

KARAKTERISTIK TANAH LEMPUNG LAPUKAN FORMASI BALIKPAPAN DI SAMBOJA, KALIMANTAN TIMUR

Zufialdi Zakaria¹⁾, Geni Dipatunggoro¹⁾ & Edi Tri Haryanto²⁾

¹⁾ Laboratorium Geologi Teknik, Jurusan Geologi, FMIPA, UNPAD

²⁾ Lab. Geomorfologi dan Penginderaan Jauh, Jurusan Geologi, FMIPA, UNPAD

ABSTRACT

Balikpapan Formation (Upper Middle Miosen) consist of quartzite sandstone, silty claystone, and shale with marl as intercalation, limestone and coal. clay at Samboja as apart of Balikpapan Formation, consist of silt, clay and sand.

Clay identification based on soil mechanic is clay with high plasticity (CH), illitic, very low permeability ($K = 6,61E-08$ to $1,48E-07$ cm/sec), medium to medium-high activity ($A = 0.55$ to 0.91)

Keywords: clay, soil mechanic

ABSTRAK

Formasi Balikpapan (Miosen Tengah bagian Atas) terdiri atas perselingan batupasir kuarsa, batulempung lanauan dan serpih dengan sisipan napal, batugamping dan batubara. Lempung di Samboja yang merupakan bagian dari Formasi Balikpapan, terdiri atas lanau, lempung dan pasir.

Identifikasi lempung berdasarkan mekanika tanah adalah CH yaitu lempung dengan plastisitas tinggi, mengandung mineral ilit (illitik). Permeabilitas sangat rendah yaitu $K = 6,61E-08$ s.d. $1,48E-07$ cm/det. Angka aktivitas 0,55 sampai 0,91 termasuk sedang sampai sedang-tinggi.

Kata kunci: lempung, mekanika tanah

PENDAHULUAN

Secara regional, geologi daerah Samboja (Hidayat & Umar, 1994). termasuk dalam Formasi Balikpapan dan Formasi Kampungbaru. Formasi Kampungbaru (umur Pliosen), terdiri atas batulempung pasiran, batupasir kuarsa, batulanau, sisipan batubara, napal, batugamping dan lignit. Tebal sisipan batubara dan lignit kurang dari 3 m. Bagian bawah ditandai oleh lapisan batubara. Formasi Kampungbaru diendapkan di lingkungan delta dan laut dangkal dengan tebal formasi 100-800 m. Formasi ini terletak tidak selaras di atas Formasi Balikpapan.

Formasi Balikpapan (Miosen Tengah bagian Atas-Akhir) terdiri atas perselingan batupasir kuarsa, batulempung lanauan dan serpih dengan sisipan napal, batugamping dan batubara. Lingkungan pengendapannya litoral sampai laut dangkal. Ketebalan 800 meter.

Lempung merupakan partikel tanah paling halus yang umumnya

mengandung mineral lempung. Partikel tanah berukuran lempung dapat merupakan kendala atau sisi lemah dalam perencanaan sipil dan bangunan, tetapi juga dapat merupakan kekuatan bila mana dapat mengupayakan substitusi ion-ionnya melalui soil *improvement* secara kimiawi. Selain itu, mineral lempung mempunyai manfaat dalam dunia farmasi, perminyakan, mekanika tanah, geoteknik (bendungan) maupun metalurgi (ilmu logam).

BAHAN DAN METODE PENELITIAN

Lempung dan Mineral Lempung

Berdasarkan ukuran partikel, butiran lempung (ukuran lempung, *clay size*) termasuk fraksi sangat halus karena butiran (tepatnya lembaran) lempung sangat halus yaitu kurang dari $2 \mu\text{m}$ (atau kurang dari $1/256$ mm ukuran butir menurut cara Wenworth). Sumber utama dari mineral lempung adalah pelapukan kimiawi dari batuan yang mengandung : Feldspar ortoklas,

Feldspar plagioklas dan Mika (muskovit) ; semuanya itu disebut sebagai aluminium silikat kompleks.

Karena mineral lempung memiliki butiran yang sangat halus, maka mineral ini mempunyai permukaan yang sangat luas persatuan massa (permukaan jenis). Semakin halus dan kecil ukuran butir suatu material, maka permukaan jenisnya (luas spesifik, *specific surface*) semakin besar sehingga kemampuan mengabsorpsi air semakin besar pula.

Karakteristik Mineral Lempung

Hampir semua partikel lempung terhidrasi yaitu dikelilingi oleh lapisan-lapisan molekul air (disebut sebagai air teradsorpsi) yang mempunyai tebal dua molekul dan disebut lapisan difusi, lapisan difusi ganda dan lapisan ganda. Air tertarik kuat ke lapisan ini sehingga lebih berperilaku sebagai benda padat ketimbang benda cair dengan kerapatan $> 1,4 \text{ g/cm}^3$.

Pada temperatur tinggi lapisan air dapat hilang ($600-1000^\circ \text{C}$) dan plastisitas alamiah (w_L) akan berkurang. Bila lapisan ganda mengalami dehidrasi pada suhu rendah, plastisitas akan kembali ke semula dengan cara dicampur air dan dibiarkan kering selama 24-48 jam. Pada temperatur lebih tinggi, plastisitas akan menurun atau berkurang selamanya. Mineral lempung mempunyai daya tarik terhadap ion-ion H^+ . Secara kualitatif memperlihatkan perbedaan kadar air di lapangan dan nilai batas cair antara koilinit dan montmorilonit.

Tanah lapukan batulempung mempunyai sifat-karakteristik yang khas sesuai dengan komposisi mineral penyusunnya. Sifat tersebut adalah sifat mengembang (*swelling*) terutama jika ada air dan mudah hancur jika terkena udara atau terlapukkan secara fisik berupa remuknya lempung, pecah berkeping-keping dan urai. Sifat terakhir ini disebut sebagai *slacking* (Brotodihardjo, 1990).

Sifat mengembang bisa diukur aktivitasnya. Pada umumnya sifat ini menyebabkan tanah ekspansif, yaitu menyusut dan mengembang yang besar sesuai perubahan kadar air tanah karena terjadinya perubahan volume apabila kandungan air dalam tanah berubah (Mudjihardjo dkk, 1997). Upaya pencegahan dampak yang ditimbulkan oleh pengaruh sifat ekspansif tanah, dapat dilakukan melalui pemantauan dan pengelolaan lingkungan, antara lain dengan perkuatan lereng dan rekayasa tanah dengan mengurangi potensi mengembang (*swelling potential*) agar peningkatan volume tanah pada saat basah (jenuh air) maupun penyusutan pada saat kering tidak terlampaui besar (Hirawan, 1997).

Aktivitas lempung dirumuskan dengan perbandingan plastisitas dengan persen butiran lempung seperti disampaikan oleh Seed et.al.(1962, dari Holts & Kovack, 1981) sebagai berikut :

$$A = \frac{\% \text{ PI}}{\% \text{ lempung } 2\mu - 5}$$

A = Nilai aktivitas
PI = Indeks Plastisitas

Nilai Aktivitas cukup penting digunakan dalam evaluasi pekerjaan tanah dan pondasi. Nilai khas aktifitas berdasarkan perbandingan di atas diperlihatkan oleh mineral yang khas pada Tabel 1.

Batas susut sebagai indikator praktis

Batas susut (*shrinkage limit*, w_s) merupakan salah satu dari *Atterberg Limit* yang merupakan indikator aktivitas secara praktis, batas susut yaitu kadar air yang didefinisikan pada derajat kejenuhan, $S_r = 100\%$, dimana tidak akan terdapat perubahan volume tanah bila dikeringkan terus. Batas ini cukup penting untuk tanah yang mengalami perubahan volume yang cukup besar dengan berubahnya kadar air (w , %).

Semakin kecil w_s (batas susut) semakin sedikit air yang dibutuhkan untuk mengubah volume, maka tanah akan lebih mudah mengalami perubahan volume. Umumnya tanah yang mempunyai batas cair (liquid limit) $w_L > 5\%$ akan mengembang (batas cair adalah batas dimana materi tanah dengan kadar air tertentu akan berperilaku sebagai cairan kental). Lokasi relatif w_L , w_p dan w_s pada suatu skala kadar air diperlihatkan pada gambar 1.

Perubahan volume merupakan masalah serius pada lempung yang mudah menyusut. Biasanya terjadi pada tanah kohesif (yang perubahan volumenya kecil) yang sangat jelas pada daerah kering atau agak kering, terutama bila ada lempung montmorilonit atau bentonit yang tidak cukup mengalami pelapukan untuk sampai pada keadaan yang kurang aktif.

Pada lempung ekspansif yang mudah mengembang, sangat keras pada keadaan kering akibat tegangan penyusutan, bahkan pada kadar air kecilpun masih keras dan padat. Pada tanah lempung yang mengalami penyusutan, retakan-retakan dapat terjadi dengan lebar sekitar 2 cm dan dalam 1,5 meter yang ditentukan dengan memasukkan kawat ke dalam retakan.

Indikator kapasitas pergantian kation

Indikator lain adalah kapasitas pergantian kation dalam mili-ekivalen (meq) per 100 gram lempung. Contoh $1 \text{ meq Na}_2/100 \text{ g} = 0.031\% \text{ Na}_2\text{O}$. Nilai lempung dalam kaitan ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Pertukaran ion merupakan hal yang relatif sederhana dalam struktur lempung. Dengan demikian pertukaran ion tersebut adalah aktif-kimiawi. Ini merupakan persoalan dalam air yang terkena pencemaran dimana banyak sekali ion di dalam larutan. Dalam keadaan tertentu, dapat terjadi pertumbuhan mineral lempung yang berlangsung dengan

cepat (pembentukan lumpur dalam reservoir penjernih air, penyumbatan pipa-pipa drainase).

Molekul-molekul air dapat diserap dalam struktur lempung (terutama pada lempung yang mengembang) dan dapat dihilangkan (pada lempung yang memadat). Mineral lempung bisa juga aktif-elektrik. Dengan ukurannya sangat kecil, maka hanya dapat dilihat dengan mikroskop elektron. Umumnya partikel-partikel tanah lempung mempunyai muatan negatif pada permukaannya. Muatan negatif yang besar dijumpai pada partikel-partikel yang mempunyai luasan spesifik yang lebih besar. Beberapa muatan positif juga terjadi pada tepi-tepi lempengan partikel. Daftar kerapatan muatan negatif pada kedua permukaan mineral lempung diberikan oleh Yong dan Warkentin, 1966 (Braja, 1995) pada Tabel 3.

Muatan positif sangat mudah berganti dengan yang lainnya. Ion-ion positif yang mengelilingi partikel lempung tersebut terikat pada partikel oleh adanya gaya tarik elektrostatis. Bila air ditambahkan kepada lempung tersebut, maka kation-kation tersebut dan sejumlah kecil anion-anion akan berenang di antara partikel ini (disebut lapisan ganda terdifusi).

Pengaruh Air

Fasa air dalam tanah lempung tidak merupakan air yang murni secara kimiawi. Air ini menentukan sifat plastisitas lempung. Pada uji laboratorium untuk Atterberg Limit, ASTM menentukan bahwa air suling (relatif bebas ion) yang ditambahkan seperlunya dapat memberikan hasil berbeda dengan air yang terkontaminasi (dari tanah di lapangan). Lempung yang kering akan sangat keras, bila bahan keras tadi dipecah-pecah maka akan berlaku seperti tanah yang tidak kohesif. Bila air ditambahkan kembali, maka bahan akan plastis dengan kekuatan lebih kecil dari bahan semula. Bila lempung basa ini ditingkatkan kembali, maka bahan tersebut akan kembali keras dan kuat.

Beberapa Mineral Lempung Kaolinit

Diambil modifikasi dari Kauling, suatu tempat berupa punggung tinggi dari suatu bukit di dekat Jauchau Fu, China, dimana lempung kaolinit putih didapat beberapa abad lalu. Para ahli tanah memandang istilah ini untuk kelompok lempung yang beraktivitas rendah.

Kaolin mempunyai keseimbangan elektrolit yang baik dan sebuah struktur yang kokoh. Kekuatan dan stabilitas yang cukup besar dengan antar lapisannya sedikit cenderung mengisap air dan mengembang (disebut aktif). Kaolin merupakan mineral lempung yang paling tidak aktif dan dihasilkan oleh pelapukan beberapa mineral lempung yang lebih aktif atau dapat terbentuk langsung dari produk sampingan pelapukan batuan.

Mineral lain *keluarga* kaolinit adalah halosit yang dibedakan dengan kaolinit karena tertumpuk secara lebih acak dan lembaran-lembaran elemennya tergulung menjadi suatu silinder. Rumus halosit: $(\text{OH})_8\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Illit

Istilah diambil dari kelompok lempung yang pertama kali didapat dari Illionis, Amerika. Struktur terdiri atas lembaran gibbsite (oktahedral) yang diapit oleh dua lembar silika (tetrahedral), struktur t-o-t. Rumus umumnya adalah : $(\text{K}, \text{Ca}, \text{Na}, \text{H}_2\text{O})_x (\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_2 (\text{SiO}_x\text{Al}_x)\text{O}_{10}(\text{OH})_2$. Aktivitas Illit lebih besar dari kaolinit. Vermikulit merupakan *keluarga* illit yang bersifat sama, kecuali molekul air lapisan ganda diantara lapisan-lapisannya diselang-selingi dengan ion-ion kalsium dan/atau magnesium, dengan substitusi brusit sebagai pengganti gibsit di dalam lapisan oktahedralnya.

Monmorilonit

Monmorilonit adalah suatu mineral yang diberikan untuk lempung di daerah Monmorilon, Perancis tahun 1847 (Bowles, 1989), dengan rumus :

$(\text{OH})_4\text{Si}_8\text{Al}_4\text{O}_{20} \cdot n\text{H}_2\text{O}$, dimana $n(\text{H}_2\text{O})$ adalah air yang berada diantara lapisan-lapisan (n-lapis). Istilah *smectite* juga dipakai dalam kelompok mineral ini. Mineral ini mempunyai butiran yang secara khas sangat halus dan secara kimia sangat aktif. Mineral montmorilonit dengan mudah dapat menyerap air dan menghilangkan air (lempung mengembang kuat).

Bentuk struktur mineral ini sama dengan illit, yaitu satu lembaran *gibbsite* diapit dua lembaran silika.

Bentonit adalah lempung dengan kadar montmorilonit tinggi, banyak dijumpai dalam endapan vulkanik sebagai material yang terbentuk dari perubahan kimiawi abu vulkanik. Bila diberi air, bentonit dapat mengembang (*swelling*) lebih besar daripada lempung kering lainnya. Bentonit jenuh akan menyusut lebih banyak bila dikeringkan. Sifat bentonit tergantung dari sumber dan jumlah material vulkanik induknya.

Pelapukan mineral monmorilonit sering menghasilkan lempung kaolinit dan di daerah dimana telah terjadi pelapukan, kedua mineral tersebut biasa diperoleh. Montmorilonit biasa terdapat di daerah kering.

Tanah di daerah penelitian pada umumnya terdiri atas lanau, pasir (dengan berbagai ukuran butir) dan lempung. Koefisien permeabilitas dapat diperkirakan mempunyai tingkat sangat rendah sampai dengan rendah untuk material jenis tersebut (Tabel 4).

HASIL PENELITIAN

Berdasarkan hasil analisis mekanika tanah, koefisien permeabilitas tanah lanau-pasir berkisar antara $k = 9,28 \times 10^{-5}$ s.d. $8,24 \times 10^{-4}$ cm/detik. Untuk tanah lempung, koefisien permeabilitas berkisar antara $k = 6,61 \times 10^{-8}$ cm/detik sampai dengan $k = 1,48 \times 10^{-7}$ cm/detik.

Di lokasi penelitian, lempung Samboja berada pada kedalaman bervariasi -8 meter s.d. lebih dari -20 meter. Di lokasi lain lempung ter-

singkap di dinding bukit dan memperlihatkan kemiringan landai.

Lempung mempunyai sifat mengembang dan mengerut. Sifat ini berbeda untuk berbagai jenis lempung bergantung mineralnya yang dominan. Berbagai jenis lempung dan nilai aktifitasnya dapat dilihat pada tabel. Nilai aktifitas dihitung dari perbandingan % IP (Indeks Plastisitas) dan % lempung. Untuk mengetahui jenis tanah lempung yang terdapat di Samboja, maka didekati dengan perhitungan nilai aktifitas tanah lempung (metode Seed). Berdasarkan nilai aktifitas (A) tanah lempung Samboja dapat diperkirakan mempunyai Angka aktivitas antara 0,55 sampai 0,91 termasuk sedang sampai sedang-tinggi seperti Tabel 5.

Pada umumnya jenis tanah lempung Samboja dapat diperkirakan sebagai lempung jenis Illitik, mempunyai sifat seperti Ilit dengan aktifitas sedang. Semakin tinggi nilai aktifitas tanah lempung, maka semakin ekspansif dengan mengembang dan mengerut yang tinggi seperti pada lempung *monmorilonitik*.

Pada umumnya tanah kohesif (lempung dan lanau) di Samboja mempunyai plastisitas tinggi. Lempungnya termasuk jenis CH atau lempung plastisitas tinggi (Tabel 5). Dalam diagram Cassagrande, kelompok tanah lempung dan lanau yang diplot berada pada area plastisitas tinggi (Gambar 2 dan 3).

KESIMPULAN

1. Koefisien permeabilitas lempung di Samboja berkisar antara $k = 6,61 \times 10^{-8}$ cm/detik sampai dengan $k = 1,48 \times 10^{-7}$ cm/detik.
2. Di lokasi penelitian, lempung Samboja berada pada kedalaman bervariasi -8 meter sampai lebih dari -20 meter. Di lokasi lain tanah lempung banyak tersingkap

di dinding bukit dan memperlihatkan kemiringan perlapisan landai.

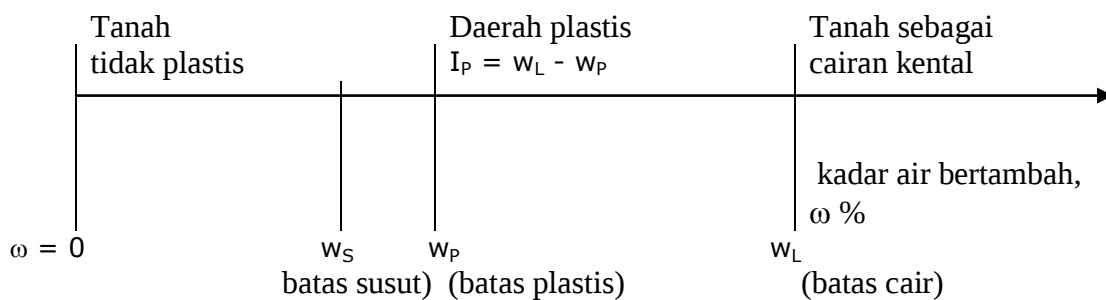
3. Pada umumnya jenis tanah lempung Samboja dapat diperkirakan sebagai lempung jenis Illitik, mempunyai sifat seperti Ilit dengan aktifitas sedang sampai sedang-tinggi. Plastisitas pada umumnya tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J.E., 1989, *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 562 hal.
- Brotodihardjo, A.P.P., 1990, Masalah Geoteknik di Sekitar Rencana Terowongan/Saluran irigasi Kare-dok Kanan, DAS Cimanuk, *Proceedings PIT-IAGI XIX, 11-13 Desember 1990*, hal. 132-142
- Braja, D.M., 1995, *Mekanika Tanah, Prinsip-prinsip Rekayasa Geotek-nis*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 283 hal.
- Hidayat, S., & Umar, I., 1994, *Geologi Indonesia, Lembar Balik-papan, Skala 1:250.000. Peta Geologi Bersistem, Indonesia, Lembar Balikpapan, 1814-1914*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi,
- Hirawan, R.F., 1997, Perilaku Tanah Ekspansif dan Peningkatan Para-meter Ketahanan oleh Peran Vegetasi, *Buletin Geologi Tata Lingkungan*, No. 19, Juni 1997, ISSN 1410/1696, hal. 1-11
- Holt, R.D., & Kovacks, W.D., 1981, *An introduction to geotechnical engineering*, Prentice Hall, Inc., New Jersey, 733 p.
- Mudjihardjo, D., Sucipto, & Cindarto, 1997, Karakteristik Tanah Ekspansif Studi Kasus Rencana Pabrik Glukose Cimalaya - Cikampek, *Bulletin Pusair*, No. 25, Th. VII, September 1997, ISSN: 0852-5919. hal. 16-24.

Tabel 1. Jenis lempung dan angka aktifitas yang khas (Bowles, 1989)

Jenis mineral lempung	A	Keaktifan
Kaolinit	0,4 - 0,5	kurang aktif
Illit	0,5 - 1,0	keaktifan sedang
Monmorilonit	1,0 - 7,0	paling aktif



Gambar 1. Lokasi relatif w_L , w_P dan w_S suatu tanah (Bowles, 1989)

Tabel 2. Nilai aktivitas dan kapasitas pergantian ion beberapa mineral lempung

Lempung	Kapasitas pergantian (meq/100 g)	Aktifitas
Kaolinit	3 - 15	sangat kurang
Halosit(4H2O)	10 - 40	kurang
Illit	10 - 40	sedang
Vermikulit	100 - 150	tinggi
Montmorilonit	80 - 150	sangat tinggi

Tabel 3. Daftar kerapatan muatan negatif permukaan lempung

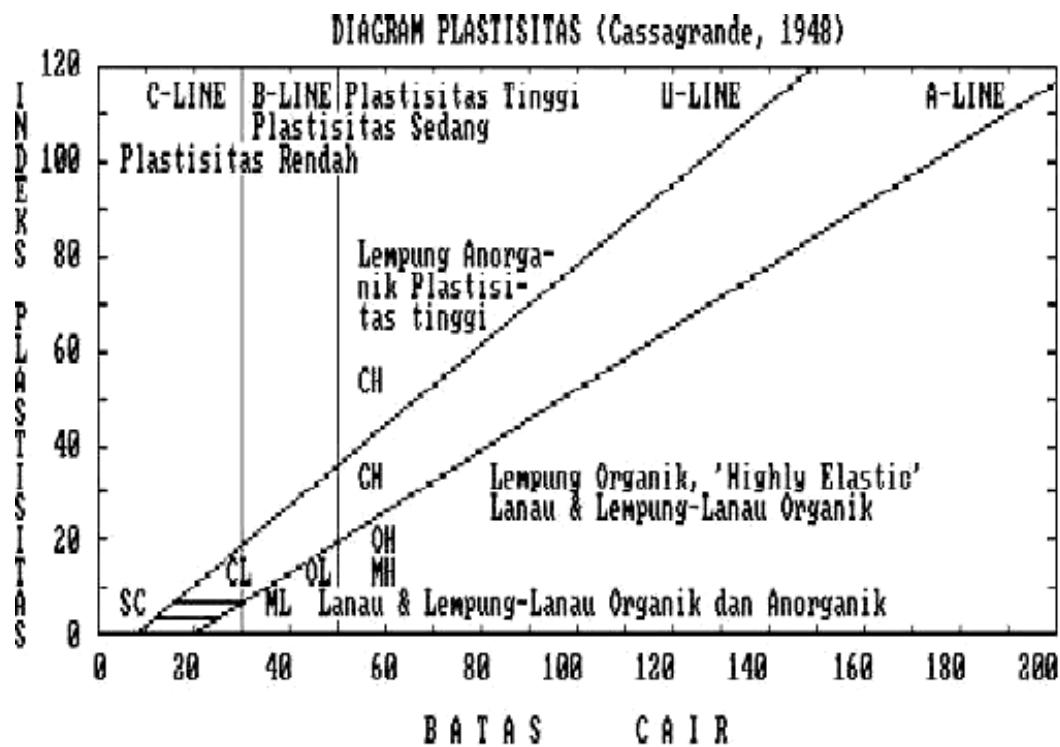
Mineral lempung	Rata-rata kerapatan muatan di kedua sisi permukaan partikel (Amstrong/muatan elektron)	
Kaolinit	25	(Luasan Spesifik = 15)
Ilit	-	(Luasan Spesifik = 80)
Mika lempung & klorit	50	(Luasan Spesifik = -)
Montmorilonit	100	(Luasan Spesifik = 800)
Vermikulit	75	(Luasan Spesifik = -)

Tabel 4. Kelas dan nilai relatif koefisien permeabilitas

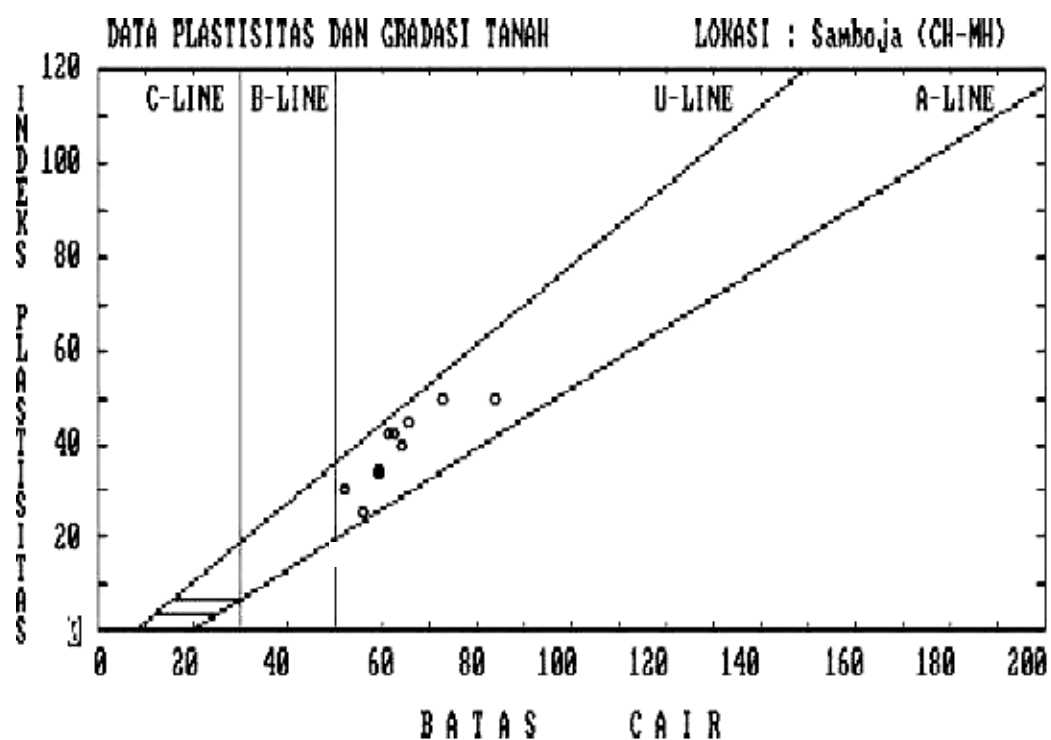
Jenis Tanah	Koefisien Permeabilitas	Tingkat Permeabilitas
Lapisan lanau dan lempung	$10^{-6} - 10^{-4}$	Sangat rendah – rendah
Lapisan batupasir lanauan	$10^{-4} - 10^{-3}$	Rendah
Lempung yang mengalami peng-awetan dan bercelah	10^{-2}	Sedang – tinggi
Tanah kedap air disebabkan pelapukan oleh organisme	10^{-7}	Sangat rendah
Lempung tak bercelah dan lempung lanau (> 20% lempung); tanah tak lulus air; lempung homogen	$10^{-9} - 10^{-7}$	Sangat rendah

Tabel 5. Nilai Aktifitas (cara Seed) lempung dan perkiraan jenis mineralnya.

No.	Lokasi	Depth (m)	Jenis tanah	k cm/detik	IP %	% Lempung	A	Keaktifan	jenis lempung
1	DS-3	11,50 - 11,90	CH	3,93E-08	50,0	60,0	0,91	sedang	Illitik (<i>illitic</i>)
2	DS-4	11,45 - 12,00	CH	6,61E-08	30,5	60,0	0,55	sedang	Illitik (<i>illitic</i>)
3	DS-5	11,45 - 12,00	CH	2,72E-08	44,3	60,0	0,81	sedang	Illitik (<i>illitic</i>)
4	DS-6	7,50 - 8,00	CH	3,47E-08	42,0	55,0	0,84	sedang	Illitik (<i>illitic</i>)
5	DS-7	3,50 - 4,00	CH	4,36E-08	42,3	58,0	0,79	sedang	Illitik (<i>illitic</i>)
6	DS-7	7,50 - 8,00	CH	6,05E-08	39,7	60,0	0,72	sedang	Illitik (<i>illitic</i>)
7	DS-8	7,50 - 8,00	CH	1,01E-07	34,7	61,0	0,62	sedang	Illitik (<i>illitic</i>)
8	DS-8	11,50 - 12,00	CH	2,16E-08	34,1	67,0	0,55	sedang	Illitik (<i>illitic</i>)
9	DS-9	8,50 - 9,00	CH	8,97E-08	49,3	67,0	0,80	sedang	Illitik (<i>illitic</i>)
10	DS-9	11,50 - 12,00	CH	1,48E-07	25,4	43,0	0,67	sedang	Illitik (<i>illitic</i>)



Gambar 2. Diagram Cassagrande



Gambar 3. Hasil plotting batas cair vs indeks plastis tanah kohesif Samboja