lebih baik apabila dilakukan analisis lengkap untuk mengetahui lebih detail potensi pengembangan tanah baik dengan faktor mikro maupun makro.

Saran

1. Dapat ditambahkan uji *X-Ray Diffraction* untuk mengetahui kandungan mineral dalam tanah sehingga dapat menghasilkan kesimpulan yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing and Materials. Standard Test Methods for One-Dimensional Swell or Settlement Potential of Cohesive Soils. (ASTM D4546-03).
- Louafi, B., & Dafalla, M. A. (2022). Moisture and Dry Density Influence on Compacted Clay and Clay-Sand Mixtures. *Revue Des Composites et Des Materiaux Avances*, 32(1), 33–38. <https://doi.org/10.18280/rcma.320105>
- Makki, L., Szymkiewicz, F., & Duc, M. (2024). the Swell-Shrink Properties of Intact and Disturbed Clayey and Marly Soils: the Disturbance Effect. *International Journal of GEOMATE*, 27(121), 103–110. <https://doi.org/10.21660/2024.121.g13230>
- Misdi. (2024). ANALISA HUBUNGAN KEPADATAN DAN SWELING PADA TANAH LEMPUNG EKSPANSIF. *Jurnal Al Ulum LPPM Universitas Al Washliyah Medan*, 12, 53–60.
- Nelson, J. D., & Miller, D. J. (1997). *Expansive Soils: Problems and Practice in Foundation and Pavement Engineering*. John Wiley & Sons Inc.
- Panda, G. P., Bahrami, A., Nagaraju, T. V., & Isleem, H. F. (2023). Response of High Swelling Montmorillonite Clays with Aqueous Polymer. *Minerals*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/min13070933>
- Qi, W., Wang, C., Zhang, Z., Huang, M., & Xu, J. (2022). Experimental Investigation on the Impact of Drying–Wetting Cycles on the Shrink–Swell Behavior of Clay Loam in Farmland. *Agriculture (Switzerland)*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/agriculture12020245>

- Saputra, A., Alwi, A., & Aprianto, D. (2021). Pengaruh Kadar Air Terhadap Perilaku Kembang Susut Tanah Lempung Di Capkala Kabupaten Bengkayang. *JeLAST*, 8(1), 1–8. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/JMHMS/article/view/45050>
- Yao, J., Cai, D., Su, K., & Yan, H. (2024). Nonlinear regression modeling of swelling characteristics in cracked expansive soil: integrating crack, moisture, density, and load effect. *Frontiers in Materials*, 11(September), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fmats.2024.1467134>
- Yuliyanti, A., Sarah, D., & Soebowo, E. (2013). Amblesan Tanah Di Daerah Semarang. *Riset Geologi Dan Pertambangan*, 22, 93–104.