

STUDI KORELASI MUAI SUSUT TANAH EKSPANSIF DI DAERAH KARAWANG DAN CIKARANG

Steven¹ dan Andryan Suhendra²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta, Indonesia
steven.325190052@stu.untar.ac.id

²Civil Engineering, Binus University, Jl. K. H. Syahdan No. 9, Kemanggisan, Palmerah, Jakarta 11480, Indonesia
andryansuhendra@yahoo.com

Masuk: 07-07-2023, revisi: 02-08-2023, diterima untuk diterbitkan: 15-08-2023

ABSTRACT

Expansive soil is a soil that easily expands and shrinks when there is a change in moisture content. The nature and characteristics of expansive soil have a dangerous impact on building structures such as foundation failure and cracking. This research will approach the correlation of soil parameters that have not been tested in the laboratory to obtain values that are close to field tests. In addition, it classifies the soil type into a certain level of expansiveness based on the approach taken. In this study, it was found that the expansive soils in each project have a development potential of "high-very high" based on the activity value with the percentage of clay grain fraction. Furthermore, based on the plasticity index relationship, the soils in all three projects have a development potential at the "very high" level. In addition, it was identified that the soils of the three projects have montmorillonite mineral which validates that the soil type belongs to expansive soil type. The relationship of the parameters LL, PL and PI to swelling pressure (Psw) resulted in linear regression equations $Psw = -0.0086 LL + 0.8268$, $Psw = -0.0139 PL + 0.5369$, and $Psw = -0.004 PI + 0.1619$.

Keywords: expansive soil; soil swelling and shrinkage; linear regression equation; laboratory tests; classification of expansive soil type categories

ABSTRAK

Tanah ekspansif merupakan tanah yang mudah mengalami kembang susut ketika terjadi perubahan kadar air. Sifat dan karakteristik tanah ekspansif ini memiliki dampak berbahaya bagi struktur bangunan seperti kegagalan fondasi dan keretakan. Pada penelitian ini akan dilakukan pendekatan terhadap korelasi parameter tanah yang belum diuji laboratorium untuk memperoleh nilai yang mendekati uji di lapangan. Selain itu, mengklasifikasikan jenis tanah termasuk ke dalam tingkat keekspansifan tertentu berdasarkan pendekatan yang dilakukan. Pada penelitian ini, diperoleh bahwa tanah ekspansif pada setiap proyek memiliki potensi pengembangan dari "high-very high" berdasarkan nilai aktivitas dengan persentase fraksi butiran lempun. Kemudian, berdasarkan hubungan indeks plastisitas tanah pada ketiga proyek memiliki potensi pengembangan pada tingkat "sangat tinggi". Selain itu, diidentifikasi bahwa tanah dari ketiga proyek memiliki mineral montmorillonite yang memvalidasi bahwa jenis tanah termasuk ke dalam jenis tanah ekspansif. Hubungan parameter-parameter LL, PL dan PI terhadap swelling pressure (Psw) menghasilkan persamaan regresi linier $Psw = -0,0086 LL + 0,8268$, $Psw = -0,0139 PL + 0,5369$, dan $Psw = -0,004 PI + 0,1619$.

Kata kunci: tanah ekspansif; muai susut tanah; persamaan regresi linier; uji laboratorium, klasifikasi keekspansifan tanah

1. PENDAHULUAN

Tanah di Indonesia cenderung memiliki sifat dan karakteristik yang baik dalam dunia bercocok tanam. Namun, ada jenis tanah yang memiliki pengaruh buruk terhadap konstruksi bangunan yakni tanah ekspansif. Tanah ekspansif adalah tanah yang rentan mengalami muai susut ketika terjadi perubahan kadar air. Fenomena seperti ini sering dijumpai di negara yang memiliki 2 musim seperti musim hujan dan kemarau. Selain itu, penyebab terjadinya fenomena muai susut tanah adalah akibat dari kandungan mineral pada tanah yakni mineral montmorillonite dimana mineral ini mengalami perubahan ikatan partikel akibat dari perubahan kadar air (Adianto & Susilo, 2019). Tidak hanya itu, terdapat tiga jenis mineral yang sering dijumpai pada tanah ekspansif yakni kaolinite dan illite. Mineral illite termasuk ke dalam kategori ekspansif, akan tetapi tidak menimbulkan banyak masalah. Sedangkan itu, mineral kaolinite tidak termasuk ke dalam kategori ekspansif (Hardiyatmo, 2017).

Tahapan awal dalam dunia konstruksi yakni melakukan investigasi proyek seperti mengukur, memasang patok dan melakukan uji laboratorium sampel tanah. Hal ini dilakukan untuk memahami sifat dan karakteristik jenis tanah serta mengantisipasi dampak buruk akibat tanah. Hal yang dapat dilakukan yakni mengidentifikasi tanah tersebut ke dalam kategori tingkat ke-ekspansifan tertentu, mengidentifikasi kandungan mineral, nilai *swelling pressure* (Psw) serta mengidentifikasi potensi mengembang dengan korelasi parameter tanah diantaranya *liquid limit* (LL), *plastic limit* (PL), *plasticity index* (PI). Tahapan-tahapan tersebut sangat membantu untuk mengantisipasi fenomena muai susut yang terjadi pada tanah ekspansif. Penulis menggunakan metode identifikasi kandungan mineral, potensi mengembang dengan korelasi parameter tanah lainnya dikarenakan metode ini relatif lebih murah dibandingkan dengan uji langsung di lapangan. Selain itu, penulis mengharapkan korelasi *swelling pressure* terhadap LL, PL dan PI dapat menghasilkan regresi linier yang mungkin dapat digunakan untuk beberapa daerah di sekitar kawasan Jawa Barat. Oleh karena itu, penulis ingin menganalisis hubungan potensi mengembang, kandungan mineral, nilai *swelling pressure* yang diperoleh dari hasil korelasi dengan parameter tanah seperti LL, PL dan PI khususnya di daerah Karawang dan Cikarang.

Tanah ekspansif

Tanah ekspansif merupakan tanah yang mudah mengalami kembang susut ketika terjadi perubahan kadar air. Kandungan *montmorillonite* sangat sensitif terhadap perubahan kadar air yang mana ikatan antar partikel pada tanah dapat mengembang dan menyusut dengan mudah (Adianto & Susilo, 2019).

Ada tiga kandungan mineral utama yang sering ditemukan pada tanah lempung yaitu kandungan *montmorillonite*, *illite*, dan *kaolinite* yang mengandung *crystalline hydrous aluminosilicates*. Kandungan *montmorillonite* merupakan masalah utama pada tanah ekspansif. Selain itu, identifikasi dapat dilakukan dengan hubungan kandungan mineral dengan *atterberg limits test*.

Identifikasi kandungan mineral

Menurut Skempton (1953) aktivitas didefinisikan sebagai perbandingan antara indeks plastisitas dengan persen fraksi ukuran lempung. Fraksi tanah tersebut yaitu yang lolos dengan ukuran butiran 0.002 mm. Semakin besar nilai indeks plastisitas (PI) maka semakin besar pula material koloid yang terkandung pada tanah lempung. Sehingga dapat diasumsikan koloid yang terkandung pada tanah lempung dengan nilai PI yang lebih besar daripada persentase fraksi lempung dengan nilai PI lebih kecil mempunyai sifat koloid aktif yang lebih tinggi. Contoh *activity* (A) diperoleh dari Persamaan 1.

$$\text{Activity (A)} = \frac{\text{Indeks plastisitas (PI)}}{c \text{ (\% berat fraksi lempung)}} \quad (1)$$

Umumnya, nilai *activity* (A) merepresentasikan bahwa tanah tersebut memiliki potensi sebagai tanah ekspansif dan ditemukannya mineral yang terkandung pada tanah tersebut. Representasi dari hubungan PI/c (fraksi lempung) menurut Skempton (1953) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Korelasi nilai *liquid limit*, *plastic limit* dan *activity* pada berbagai jenis mineral lempung (Das & Sivakugan, 2019)

Mineral	<i>Liquid Limit</i> , LL	<i>Plastic Limit</i> , PL	<i>Activity</i> , A
<i>Kaolinite</i>	35 - 100	20 - 40	0,3 – 0,5
<i>Illite</i>	60 - 120	35 - 60	0,5 – 1,2
<i>Montmorillonite</i>	100 - 900	50 - 100	1,5 – 7,0
<i>Halloysite (hydrated)</i>	50 - 70	40 - 60	0,1 – 0,2
<i>Halloysite (dehydrated)</i>	40 - 55	30 - 45	0,4 – 0,6
<i>Attapulgit</i>	150 - 250	100 - 125	0,4 – 1,3
<i>Allophane</i>	200 - 250	120 - 150	0,4 – 1,3

Skempton (1953) menyatakan bahwa tanah lempung dibagi menjadi tiga tingkatan berdasarkan nilai A yang diperoleh. Berikut adalah rasio perbandingan yang direpresentasikan sebagai berikut:

1. Nilai *activity* < 0,75 menyatakan *inactive clays*
2. Nilai *activity* 0,75 hingga 1,25 menyatakan *normal clays*
3. Nilai *activity* > 1,25 menyatakan *active clays*

Walaupun hubungan LL dengan fraksi lempung berbanding lurus bukan berarti menjadi tolok ukur dalam menentukan ke-aktifan tanah lempung sehingga dibutuhkan beberapa pendekatan lebih lanjut.

Korelasi potensi pengembangan dengan EI, PI dan persentase fraksi lempung

Ada beberapa kriteria yang telah dikembangkan oleh U.S. Department of Housing and Urban Development (U.S. HUD) dalam menentukan klasifikasi potensi pengembangan pada tanah diantaranya persentase kadar lempung, indeks ekspansi (EI) dan indeks plastisitas (PI) diringkas pada dengan Δh = persentase pengembangan atau *percent heave* (%), dan F sebagai persentase fraksi butiran lolos saringan No.4 .

Tabel 2. Contoh indeks ekspansi (EI) diperoleh dari Persamaan 2.

$$EI = 100 \times \Delta h \times F \quad (2)$$

dengan Δh = persentase pengembangan atau *percent heave* (%), dan F sebagai persentase fraksi butiran lolos saringan No.4 (Uniform Building Code, 1968).

Tabel 2. Klasifikasi potensi pengembangan (FHWA, 1975)

Potensi Pengembangan	Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
Indeks Ekspansi	0 - 20	21 - 50	51 - 90	90 - 130	> 130
Kadar Lempung (<0.002 mm) (%)	0 - 10	10 - 15	15 - 25	25 - 35	35 - 100
Indeks Plastisitas	0 - 10	10 - 15	15 - 25	25 - 35	> 35
% Pengembangan pada					
2,8 kPa	0 - 3	3 - 5	5 - 10	10 - 15	> 15
6,9 kPa	0 - 2	2 - 4	4 - 7	7 - 12	> 12
31 kPa	0	0 - 1	1 - 4	4 - 6	> 6

Korelasi potensi pengembangan dengan *atterberg limits test*

Menurut (Chen, 1975) batas cair (LL) dan pengembangan pada lempung berkaitan dengan jumlah kadar air pada tanah lempung yang terserap. Hubungan antara potensi pengembangan dengan indeks plastisitas (PI) dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hubungan potensi pengembangan tanah dengan indeks plastisitas (PI) (Chen, 1975)

<i>Plasticity Index</i>	<i>Swelling Potential</i>
≤ 15	<i>Low</i>
10 - 15	<i>Medium</i>
20 - 55	<i>High</i>
≥ 35	<i>Very High</i>

Hubungan potensi pengembangan dengan aktivitas dengan persentase fraksi lempung

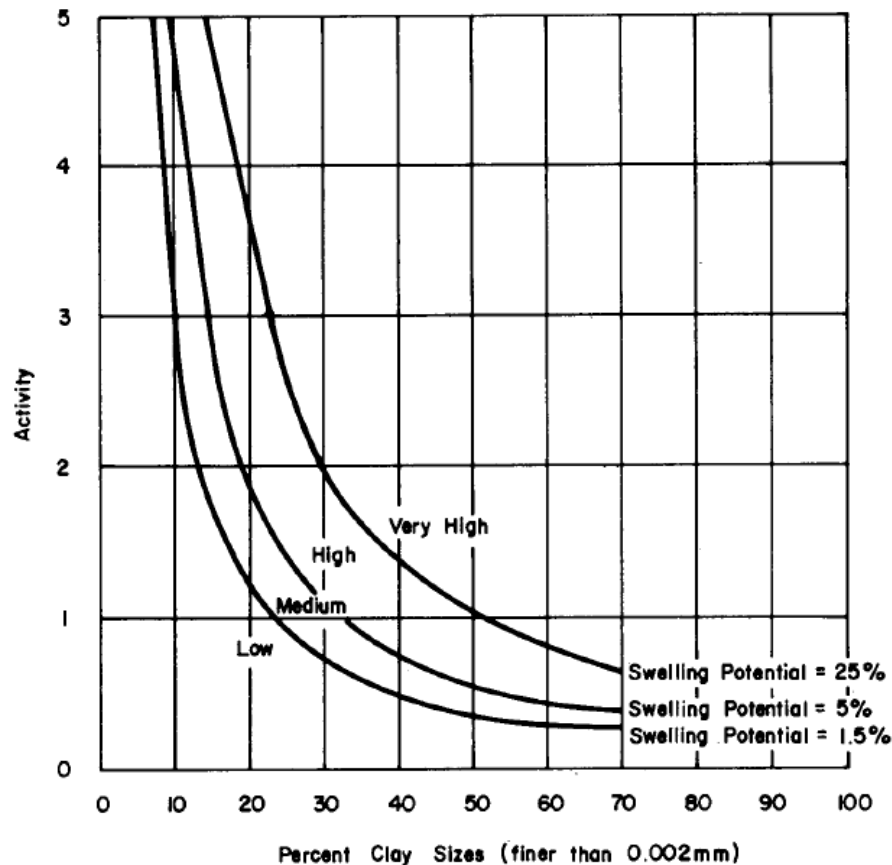
Menurut Seed et al. (1962) potensi pengembangan adalah persentase pengembangan akibat diberi tekanan pada tanah dengan berat volume tanah kering maksimum dan kadar air optimum yang mengacu pada standar AASHTO. Seed et al. (1962) merumuskan sebuah hubungan empiris antara A dengan persentase fraksi lempung dan identifikasi terhadap potensi pengembangan. Menurut (Chen, 1975), uji pengembangan secara langsung yang dilakukan di laboratorium menjelaskan bahwa hubungan ini hanya berlaku untuk beberapa tanah yang memiliki kadar lempung dari 8 hingga 65% dan kemungkinan tingkat keakuratannya sekitar 33%.

$$S = 60 \times K \times PI^{2.44} \quad (3)$$

dengan S sebagai potensi pengembangan (%), $K = 3,6 \times 10^{-5}$, dan PI = indeks plastisitas (%). Pada Persamaan 3 ini dibentuk sebuah grafik untuk menunjukkan potensi pengembangan yang menghubungkan A dengan persentase fraksi lempung yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Struktur kimiawi tanah ekspansif

Ukuran yang kecil dan lempeng, rasio luas permukaan terhadap massa partikel tanah lempung lebih besar dibandingkan pada partikel kasar, rasio ini sering disebut sebagai *specific surface*. Permukaan ini mencerminkan perilaku pada tanah lempung yakni dengan adanya kehadiran air, secara alami tanah lempung tersebut menyerap molekul air dan ion-ionnya. Karena luas permukaan yang besar pada tanah lempung menyediakan banyak tempat bagi molekul air untuk menempel, tanah lempung dapat menyerap air dalam jumlah besar. Spesifiknya, mineral *montmorillonite* merupakan penyebab utama tanah lempung dapat menyerap begitu banyak kadar air yang mengakibatkan terjadinya pengembangan pada tanah (Coduto, 1999).



Gambar 1. Hubungan potensi pengembangan terhadap aktivitas dengan persentase fraksi lempung (Seed et al., 1962)

Ada dua jenis lembaran atau lapisan yaitu *tetrahedral* atau lembaran *silica* terdiri dari *silicon* dan oksigen; *octrahedral* atau lembaran *alumina* yang mempunyai atom *aluminium* dan hidroksida (OH). Terkadang, beberapa lembaran *octahedral* mempunyai atom *magnesium* bukannya *aluminium* yang membentuk lembaran *magnesia*. Lembaran-lembaran lalu membentuk berbagai variasi tanah lempung ekspansif dengan struktur kimiawinya sendiri. Mineral-mineral tersebut di antaranya ada *kaolinite*, *montmorillonite* dan *illite* (Coduto, 1999).

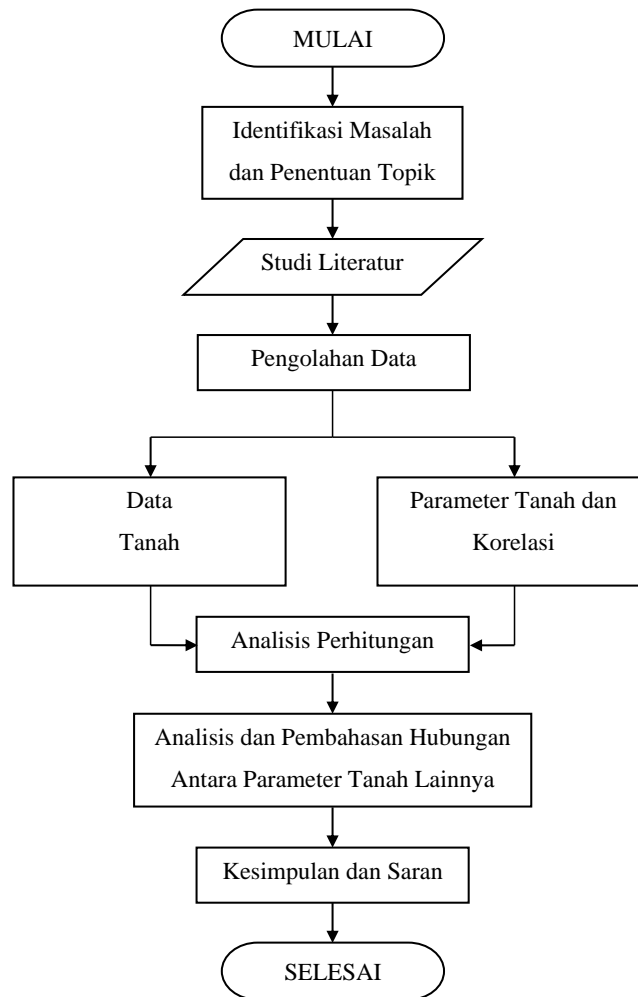
2. METODE PENELITIAN

Berikut adalah tahapan yang dilakukan pada penelitian ini:

1. Melakukan studi literatur dengan tujuan untuk mendukung teori-teori yang akan digunakan pada penelitian ini berupa jurnal, buku literatur, dan artikel terkait potensi tanah mengembang, tanah menyusut serta sifat dan karakteristiknya.
2. Mengumpulkan data tanah dan menganalisis sifat tanah, karakteristik tanah, korelasi parameter tanah, potensi pengembangan dan penyusutan tanah serta tekanan pengembangan tanah dari data tanah yang diperoleh.
3. Menghitung dan menganalisis potensi pengembangan, penyusutan tanah serta korelasi parameter tanah terhadap potensi pengembangan dan penyusutan tanah.
4. Membandingkan perubahan parameter tanah dengan potensi pengembangan dan penyusutan tanah yang diteliti.
5. Membuat kesimpulan dan saran dari hasil analisis secara menyeluruh berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan.

Berikut adalah diagram alir penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 2.

Metode penelitian menjelaskan secara rinci tahapan penelitian dari mulai persiapan sampai penarikan kesimpulan. Prosedur analisis, sumber data, teknik pengumpulan data, dan teknik analisis juga perlu dipaparkan secara jelas dan berurutan sesuai urutan pelaksanaan penelitian. Penulis diperkenankan mencantumkan diagram alir penelitian.



Gambar 2 Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan data tanah yang berasal dari daerah Karawang dan Cikarang. Spesifiknya dilakukan penelitian terhadap tiga data tanah yakni proyek A, B yang terletak di daerah Karawang dan proyek C di daerah Cikarang. Data tanah yang digunakan pada setiap proyek memiliki jumlah *bore log* dan sondir yang berbeda-beda. Untuk data tanah pada proyek A menguji dengan lima *bore log*, dan enam sondir yang ditunjukkan pada Tabel 4. Untuk data tanah proyek B menguji satu *bore log* dan tiga sondir yang ditunjukkan pada Tabel 5. Dan untuk data tanah proyek C menguji tiga *bore log* dan tiga sondir ditunjukkan pada Tabel 6. Pada penelitian ini, parameter tanah yang digunakan adalah *liquid limit* (LL), *plastic limit* (PL), *plasticity index* (PI), *swelling pressure* (Psw), pengembangan (*heave*) dan fraksi butiran lempung (*clay*).

Klasifikasi potensi pengembangan hubungan *activity* dengan persentase butiran tanah lempung

Metode yang digunakan oleh Seed et al. (1962) ini memiliki hubungan terhadap *atterberg limits test* yang mencakup PI, A dan fraksi butiran lempung. Selain itu, metode klasifikasi menurut Chen (1975) juga menggunakan parameter PI dalam mengidentifikasi kategori potensi pengembangannya. Hasil analisis metode Seed et al. pada proyek A cenderung memiliki potensi pengembangan “*very high*” dan didukung juga oleh metode Chen yang menunjukkan bahwa data tanah tersebut memiliki potensi pengembangan “*very high*” yang ditunjukkan pada Tabel 7. Kemudian, hasil analisis metode Seed et al. pada proyek B menunjukkan potensi pengembangan “*very high*” dan didukung juga oleh metode Chen yang menunjukkan bahwa data tanah memiliki potensi pengembangan “*very high*” yang ditunjukkan pada Tabel 8. Dan hasil analisis metode Seed et al. pada proyek C menunjukkan potensi pengembangan cenderung berada di tingkat “*high*”, kemudian diikuti dengan metode Chen yang mengklasifikasikan pada tingkat “*very high*” ditunjukkan pada Tabel 9. Sehingga dapat disimpulkan bahwa, kedua metode ini menunjukkan bahwa data tanah dari setiap proyek memiliki potensi pengembangan pada tingkat “*very high*”. Selanjutnya, Seed et al. mengilustrasikan tingkat ke-ekspansifan tanah dengan cara plotting ke dalam grafik dimana kurva yang terbentuk

berdasarkan pada rumus empiris dan menghubungkan hasil analisis nilai *activity* (A) dan persentase butiran tanah lempung yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Tabel 4. Data tanah proyek A di Karawang

Laboratory Test			Atterberg Limits Test					Consolidation Test		Gradation	
Bore Hole No.	Sample No.	Depth (m)	LL (%)	PI (%)	LI (%)	PL (%)	Classification	Swelling Pressure, P _{sw} (kg/cm ²)	Percent Heave (%)	Silt (%)	Clay (%)
HB 1	UD 1	1 - 1,5	75,8	47,9	0,15	27,89	CH	0,001	0,1	81,01	17,39
	UD 2	3 - 3,5	93,9	73,8	0,05	20,13	CH	0	0,75	64,5	25,9
HB 2	UD 1	1,5 - 2	75,6	48,1	0,14	27,42	CH	0,18	3,08	77,28	18,38
	UD 2	3,5 - 4	71,9	44,5	0,16	27,46	CH	0	2,56	79,31	19,71
HB 3	UD 1	1,5 - 2	78,6	52,2	0,38	25,37	CH	0,08	1,25	69,96	26,3
	UD 2	3,5 - 4	63,6	41,8	0,24	21,77	CH	0	5,1	60,87	19,11
HB 4	UD 1	1,5 - 2	65,8	47,5	0,68	18,28	CH	0,33	2,15	68,72	28,4
	UD 2	3,5 - 4	75,8	52,3	0,22	23,59	CH	0	4,82	74,82	24,4
HB 5	UD 1	1,5 - 2	80,5	51,6	0,15	28,94	CH	0,32	2,52	67,8	29,72
	UD 2	3,5 - 4	64,3	44,7	0,04	19,58	CH	0	0,78	76,87	14,73

Tabel 5. Data tanah proyek B, Karawang

Laboratory Test			Atterberg Limits Test					Consolidation Test		Gradation	
Bore Hole No.	Sample No.	Depth (m)	LL (%)	PI (%)	LI (%)	PL (%)	Classification	Swelling Pressure, P _{sw} (kg/cm ²)	Percent Heave (%)	Silt (%)	Clay (%)
DB 1	UD 1	2,5 - 3	63,51	39,4	0,09	24,14	CH	0,42	3,261	65,38	29,16
	UD 2	5 - 5,5	77,27	42,3	0,11	35,01	CH	0,021	0,663	79,52	19,63
	UD 3	7 - 7,5	72,42	38,2	0,18	34,26	CH	0,049	0,337	80,68	18,41
	UD 4	21 - 21,5	68,67	45,2	0,17	45,17	CH	0,052	1,711	31,328	12,89

Tabel 6. Data tanah proyek C, Cikarang

Laboratory Test			Atterberg Limits Test					Consolidation Test		Gradation	
Bore Hole No.	Sample No.	Depth (m)	LL (%)	PI (%)	LI (%)	PL (%)	Classification	Swelling Pressure, P _{sw} (kg/cm ²)	Percent Heave (%)	Silt (%)	Clay (%)
DB 1	UD 1	1 - 1,5	73,8	48	0,09	26	CH	0,39	2,58	60,91	14,69
	UD 2	5 - 5,5	60,5	43	0,27	18	CH	0,8	5,19	73,91	19,93
	UD 3	11 - 11,5	62,6	40	0,34	23	CH	0,48	2,78	65,53	11,57
DB 2	UD 1	1 - 1,5	53,5	32	0,67	22	CH	0,48	2,78	69,59	19,57
	UD 2	3 - 3,5	56	38	0,21	18	CH	0,15	2,44	76,17	19,15
	UD 3	5 - 5,5	60	41	0,22	19	CH	0,35	2,73	77,36	13,74
DB 3	UD 1	3 - 3,5	86,4	56	0,17	30	CH	0,35	4,8	61,25	33,97
	UD 2	5 - 5,5	96,7	66	0,26	31	CH	0,32	6,03	70,08	24,8
	UD 3	7 - 7,5	66,8	29	0,57	38	MH	0,45	3,62	77,64	21,78

Klasifikasi potensi pengembangan berdasarkan korelasi *U.S. Department of Housing and Urban Development*

Analisis yang dilakukan menurut *U.S. Department of Housing and Urban Development* (HUD) yaitu menggunakan korelasi antara persentase butiran lempung, persentase *heave*, *plasticity index* (PI) dan indeks ekspansi (EI). Metode ini mengidentifikasi bahwa potensi pengembangan pada setiap proyek memiliki nilai yang berbeda-beda berdasarkan parameter EI dan kadar lempungnya akan tetapi hasil analisis berdasarkan nilai PI konsisten menunjukkan bahwa potensi pengembangan dari ketiga proyek adalah “sangat tinggi”. Hasil analisis ditunjukkan pada Tabel 10-12.

Tabel 7. Klasifikasi *swell potential* di proyek A, Karawang

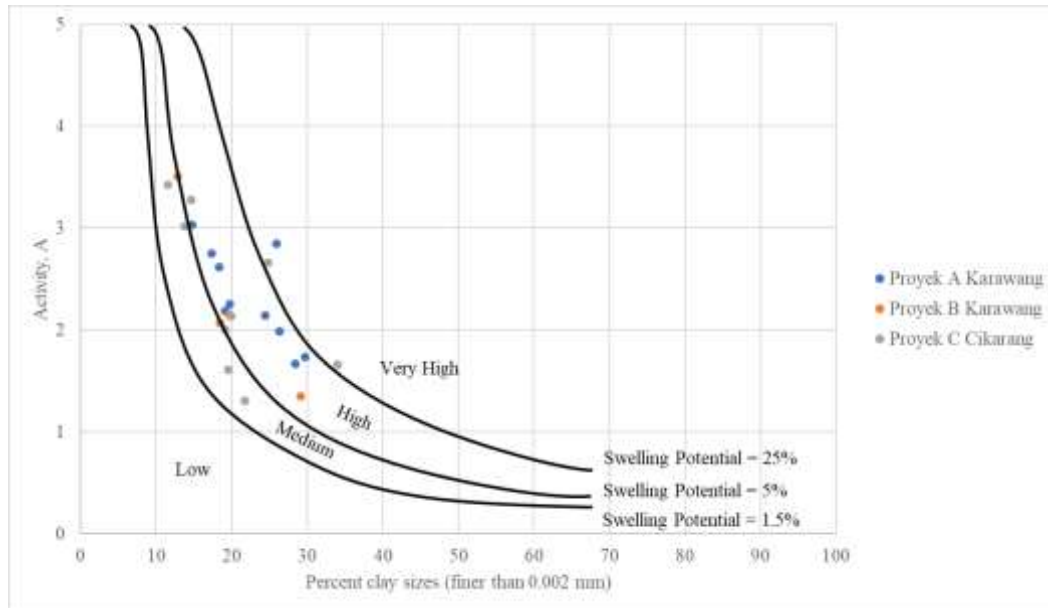
Bore Hole No.	Sample No.	Depth (m)	Plasticity Index, PI (%)	Clay (finer than 0,075 mm)	Activity, A	Swell Potential, S (%)	Swell Potential (Seed et al., 1962)	Swell Potential (Chen, 1975)
HB 1	UD 1	1 - 1,5	47,88	17,39	2,75	27,17	Very High	High-Very High
	UD 2	3 - 3,5	73,77	25,9	2,85	78,00	Very High	High-Very High
HB 2	UD 1	1,5 - 2	48,13	18,38	2,62	27,51	Very High	High-Very High
	UD 2	3,5 - 4	44,47	19,71	2,26	22,68	High	High-Very High
HB 3	UD 1	1,5 - 2	52,23	26,3	1,99	33,59	Very High	High-Very High
	UD 2	3,5 - 4	41,79	19,11	2,19	19,49	High	High-Very High
HB 4	UD 1	1,5 - 2	47,48	28,4	1,67	26,62	Very High	High-Very High
	UD 2	3,5 - 4	52,25	24,4	2,14	33,62	Very High	High-Very High
HB 5	UD 1	1,5 - 2	51,6	29,72	1,74	32,61	Very High	High-Very High
	UD 2	3,5 - 4	44,71	14,73	3,04	22,98	High	High-Very High

Tabel 8. Klasifikasi *swell potential* di proyek B, Karawang

Bore Hole No.	Sample No.	Depth (m)	Plasticity Index, PI (%)	Clay (finer than 0,075 mm)	Activity, A	Swell Potential, S (%)	Swell Potential (Seed et al., 1962)	Swell Potential (Chen, 1975)
DB 1	UD 1	2,5 - 3	39,363	29,16	1,35	16,84	Very High	High-Very High
	UD 2	5 - 5,5	42,256	19,63	2,15	20,03	Very High	High-Very High
DB 1	UD 3	7 - 7,5	38,167	18,41	2,07	15,62	Very High	High-Very High
	UD 4	21 - 21,5	45,17	12,89	3,50	23,57	High	High-Very High

Tabel 9. Klasifikasi *swell potential* di proyek C, Cikarang

Bore Hole No.	Sample No.	Depth (m)	Plasticity Index, PI (%)	Clay (finer than 0,075 mm)	Activity, A	Swell Potential, S (%)	Swell Potential (Seed et al., 1962)	Swell Potential (Chen, 1975)
DB 1	UD 1	1 - 1,5	48,12	14,69	3,28	27,50	Very High	High-Very High
	UD 2	5 - 5,5	42,6	19,93	2,14	20,43	High	High-Very High
	UD 3	11 - 11,5	39,67	11,57	3,43	17,17	High	High-Very High
DB 2	UD 1	1 - 1,5	31,51	19,57	1,61	9,79	High	High-Very High
	UD 2	3 - 3,5	38,32	19,15	2,00	15,78	High	High-Very High
	UD 3	5 - 5,5	41,47	13,74	3,02	19,13	High	High-Very High
	UD 1	3 - 3,5	56,43	33,97	1,66	40,56	Very High	High-Very High
DB 3	UD 2	5 - 5,5	66,04	24,8	2,66	59,54	Very High	High-Very High
	UD 3	7 - 7,5	28,53	21,78	1,31	7,68	High	High-Very High



Gambar 3 Grafik hubungan empiris persentase butiran lempung vs activity (Seed et al., 1962)

Tabel 10. Klasifikasi *swell potential* tanah ekspansif di proyek A, Karawang

Bore Hole No.	Sample No.	Depth (m)	Clay (finer than 0,075 mm)	Heave (%)	Plasticity Index, PI (%)	Indeks Ekspansi (EI)	Berdasarkan Indeks Ekspansi	Berdasarkan Kadar Lempung	Berdasarkan PI
HB 1	UD 1	1 - 1,5	17,39	0,1	47,88	1,74	Sangat Rendah	Sedang	Sangat Tinggi
	UD 2	3 - 3,5	25,9	0,75	73,77	19,43	Sangat Rendah	Tinggi	Sangat Tinggi
HB 2	UD 1	1,5 - 2	18,38	3,08	48,13	56,61	Sedang	Sedang	Sangat Tinggi
	UD 2	3,5 - 4	19,71	2,56	44,47	50,46	Sedang	Sedang	Sangat Tinggi
HB 3	UD 1	1,5 - 2	26,3	1,25	52,23	32,88	Rendah	Tinggi	Sangat Tinggi
	UD 2	3,5 - 4	19,11	5,1	41,79	97,46	Tinggi	Sedang	Sangat Tinggi
HB 4	UD 1	1,5 - 2	28,4	2,15	47,48	61,06	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
	UD 2	3,5 - 4	24,4	4,82	52,25	117,61	Tinggi	Sedang	Sangat Tinggi
HB 5	UD 1	1,5 - 2	29,72	2,52	51,6	74,89	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
	UD 2	3,5 - 4	14,73	0,78	44,71	11,49	Sangat Rendah	Rendah	Sangat Tinggi

Identifikasi kandungan mineral

Identifikasi mineralogi mengacu pada Tabel 1 yang menghubungkan parameter tanah terhadap LL, PL, PI, dan A. Diperoleh bahwa mineral yang teridentifikasi dari ketiga proyek adalah mineral *montmorillonite* dimana mineral ini menjadi ciri khas terkait tanah ekspansif. Seperti yang diketahui bahwa, nilai A yang relatif tinggi menjadi indikasi bahwa tanah tersebut memiliki ciri dari tanah ekspansif. Untuk hasil analisis identifikasi mineral dari ketiga proyek ditunjukkan pada Tabel 13-15.

Tabel 11. Klasifikasi *swell potential* tanah ekspansif di proyek B, Karawang

Bore Hole No.	Sample No.	Depth (m)	Clay (finer than 0,075 mm)	Heave (%)	Plasticity Index, PI (%)	Indeks Ekspansi (EI)	Berdasarkan Indeks Ekspansi	Berdasarkan Kadar Lempung	Berdasarkan PI
DB 1	UD 1	2,5 - 3	29,16	3,261	39,363	95,09	Tinggi	Rendah	Sangat Tinggi
	UD 2	5 - 5,5	19,63	0,663	42,256	13,01	Sangat Rendah	Sangat Rendah	Sangat Tinggi
	UD 3	7 - 7,5	18,41	0,337	38,167	6,20	Sangat Rendah	Sangat Rendah	Sangat Tinggi
	UD 4	21 - 21,5	12,89	1,711	45,17	22,05	Rendah	Sangat Rendah	Sangat Tinggi

Tabel 12. Klasifikasi *swell potential* tanah ekspansif di proyek B, Cikarang

Bore Hole No.	Sample No.	Depth (m)	Clay (finer than 0,075 mm)	Heave (%)	Plasticity Index, PI (%)	Indeks Ekspansi (EI)	Berdasarkan Indeks Ekspansi	Berdasarkan Kadar Lempung	Berdasarkan PI
DB 1	UD 1	1 - 1,5	14,69	2,58	48,12	37,90	Rendah	Sangat Rendah	Sangat Tinggi
	UD 2	5 - 5,5	19,93	5,19	42,6	103,44	Tinggi	Sangat Rendah	Sangat Tinggi
	UD 3	11 - 11,5	11,57	2,78	39,67	32,16	Rendah	Sangat Rendah	Sangat Tinggi
DB 2	UD 1	1 - 1,5	19,57	2,78	31,51	54,40	Sedang	Sangat Rendah	Tinggi
	UD 2	3 - 3,5	19,15	2,44	38,32	46,73	Rendah	Sangat Rendah	Sangat Tinggi
	UD 3	5 - 5,5	13,74	2,73	41,47	37,51	Rendah	Sangat Rendah	Sangat Tinggi
DB 3	UD 1	3 - 3,5	33,97	4,8	56,43	163,06	Sangat Tinggi	Tinggi	Sangat Tinggi
	UD 2	5 - 5,5	24,8	6,03	66,04	149,54	Sangat Tinggi	Sedang	Sangat Tinggi
	UD 3	7 - 7,5	21,78	3,62	28,53	78,84	Sedang	Sedang	Tinggi

Hubungan empiris *swelling pressure* (Psw) terhadap *atterberg limits test*

Pada analisis hubungan empiris *swelling pressure* (Psw) terhadap parameter tanah LL, PL dan PI diperoleh sebuah persamaan regresi linier yang dapat digunakan untuk proyek A, Karawang dimana persamaan ini memperoleh nilai Psw berdasarkan parameter LL, PL dan PI. Data tanah hasil uji laboratorium pada proyek A ditunjukkan pada Tabel 4. Diperoleh hasil analisis LL, PL dan PI terhadap Psw dari persamaan regresi linier untuk proyek A, kemudian diplot dalam grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4-6. Selain itu, hasil perhitungan dari persamaan regresi linier yang terbentuk diperoleh nilai maksimum *swelling pressure* (Psw) dari proyek A yaitu sebesar 0,33 kg/cm², hasil analisis dari ketiga parameter ditunjukkan pada Tabel 16.

Tabel 13. Klasifikasi kandungan mineral di proyek A, Karawang

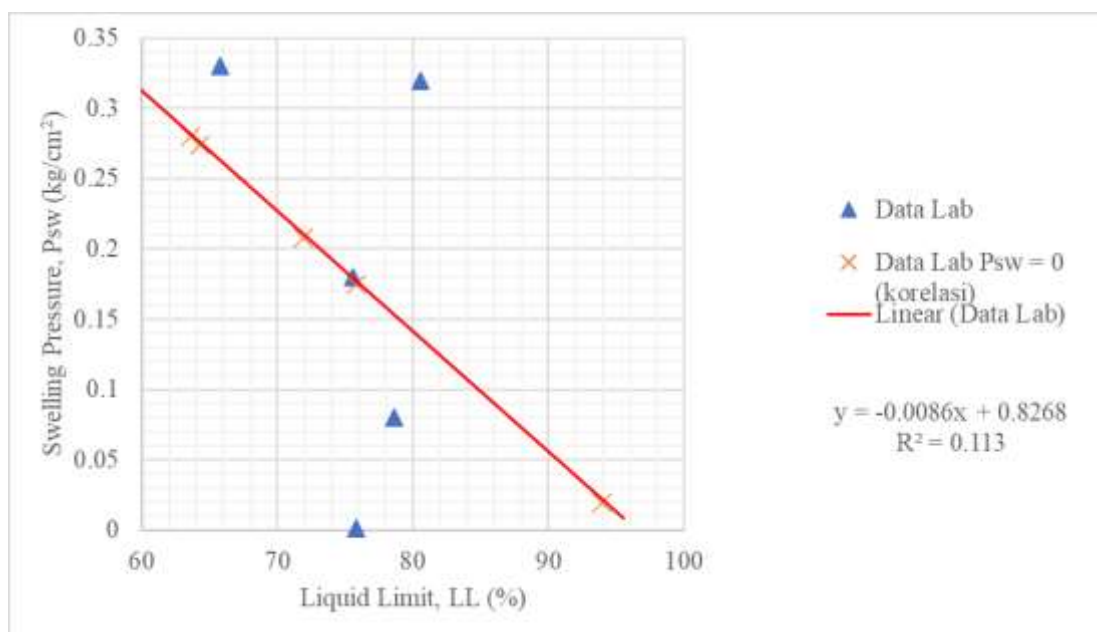
<i>Bore Hole No.</i>	<i>Sample No.</i>	<i>Depth (m)</i>	<i>LL (%)</i>	<i>PL (%)</i>	<i>PI (%)</i>	<i>Clay (finer than 0,075 mm)</i>	<i>Activity, A</i>	<i>Identifikasi Kandungan Mineral (LL)</i>	<i>Identifikasi Kandungan Mineral (PL)</i>	<i>Identifikasi Kandungan Mineral (A)</i>
HB 1	UD 1	1 - 1,5	75,8	27,89	48	17,39	2,75	<i>Kaolinite, Illite</i>	<i>Kaolinite</i>	<i>Montmorillonite</i>
	UD 2	3 - 3,5	93,9	20,13	74	25,9	2,85	<i>Kaolinite, Illite</i>	<i>Kaolinite</i>	<i>Montmorillonite</i>
HB 2	UD 1	1,5 - 2	75,6	27,42	48	18,38	2,62	<i>Kaolinite, Illite</i>	<i>Kaolinite</i>	<i>Montmorillonite</i>
	UD 2	3,5 - 4	71,9	27,46	44	19,71	2,26	<i>Kaolinite, Illite</i>	<i>Kaolinite</i>	<i>Montmorillonite</i>
HB 3	UD 1	1,5 - 2	78,6	25,37	52	26,3	1,99	<i>Kaolinite, Illite</i>	<i>Kaolinite</i>	<i>Montmorillonite</i>
	UD 2	3,5 - 4	63,6	21,77	42	19,11	2,19	<i>Kaolinite, Illite</i>	<i>Kaolinite</i>	<i>Montmorillonite</i>
HB 4	UD 1	1,5 - 2	65,8	18,28	47	28,4	1,67	<i>Kaolinite, Illite</i>		<i>Montmorillonite</i>
	UD 2	3,5 - 4	75,8	23,59	52	24,4	2,14	<i>Kaolinite, Illite</i>	<i>Kaolinite</i>	<i>Montmorillonite</i>
HB 5	UD 1	1,5 - 2	80,5	28,94	52	29,72	1,74	<i>Kaolinite, Illite</i>	<i>Kaolinite</i>	<i>Montmorillonite</i>
	UD 2	3,5 - 4	64,3	19,58	45	14,73	3,04	<i>Kaolinite, Illite, Halloysite (hydrated)</i>		<i>Montmorillonite</i>

Tabel 14. Klasifikasi kandungan mineral di proyek B, Karawang

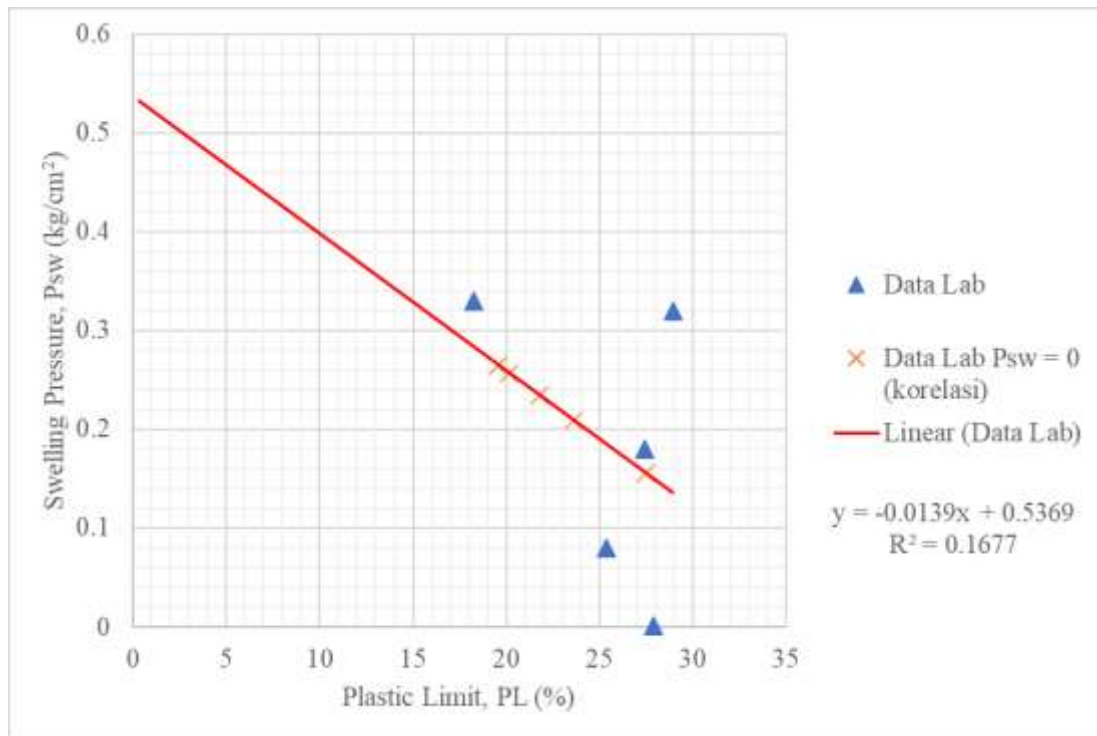
<i>Bore Hole No.</i>	<i>Sample No.</i>	<i>Depth (m)</i>	<i>LL (%)</i>	<i>PL (%)</i>	<i>PI (%)</i>	<i>Clay (finer than 0,075 mm)</i>	<i>Activity, A</i>	<i>Identifikasi Kandungan Mineral (LL)</i>	<i>Identifikasi Kandungan Mineral (PL)</i>	<i>Identifikasi Kandungan Mineral (A)</i>
DB 1	UD 1	2,5 - 3	63,5	24,14	39	29,16	1,35	<i>Kaolinite, Illite, Halloysite (hydrated)</i>	<i>Kaolinite</i>	<i>Attapulgite, Allophane</i>
	UD 2	5 - 5,5	77,3	35,01	42	19,63	2,15	<i>Kaolinite, Illite</i>	<i>Kaolinite, Illite, Halloysite (dehydrated)</i>	<i>Montmorillonite</i>
	UD 3	7 - 7,5	72,4	34,26	38	18,41	2,07	<i>Kaolinite, Illite</i>	<i>Kaolinite, Halloysite (dehydrated)</i>	<i>Montmorillonite</i>
	UD 4	21 - 21,5	68,7	45,17	45	12,89	3,50	<i>Kaolinite, Illite, Halloysite (hydrated)</i>	<i>Illite, Halloysite (hydrated)</i>	<i>Montmorillonite</i>

Tabel 15. Klasifikasi kandungan mineral di proyek C, Cikarang

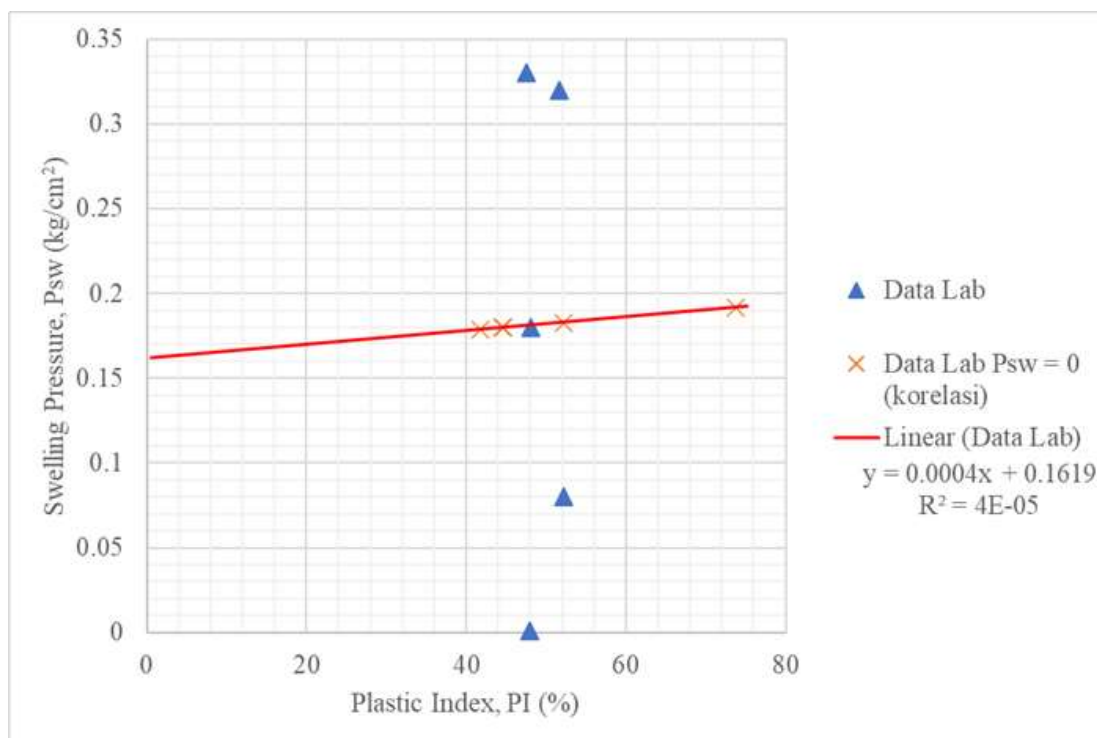
Bore Hole No.	Sample No.	Depth (m)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Clay (finer than 0,075 mm)	Activity, A	Identifikasi Kandungan Mineral (LL)	Identifikasi Kandungan Mineral (PL)	Identifikasi Kandungan Mineral (A)
DB 1	UD 1	1 - 1,5	73,8	25,68	48	14,69	3,28	Kaolinite, Illite	Kaolinite	Montmorillonite
	UD 2	5 - 5,5	60,5	17,9	43	19,93	2,14	Kaolinite, Illite, Halloysite (hydrated)		Montmorillonite
	UD 3	11 - 11,5	62,6	22,93	40	11,57	3,43	Kaolinite, Illite, Halloysite (hydrated)	Kaolinite	Montmorillonite
DB 2	UD 1	1 - 1,5	53,5	21,99	32	19,57	1,61	Kaolinite, Illite, Halloysite (dehydrated)	Kaolinite	Montmorillonite
	UD 2	3 - 3,5	56	17,63	38	19,15	2,00	Kaolinite, Illite, Halloysite (hydrated)		Montmorillonite
	UD 3	5 - 5,5	60	18,53	41	13,74	3,02	Kaolinite, Illite, Halloysite (hydrated)		Montmorillonite
DB 3	UD 1	3 - 3,5	86,4	29,97	56	33,97	1,66	Kaolinite, Illite	Kaolinite	Montmorillonite
	UD 2	5 - 5,5	96,7	30,66	66	24,8	2,66	Kaolinite, Illite	Kaolinite, Halloysite (dehydrated)	Montmorillonite
	UD 3	7 - 7,5	66,8	38,27	29	21,78	1,31	Kaolinite, Illite, Halloysite (hydrated)	Kaolinite, Halloysite (dehydrated)	Attapulgit, Allophane



Gambar 4. Regresi linier LL terhadap Psw di Proyek A, Karawang



Gambar 5. Regresi linier PL terhadap Psw di Proyek A, Karawang



Gambar 6. Regresi linier PI terhadap Psw di Proyek A, Karawang

Tabel 16. *Summary* hasil regresi linier hubungan LL, PL dan PI terhadap Psw di proyek A, Karawang

<i>Swelling Pressure</i> (Psw) dari Hasil Uji Laboratorium	<i>Swelling Pressure</i> , Psw (kg/cm ²)	Nilai Maksimum Psw (kg/cm ²)
<i>Swelling pressure</i> hasil uji laboratorium	0,0010	0,3300
	0,1800	
	0,0800	
	0,3300	
	0,3200	
Hasil regresi linier terhadap LL	0,0193	0,3300
	0,2082	
	0,2802	
	0,1746	
	0,2738	
Hasil regresi linier terhadap PL	0,2571	0,3300
	0,1552	
	0,2343	
Hasil regresi linier terhadap PL	0,2090	
	0,2647	
Hasil regresi linier terhadap PI	0,1914	
	0,1797	
	0,1786	
	0,1828	
	0,1798	

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hubungan antara Aktivitas (A) dengan persentase fraksi lempung (C) menurut Seed et al. (1962), diperoleh pada Proyek A (Karawang) memiliki rentang tingkat potensi pengembangan dari “*high-very high*”, pada Proyek B (Karawang) memiliki rentang tingkat potensi pengembangan dari “*high-very high*” dan pada Proyek C (Cikarang) memiliki rentang tingkat potensi pengembangan dari “*high-very high*”. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa daerah Karawang dan Cikarang memiliki tingkat potensi pengembangan tanah dengan rentang “*high-very high*”.
2. Berdasarkan hubungan indeks plastisitas (PI) pada tanah ekspansif menurut Chen (1975) pada proyek A (Karawang), B (Karawang) dan C (Cikarang) dapat disimpulkan bahwa ketiga proyek ini memiliki potensi pengembangan dari rentang “*high-very high*”. Hal ini didukung juga oleh teori yang dicetuskan pada buku U.S. HUD yang mengaitkan hubungan antara PI dengan potensi pengembangan dimana hasil akhir dari analisis ini termasuk ke dalam tingkat “*very high*”.
3. Jika dilihat dari aspek kadar tanah lempung pada ketiga proyek ini cenderung mengandung jenis tanah lanau (*silt*), sehingga pada analisis potensi pengembangan yang mengaitkan hubungannya dengan kadar tanah lempung diperoleh pada Proyek A (Karawang) memiliki tingkat potensi pengembangan “sedang”, pada Proyek B (Karawang) memiliki tingkat potensi pengembangan “sangat rendah” dan pada Proyek C (Cikarang) memiliki tingkat potensi pengembangan “sangat rendah”. Dengan demikian, potensi pengembangan berdasarkan kadar tanah lempung harus dilakukan uji pengembangan secara langsung dikarenakan dari hasil analisis korelasi dengan parameter lainnya menyimpulkan bahwa tanah dari ketiga proyek ini cenderung memiliki tanah ekspansif dengan tingkat “sedang–sangat tinggi”.
4. Berdasarkan analisis hubungan parameter batas cair (LL), batas plastik (PL) dan *activity* (A) dengan kandungan mineral pada ketiga proyek diperoleh hasil bahwa semua sampel uji laboratorium mengandung kandungan mineral berupa *kaolinite*, *illite*, *halloysite (hydrated)*, *halloysite (dehydrated)*, *attapulgit*, *allophane* dan *montmorillonite*. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa tanah dari ketiga proyek tersebut termasuk ke dalam jenis tanah ekspansif yang memiliki potensi pengembangan sangat tinggi.
5. Berdasarkan korelasi hubungan empiris *swelling pressure* (Psw) dengan parameter LL, PL dan PI pada Proyek A (Karawang), diperoleh persamaan regresi linier sebagai berikut:
Korelasi LL dan Psw adalah $Psw = -0,0086 LL + 0,8268$
Korelasi PL dan Psw adalah $Psw = -0,0139 PL + 0,5369$
Korelasi PI dan Psw adalah $Psw = 0,004 PI + 0,1619$
6. Nilai maksimum *swelling pressure* (Psw) dari proyek A adalah sebesar 0,33 kg/cm².

Berdasarkan hasil analisis pada penelitian ini, ada beberapa saran yang dapat disampaikan yakni sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan uji pengembangan tanah secara langsung atau uji laboratorium lanjutan untuk memperoleh hasil yang lebih akurat terkait potensi pengembangan yang akan terjadi.
2. Dikarenakan kandungan mineral pada tanah memiliki pengaruh besar terhadap potensi muai susut tanah, perlu dilakukan salah satu uji laboratorium terkait identifikasi mineralogi dari beberapa metode seperti *X-Ray Diffraction*, *Differential Thermal Analysis* (DTA), *Infrared Radiation*, *Dye Adsorption* dan *Dielectric Dispersion*.
3. Dikarenakan hasil analisis menunjukkan bahwa jenis tanah dari ketiga proyek tersebut adalah tanah ekspansif, maka dari itu perlu dilakukan metode perbaikan tanah seperti aplikasi *geomembrane*, metode *remove and replace* dengan tanah yang permeabilitasnya lebih baik, metode *compaction* dan stabilisasi kimiawi yang terkandung dalam tanah ekspansif tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Adianto C., W., & Susilo, A. J. (2019). Analisis penggunaan micropile untuk meminimalkan heaving pada tanah ekspansif di Jawa Barat. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(3), 145-151. <https://doi.org/10.24912/jmts.v2i3.5818>
- Chen, F. H. (1975). *Foundation on expansive soils*. Elsevier Scientific Publishing Company.
- Coduto, D. P. (1999). *Geotechnical engineering principles and practices*. Prentice-Hall, Inc.
- Das, B. M., & Sivakugan, N. (2019). *Principles of foundation engineering* (Edisi 9). Cengage Learning Inc.
- Snethen, D. R. (1975). *A review of engineering experiences with expansive soils in highway subgrades*. Federal Highway Administration.
- Hardiyatmo, H. C. (2017). *Tanah ekspansif: Permasalahan dan penanganan* (Edisi 2). Gadjah Mada University Press.
- Seed, H. B., Woodward, R. J., & Lundgren, R. (1962). Prediction of swelling potential for compacted clays. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 88(3) <https://doi.org/10.1061/JSFEAQ.0000431>
- Skempton, A. W. (1953). The colloidal activity of clays. *3rd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, London, 57-61.
- Uniform Building Code. (1968). *Uniform building code standard*. Department of Citywide Administrative Services.