

THE INFLUENCE OF CATIONS EXCHANGES TO ATTERBERG LIMIT ON SOFT CLAY SOIL

PENGARUH PERUBAHAN KATION TERHADAP NILAI ATTERBERG TANAH LEMPUNG LUNAK

Nahesson Hotmarama Panjaitan¹⁾, Ahmad Rifa'i²⁾, Agus Darmawan Adi²⁾, P. Sumardi²⁾

¹⁾ Universitas Negeri Medan (UNIMED), Jl. Willem Iskandar, Psr V, Medan Estate, Medan,

e-mail : nahesson_panj@yahoo.com

²⁾ Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika, Yogyakarta 55281,

e-mail : ahmad.rifai@tsipil.ugm.ac.id

ABSTRACT

Clay is composed of sheets of tetrahedral ($\text{Si}^{4+} - \text{O}^{2-}$) and octahedral ($\text{Al}^{3+} - \text{O}^{2-}$). Comparison of the composition of the tetrahedral sheets (Silica, Si^{4+}) - octahedral (Alumina, Al^{3+}) causes clay soil has a stable bond (ratio 1 : 1) and unstable bond (ratio 2:1) between the layers. To stabilize the bond, the clay that surrounds the form of cation binding of free ions and dissolved in water. Strong - weak bonding condition between the cations contained in the layer depends on the type of metal bound. This causes the character of clay is easy to swell and shrink. Early identification of swell of clay type can be seen in the value Atterberg limit of the soil. This research was conducted to determine the effect of cations exchanges on clay soil compared with the value of Atterberg limits (*liquid limit* (LL), *plastic limit*, (PL) and *shrinkage limit* (SL)). Exchange of cations in clay soil using electrokinetic processes with direct current (DC). Analysis of soil cation composition of the original and final test conducted by the chemical process by AAS method (*Atomic Absorption Spectrum*). From the results of chemical testing and compared with Atterberg limits under the same conditions, showed the result that the characteristics of the cations Ca^{2+} and Mg^{2+} show a similar trend, but vice versa. As for the other cations, has no permanent behavioral changes in Atterberg limits. The results of this research can be used as the basis and consideration in the implementation of the stabilization of expansive clay.

Key words: Clay, swell, Atterberg, cation, expansive

ABSTRAK

Tanah lempung tersusun dari lembaran tetrahedral ($\text{Si}^{4+} - \text{O}^{2-}$) dan lembaran oktahedral ($\text{Al}^{3+} - \text{O}^{2-}$). Perbandingan susunan lembaran tetrahedral (silika) – oktahedral (alumina) menyebabkan tanah lempung memiliki ikatan antar lapisan yang stabil (perbandingan 1 : 1) dan tidak stabil (perbandingan 2:1). Untuk menstabilkan ikatan antar lapisan, tanah lempung mengikat kation yang berada disekitarnya berupa ion bebas dan yang terlarut dalam air. Kuat lemahnya ikatan kation yang terdapat di diantara lapisan tergantung dari jenis logam yang terikat. Hal ini menyebabkan sifat tanah lempung mudah mengembang dan menyusut. Identifikasi awal terhadap pengembangan jenis tanah lempung dapat dilihat dari nilai batas Atterberg dari tanah tersebut. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan kation pada tanah lempung terhadap nilai batas Atterberg nya (batas cair (*Liquid Limit*, LL), batas plastis (*Plastic Limit*, PL) dan batas susut (*Shrinkage limit*, SL)). Perubahan kation pada tanah lempung dilakukan dengan menggunakan proses elektrokinetik dengan menggunakan arus searah (*direct current*, DC). Analisa komposisi kation tanah asli dan akhir pengujian dilakukan dengan proses kimia dengan metode AAS (*Atomic Absorption Spectrum*). Dari hasil pengujian secara kimia dan dibandingkan dengan nilai Atterberg menunjukkan hasil bahwa karakteristik kation Ca dan Mg menunjukkan trend yang sama namun terbalik. Sedangkan untuk kation yang lain, tidak memiliki perilaku yang tetap terhadap perubahan nilai batas Atterberg. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar dan pertimbangan dalam pelaksanaan stabilisasi tanah lempung ekspansif.

Kata-kata kunci: tanah lempung, pengembangan, Atterberg, kation

PENDAHULUAN

Tanah lempung ekspansif, sering juga disebut dengan tanah montmorillonite (berdasarkan kandungan mineral) memiliki sifat mengembang dan susut yang sangat tinggi. Dimana fenomena kembang dan susut pada tanah ini sering menyebabkan kerusakan pada struktur bangunan. Pondasi dan lantai yang terangkat, pipa dalam tanah yang patah akibat deformasi tanah yang berlebihan adalah beberapa contoh kasus yang disebabkan oleh fenomena kembang-susut ini.

Beberapa penelitian yang sudah dilakukan, memunculkan suatu dugaan (*hipotesa*) bahwa atom penyusun tanah ini merupakan penyebab terjadinya karakter khusus diatas.

Identifikasi sederhana terhadap suatu jenis tanah sering dilakukan terhadap nilai batas-batas *Atterberg* nya, dan selanjutnya dilakukan pengujian kimia terhadap unsur-unsur yang terkandung didalam tanah tersebut.

Dalam penelitian ini dicoba untuk meneliti secara khusus pengaruh perubahan nilai ion-ion logam (*kation*) pada tanah ter-

hadap nilai batas *Atterberg* (batas cair (*Liquid Limit*, LL)), batas plastis (*Plastic Limit*, PL) dan batas susut (*Shrinkage Limit*, SL) dari tanah ini.

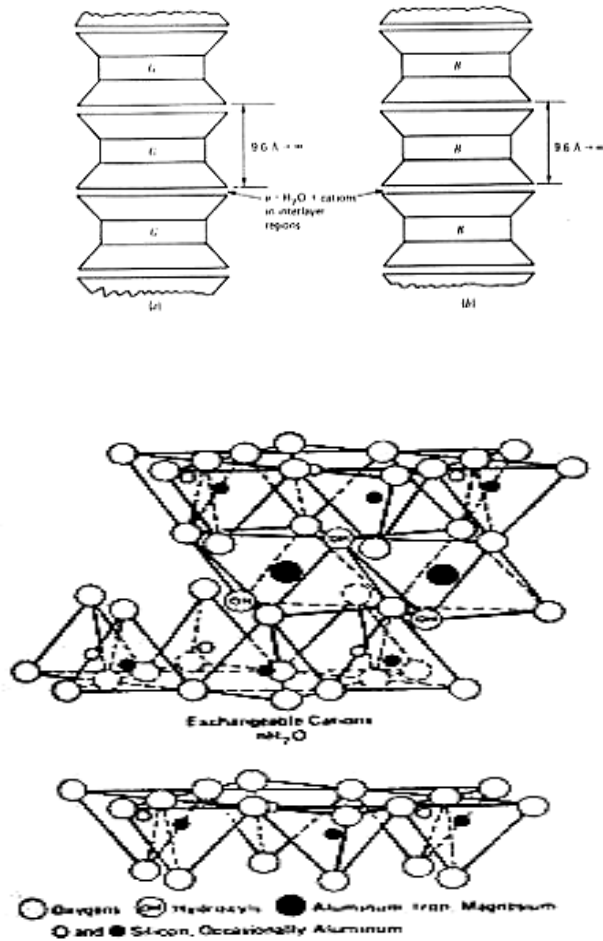
STUDI PUSTAKA

Struktur serta ikatan atom dari tanah lempung berhasil diidentifikasi oleh *Lambe (1953)* dan *Grimm (1959)* (*Gambar 1 dan 2*).

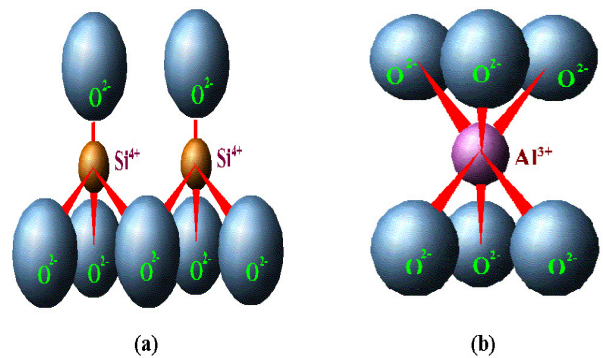
Tanah lempung (*clay soil*) disusun oleh lembaran tetrahedral ($\text{Si}^{4+} - \text{O}^{2-}$) dan oktahedral ($\text{Al}^{3+} - \text{O}^{2-}$) (*Gambar 3*). Perbandingan komposisi lembaran tetrahedral dan oktahedral pada tanah lempung, dapat berupa perbandingan 1 : 1 atau 2:1 (*Gambar 4*).

Pada komposisi perbandingan 1:1, tanah lempung memiliki ikatan antar lapisan yang sangat kuat (stabil), sehingga perubahan volume yang diakibatkan oleh pengikatan ion logam pada lapisan antar lapisan nya sangat kecil terjadi, sedangkan pada komposisi perbandingan 2:1, tanah lempung memiliki ikatan antar lapisan yang sangat lemah (tidak stabil), sehingga

pertukaran ion antar lembarannya kemungkinan besar akan terjadi. Jenis ta-nah lempung yang memiliki komposisi perbandingan 2:1 ini dikenal dengan jenis tanah lempung ekspansif (tanah mont-morillonite). Ikatan yang terjadi antar lapisan ini disebut ikat-an Van der Waals.



Gambar 2. Struktur atom montmorillonite (Grimm, 1959)

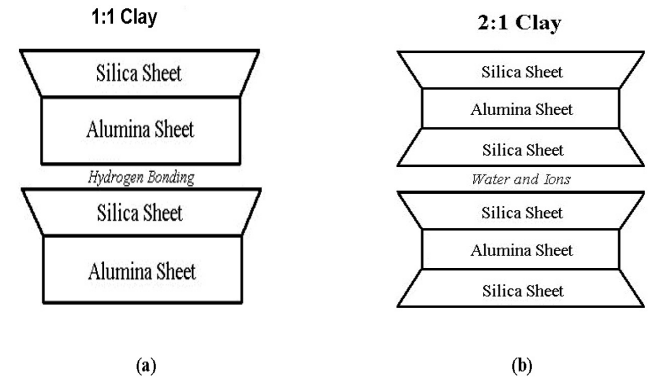


Gambar 3. Ikatan atom penyusun tanah lempung (soil clay).
 \ (a) lembaran tetrahedral dan (b) oktahedral

Idealnya, dalam suatu molekul mineral, muatan negatif dan positif atom penyusunnya adalah seimbang. Kondisi yang berbeda ditemukan pada tanah lempung ekspansif, dimana akibat *isomorphous substitution* dan *kontinuitas* perpecahan susunannya, terjadi muatan negatif pada permukaan partikel lempung. Untuk mengimbangi muatan negatif tersebut, partikel lempung menarik ion bebas bermuatan positif (*kation*) dari

sekitarnya dan juga yang terlarut dalam air (garam) (Mitchell, 1993).

Beberapa penelitian yang telah dilakukan menunjukkan adanya hubungan antara nilai batas Atterberg terhadap kecenderungan sifat mengembang dari tanah lempung. Hubungan antara nilai batas Atterberg terhadap sifat mengembang tanah lempung dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2, dan Gambar 4.



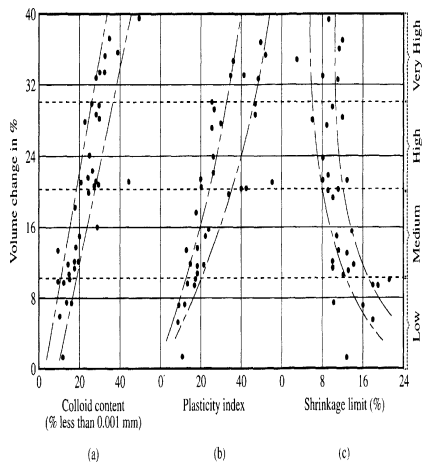
Gambar 4. Perbandingan komposisi silika : Alumina pada lembaran penyusun tanah lempung (soil clay).
 (a) komposisi 1:1 dan (b) komposisi 2:1

Tabel 1. Hubungan antara potensi pengembangan dengan indeks plastisitas (PI) (Holtz and Gibbs, 1956)

Plasticity index I_p (%)	Swelling potential
0-15	Low
10-35	Medium
20-55	High
35 and above	Very high

Tabel 2. Hubungan antara potensi pengembangan dengan nilai indeks palstisitas dan shrinkage limit (Holtz and Kovacs, 1981))

Degree of Expansion	Probable Expansion as a % of the Total Volume Change (Dry Condition)†	Colloidal Content (% - 1 μ m)	Plasticity Index, PI	Shrinkage Limit, SL
Very high	> 30	> 28	> 35	< 11
High	20-30	20-31	25-41	7-12
Medium	10-20	13-23	15-28	10-16
Low	< 10	< 15	< 18	> 15



Gambar 5. Hubungan antara perubahan volume terhadap Komposisi koloid (a), indeks plastis (b) dan shrinkage limit (c) (Holtz & Gibbs, 1956)

Molekul lempung ekspansif (montmorillonite) terbentuk dari ikatan beberapa unsur, dan diidentifikasi persamaan kimia molekul-nya adalah: $(\text{Na,Ca})(\text{Al, Mg})_6(\text{Si}_4\text{O}_{10})_3(\text{OH})_6 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (Hydrated Sodium Calcium Aluminum Magnesium Silicate Hydroxide). Dengan menggunakan metode AAS (Atomic Absorption Spectrum), diketahui kandungan unsur yang terdapat pada tanah montmorillonite adalah: Na^+ , Ca^{2+} , Al^{3+} , Mg^{2+} , Si^+ dan OH^- (hidrosil).

Jenis ion logam yang terdapat pada tanah lempung mempengaruhi nilai batas Atterberg pada tanah tersebut (Lambe and Whitman, 1979), hal ini disebabkan oleh sifat pengikatan (reaktivitas) kation terhadap molekul air. Hubungan antara nilai batas Atterberg terhadap jenis ion logam yang terdapat pada tanah dapat dilihat pada tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Karakteristik nilai LL, PL dan SL terhadap jenis kandungan ion logam pada tanah lempung ekspansif (Lambe and Whitman, 1979)

Mineral	Exchangeable ion	Liquid limit (%)	Plastic limit (%)	Plasticity index (%)	Shrinkage limit (%)	Shrinkage limit calculated by method 1 (%)	Shrinkage limit calculated by method 2 (%)
Montmorillonite	Na	710	54	656	9.9	-132.3	6.2
	K	660	98	562	9.3	-74.8	10.1
	Ca	510	81	429	10.5	-51.3	10.5
	Mg	410	60	350	14.7	-45.3	9.5
	Fe	290	75	215	10.3	2.1	16.7
Illite	Na	120	53	67	15.4	26.0	23.4
	K	120	60	60	17.5	33.0	27.8
	Ca	100	45	55	16.8	23.4	22.1
	Mg	95	46	49	14.7	25.8	23.8
Kaolinite	Fe	110	49	61	15.3	24.7	22.8
	Na	53	32	21	26.8	23.1	22.9
	K	49	29	20	21.2	21.1	
	Ca	38	27	11	24.5	22.1	22.4
Attapulgite	Mg	54	31	23	28.7	21.8	21.7
	Fe	59	37	22	29.2	26.5	26.0
	H	270	150	120	7.6	82.5	43.9
	Mexico City clay	388	226	162	43	126.6	52.6
	Boston blue clay (illite)	41	25	16	18.7	19.3	19.3
Aardvack clay	30.6	19.6	11	12.17	16.7	16.4	
Morganza Louisiana clay	104	74.8	29.2	13.7	52.1	47.0	
Beverly clayey silt (illite)	19.5	16.3	3.2	13.3	16.4	15.4	

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan adalah model eksperimental di laboratorium, dengan melakukan pengamatan terhadap perubahan kation yang terdapat pada tanah lempung ekspansif kemudian dibandingkan dengan perubahan unsur kimia tanah tersebut terhadap nilai batas Atterberg nya.

Variasi kation pada tanah dilakukan dengan proses elektrokinetik menggunakan arus listrik searah (*Direct Current*, DC). Jenis kation yang divariasikan adalah: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} dan Fe^{3+} yang terdapat pada tanah lempung.

Contoh tanah terganggu (*disturb*) yang diuji adalah jenis tanah lempung ekspansif berasal dari daerah Purwodadi – Surakarta km 30+400, diambil pada kedalaman 0,5 m - 1m

Uji kandungan mineral dan ion logam (kation) dilakukan dilaboratorium kimia analitik jurusan kimia dan laboratorium tanah jurusan pertanian Universitas Gajah Mada, dengan metode AAS (*Atomic Absorption Spectrum*) dan UV (*Ultra Violet*), sedangkan untuk mendapatkan nilai batas Atterberg dilakukan pengujian indeks properties dari tanah dengan menggunakan metode ASTM 4318 untuk nilai batas cair (LL) dan batas plastis (PL), serta ASTM 427-2005 untuk batas susut (SL) di laboratorium mekanika tanah jurusan teknik sipil Universitas Gajah Mada.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil pengujian indeks properties dan unsur kimia terhadap contoh tanah dapat dilihat pada tabel 3 dan 4 berikut ini.

Tabel 4. Indeks Properties dan klasifikasi tanah lempung

No	Parameter	Nilai
1	Batas cair (LL)	71,90
2	Batas Plastis (PL)	34,73
3	Indeks Plastis (PI)	37,17
4	Shrinkage Limit (SL)	9,04
Klasifikasi tanah		
5	- AASHTO	A-7-5
6	- USCS	MH - CH
7	- Activity of Clay (A)	3,23
8	- Description of A value	Highly Active

Tabel 5. Komposisi unsur kimia tanah lempung Purwodadi km 30 + 400

Jenis Tanah	UNSUR KIMIA					
	Al_2O_3	MgO	K_2O	Na_2O	SiO_2	TiO_2
Lempung Purwodadi	25,354	0,763	0,413	1,126	55,017	0,347
km 30 + 400	25,807	0,791	0,420	1,088	55,631	0,347
	26,033	0,777	0,413	1,088	56,861	0,343
Rata-rata	25,731	0,777	0,415	1,101	55,836	0,345

Variasi perubahan unsur kimia tanah dapat dilihat pada gambar-gambar berikut ini. Dengan proses elektrokinetik terhadap tanah asli, menggunakan arus searah (DC), diperoleh beberapa variasi hubungan perubahan unsur kimia tanah lempung terhadap nilai batas Atterberg. Nilai batas Atterberg diperoleh dengan pengujian terhadap tanah lempung yang sudah dielektrokinetik.

Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar-gambar berikut ini.

Pembahasan

Dari hasil pengujian indeks properties dan kimia unsur tanah lempung yang diambil dari daerah Purwodadi-Surakarta km. 30 +400, menunjukkan bahwa tanah lempung ini diklasifikasikan memiliki tingkat pengembangan sangat tinggi.

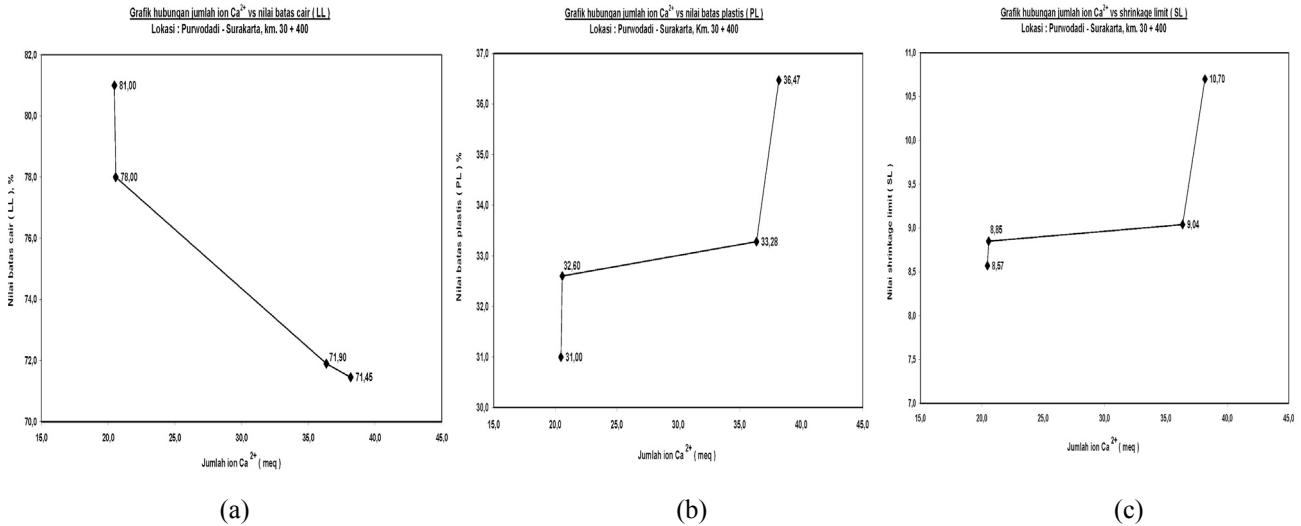
Beberapa variasi perubahan kandungan kation yang diperoleh dengan perlakuan simulasi elektrokinetik pada tanah serta pengukuran kandungan kation dengan menggunakan proses

AAS dan ekstraksi kimia menunjukkan adanya pengaruh perubahan kandungan kation terhadap nilai batas-batas Atterberg.

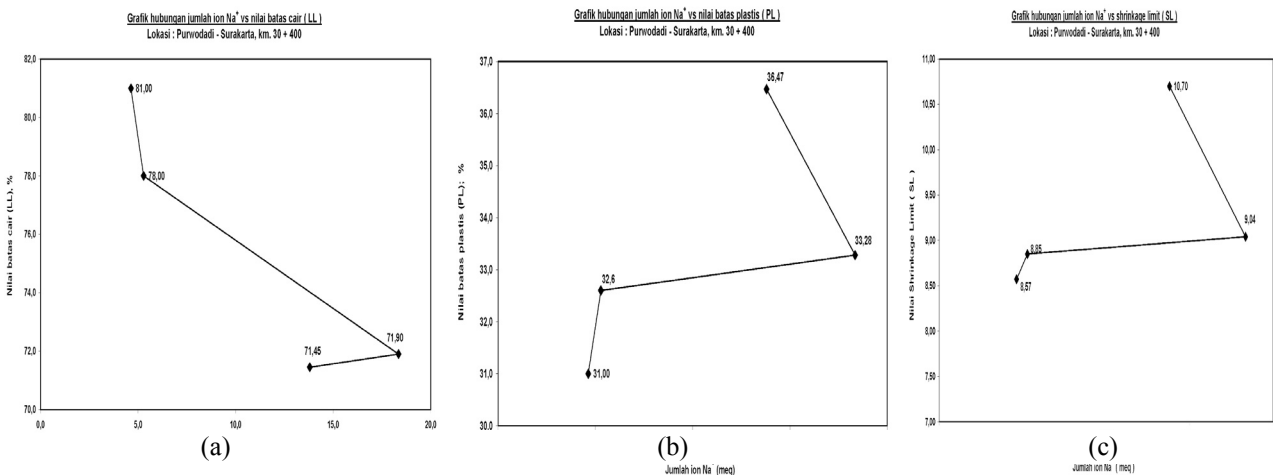
Dari grafik hubungan konsentrasi ion logam (*kation*) terhadap nilai batas-batas Atterberg tanah, diperoleh hasil bahwa perubahan kandungan kationa Ca^{2+} dan Mg^{3+} menunjukkan perilaku perubahan nilai batas Atterberg yang konsisten.

Pada kation Ca^{2+} , peningkatan kandungan kation ini menyebabkan penurunan nilai batas cair (LL) serta meningkatkan

nilai ba-tas plastis (PL) tanah. Hal sebaliknya terjadi pada perubahan kandungan kation Mg^{3+} , dimana peningkatan kandungan Mg^{3+} menyebabkan peningkatan nilai batas cair (LL) serta penurunan nilai batas plastis (PL) tanah tersebut.



Gambar 6. Grafik hubungan antara perubahan kadar ion Ca^{2+} dengan (a). nilai batas cair (LL), (b) nilai batas palstis (PL), dan (c) nilai batas susut (SL) tanah lempung ekspansif Purwodadi km 30+400m



Gambar 7. Grafik hubungan antara perubahan kadar ion Na^{+} dengan (a). nilai batas cair (LL), (b) nilai batas palstis (PL), dan (c) nilai batas susut (SL) tanah lempung ekspansif Purwodadi km 30+400m

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil pengujian dilakukan dapat disimpulkan :

1. Perubahan kandungan kation pada tanah lempung mempengaruhi nilai batas-batas Atterberg (batas cair, plastis dan batas susut) tanah tersebut.
2. Pada pengujian ini diperoleh data bahwa perubahan kation Ca^{2+} dan Mg^{3+} menunjukkan perilaku (tren) yang konsisten terhadap nilai batas-batas Atterberg tanah. Perubahan kandungan kedua kation tersebut (Ca^{2+} dan Mg^{3+}) menghasilkan suatu perilaku (trend) terhadap nilai batas-batas Atterberg yang saling berlawanan.

Saran

Kesulitan dalam memvariasikan kandungan suatu kation tanpa menyebabkan perubahan kandungan kation yang lain, dapat mempengaruhi perilaku terhadap nilai batas-batas Atterberg tanah. Untuk kation Na^{+} , Fe^{3+} dan K^{+} perlu dilakukan pengujian lebih khusus untuk menghasilkan suatu perilaku perubahan terhadap nilai batas Atterberg yang konsisten.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM. (2005). *Annual Book of ASTM Standards*, Volume 04. 08, Philadelphia.

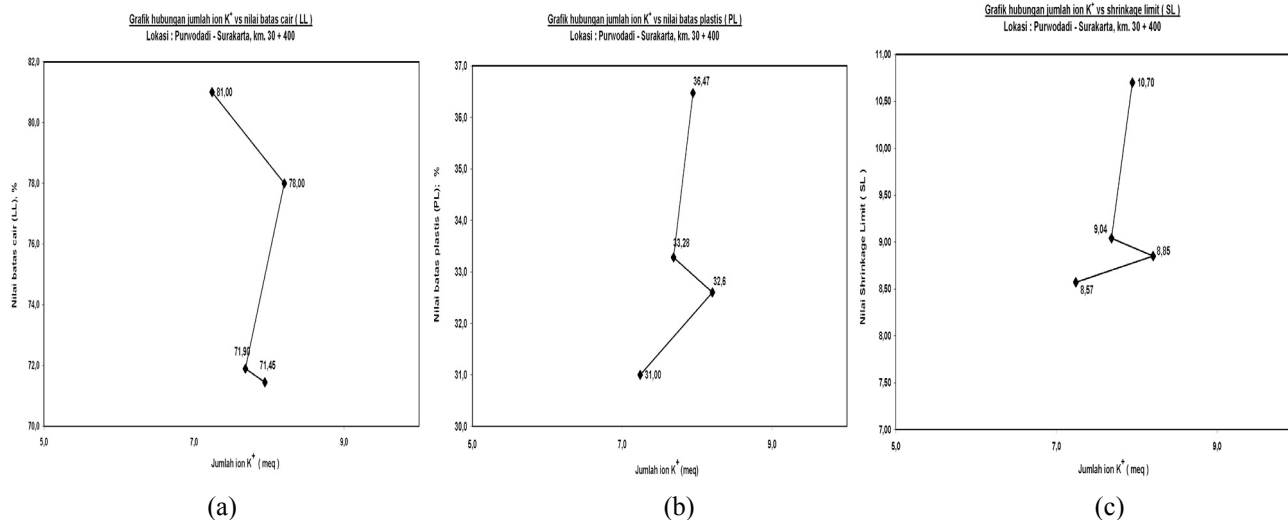
Chen, F.H. (1988). *Foundations On Expansive Soils*, 2nd ed., Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam-Oxford-New York

Holtz, R.D. and Kovacs, W.D. (1981). *An Introduction to Geotechnical Engineering*, Chapter 4., Prentice Hall., New York.

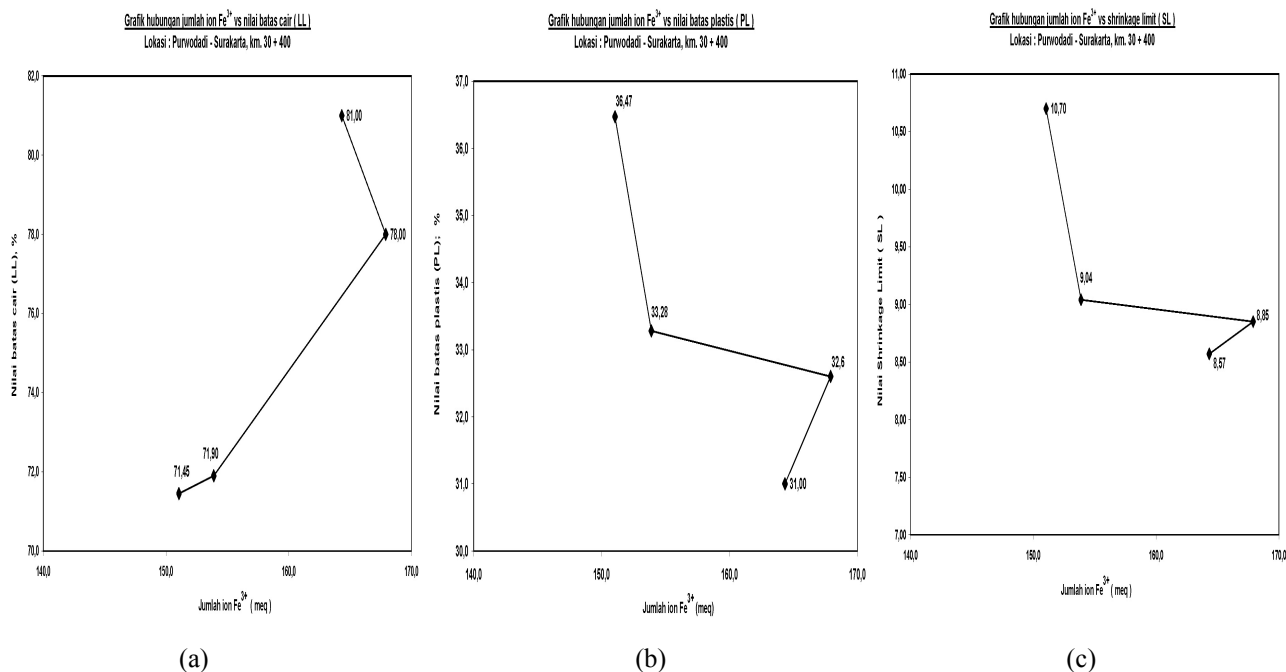
Holtz, W.G. and Gibbs, J.J. (1956). "Engineering Properties of Expansive Clays." *ASCE Transactions Paper*, No. 2814, Vol. 121, 1956.

Lambe, T.W. and Whitman, R.V. (1979). *Soil Mechanics*. SI Version, John Wiley & Sons, New York.

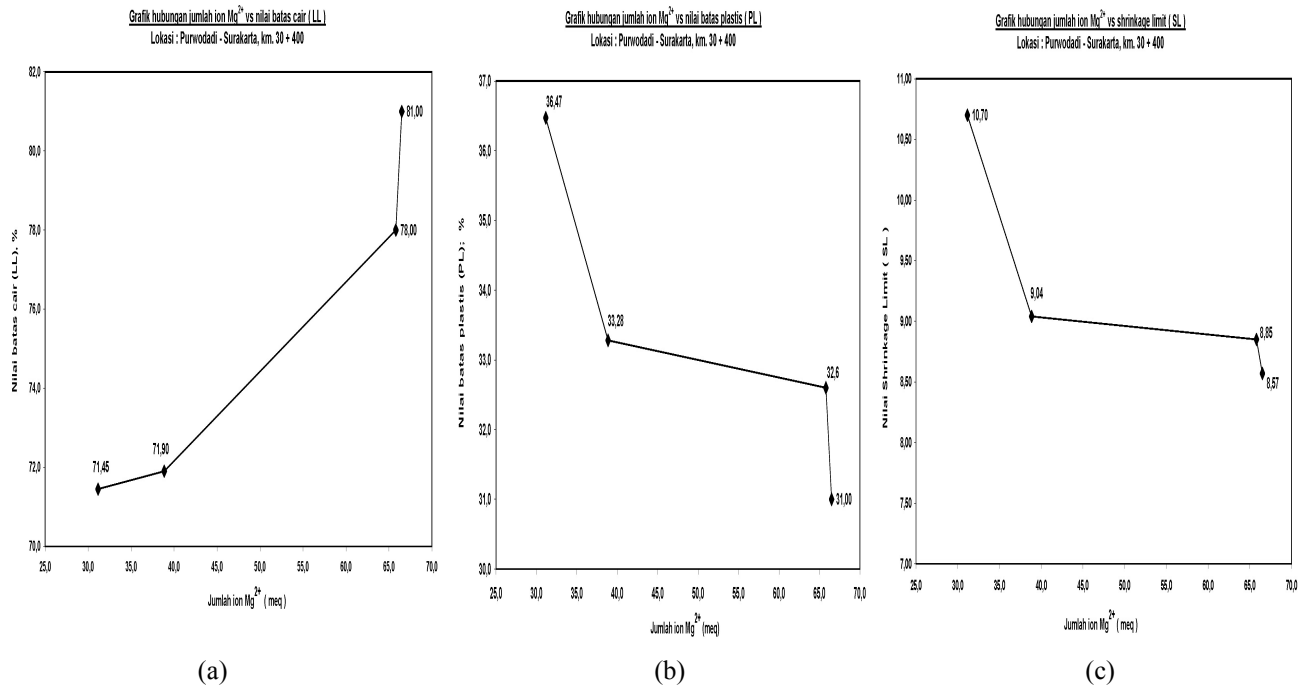
Mitchell, J.K. (1993). *Fundamentals of Soil Behavior*. Chapter 3, 2nd edition, John Wiley & Sons Inc. New York.



Gambar 8. Grafik hubungan antara perubahan kadar ion K⁺ dengan (a). nilai batas cair (LL), (b) nilai batas palstis (PL), dan (c) nilai batas susut (SL) tanah lempung ekspansif Purwodadi km 30+400m



Gambar 9. Grafik hubungan antara perubahan kadar ion Fe³⁺ dengan (a). nilai batas cair (LL), (b) nilai batas palstis (PL), dan (c) nilai batas susut (SL) tanah lempung ekspansif Purwodadi km 30+400m



Gambar 10. Grafik hubungan antara perubahan kadar ion Mg^{2+} dengan (a). nilai batas cair (LL), (b) nilai batas palstis (PL), dan (c) nilai batas susut (SL) tanah lempung ekspansif Purwodadi km 30+400m