BAB 2

STUDI LITERATUR

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang ruang kosong diantara partikel partikel padat tersebut (Das,1993). Tanah dalam pandangan Teknik Sipil adalah himpunan material, bahan organik dan endapan endapan yang lepas (loose) yang terletak diatas batu dasar (Hardiyatmo,1992). Pada tanah lempung lunak memiliki kompresibilitas yang tinggi dan koefisien permeabilitas yang rendah (Meiwa,2017).

2.1 Sieve Analysis (Analisis Saringan)

Analisis saringan (atau uji gradasi) adalah praktik atau prosedur yang digunakan (biasanya digunakan dalam Teknik Sipil) untuk menilai distribusi ukuran partikel (juga disebut gradasi) dari agregat atau penentuan persentase berat butiran agtegat yang lolos dari satu set saringan kemudian angka-angka persentase digambarkan pada grafik pembagian butir. Analisis saringan dapat dilakukan pada semua jenis agregat termasuk pasir, batu pecah, lempung, granit, feldspars, batubara, tanah, hingga ukuran minimum tergantung pada metode yang tepat. Menjadi teknik ukuran partikel yang sederhana, ini mungkin yang paling umum digunakan dalam praktik.

Tabel 2.1 Ukuran ayakan standard di Amerika Serikat (Braja M,Das)

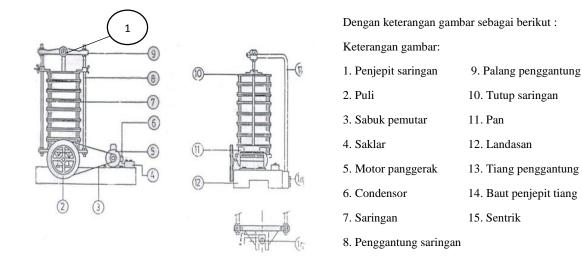
Ayakan no.	Lubang (mm)
4	4,750
6	3,350
8	2,360
10	2,000
16	1,180
20	0,850

30	0,600
40	0,425
50	0,300
60	0,250
80	0,180
100	0,150
200	0,075

(Sumber : Braja M,Das)

Ayak, atau ayakan (kata "ayak" berasal dari 'ayakan') adalah alat untuk mengkarakterisasi distribusi ukuran partikel sampel, biasanya menggunakan layar anyaman seperti jala atau jaring. Alat pengocok mekanis yang digunakan untuk mengocok sejumlah sampel dalam waktu tertentu.

Untuk melakukan pengujian, sampel agregat dapat diperoleh dari sumbernya. Untuk menyiapkan sampel, agregat harus dicampur secara menyeluruh dan dikurangi menjadi ukuran yang sesuai untuk pengujian. Berat total sampel juga diperlukan. Semua prosedur didasarkan pada kode tertentu, seperti ASTM D6913-04 (09): Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis.



Gambar 2.1 Saringan ayakan standar ASTM

(Sumber : ASTM D6913-04 (09))

Yang dimaksudkan sebagai pegangan dalam pemeriksaan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan dan bertujuan untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran baik agregat halus maupun agregat kasar. Distribusi yang diperoleh dapat ditunjukan dalam bentuk table atau grafik.

Perhitungan Analisis

1. Menghitung % tertahan:

% Tertahan =
$$\frac{\text{Sampel tertahan (gram)}}{\text{Berat sampel total (gram)}} \times 100 \%$$

- 2. Menghitung % kumulatif tertahan:
 - % kumulatif tertahan = \sum data % tertahan
- 3. Menghitung % kumulatif lolos :
 - % kumulatif lolos = kumulatif % lolos kumulatif % tertahan

Berdasarkan data dari analisis saringan yang dilakukan, maka dapat di analisis melalui kurva distribusi bahwa klasifikasi tanah tersebut dapat dikelompokkan.

2.2 Analysis Hidrometer

Analisis Hidrometer didasarkan pada prinsip sedimentasi atau pengendapan butiran tanah di dalam air. Distribusi ukuran partikel tanah berbutir halus dan berbutir kasar dapat ditentukan dengan cara sedimentasi. Semua prosedur didasarkan pada kode tertentu, yaitu SNI 03-3423-1994: Metode Pengujian Tentang Analisis Ukuran Butir Tanah Dengan Alat Hidrometer dan ASTM D7928-16: Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Fine-Grained Soils Using the Sedimentation (Hydrometer) Analysis.

Menentukan gradasi atau pembagian ukuran butir tanah (grain size distribution) dari suatu sample tanah dengan ukuran partikel yang lebih kecil dari 0,075 mm. Dengan menyederhanakan, diasumsikan bahwa semua partikel tanah berbentuk bola (bulat). Berdasarkan hukum Stokes, kecepatan pengendapan butiran dapat ditentukan dengan persamaan :

$$V = \frac{\gamma s - \gamma w}{18\eta} D^2 \tag{2.1}$$

Dengan keterangan:

V = Kecepatan (L/t)

 $\gamma w = Berat volume air (gr/cm^3)$

 γ s = Berat volume butiran padat (gr/cm³)

η = Kekentalan air absolut (gr.det/cm²)

D = Diameter butiran tanah (mm)

Selanjutnya untuk perhitungan diameter efektif (D) butir tanah,

digunakan rumus berikut:

$$k = \sqrt{\frac{18 \times \mu}{(\gamma s - \gamma w).g}}.$$
(2.2)

$$D = k \times \sqrt{\frac{Zr}{t}}...(2.3)$$

Dengan keterangan:

μ = Viskositas air pada suhu percobaan (g.det.cm-²)

γw = Berat volume air pada suhu percobaan (gr/cm³)

 γs = Berat volume butir (gr/cm³)

g = Percepatan gravitasi (gr/cm³)

D = Diameter butir (cm)

Zr = Jarak permukaan campuran (suspensi) ke pusat volume hidrometer (ada tabel untuk ini)

t = Waktu (menit)

Dengan Harga k didapat dari tabel berikut :

Tabel 2.2 Tabel penentuan harga k untuk Gs yang berbeda

Т	Specific gravity of soils								
Ι΄.	2.45	2.5	2.55	2.6	2.65	2.7	2.75	2.8	2.85
16	0.0151	0.01505	0.01481	0.01457	0.01435	0.01414	0.01349	0.01374	0.01356
17	0.01511	0.01488	0.01462	0.01439	0.01417	0.01396	0.01376	0.01356	0.01338
18	0.01492	0.01467	0.01443	0.01421	0.01399	0.01378	0.01359	0.01339	0.01321
19	0.01474	0.01449	0.01425	0.01403	0.01382	0.01361	0.01342	0.01323	0.01305
20	0.01456	0.01431	0.01408	0.01386	0.01365	0.01344	0.01325	0.01307	0.01289
21	0.01438	0.01414	0.01391	0.01369	0.01348	0.01328	0.01309	0.01291	0.01273
22	0.01421	0.01397	0.01374	0.01353	0.01332	0.01312	0.01294	0.01276	0.01258
23	0.01404	0.01381	0.01358	0.01337	0.01317	0.01297	0.01279	0.01261	0.01243
24	0.01388	0.01365	0.01342	0.01321	0.01301	0.01282	0.01264	0.01246	0.01229
25	0.01372	0.01349	0.01327	0.01306	0.01286	0.01267	0.01249	0.01232	0.01215
26	0.01357	0.01334	0.01312	0.01292	0.01272	0.01253	0.01235	0.01218	0.01201
27	0.01342	0.01319	0.01297	0.01277	0.01258	0.01239	0.01221	0.01204	0.01188
28	0.01327	0.01304	0.01283	0.01264	0.01244	0.01255	0.01208	0.01191	0.01175
29	0.01312	0.0129	0.01269	0.01249	0.0123	0.01212	0.01195	0.01178	0.01162
30	0.01298	0.01276	0.01256	0.01236	0.01217	0.01199	0.01182	0.01165	0.01149

(Sumber: SNI 03-3423-1994)

Tabel 2.3 Tabel faktor koreksi untuk Gs yang berbeda

Spesific Grafity	Correction Factor (∝)		
2.85	0.96		
2.8	0.97		
2.75	0.98		
2.7	0.99		
2.65	1.00		
2.6	1.01		
2.55	1.02		
2.5	1.03		
2.45	1.05		

(Sumber: SNI 03-3423-1994)

Tabel 2.4 Tabel penentuan harga Zr untuk R yang berbeda

Hydrometer 152 H							
Actual	Effective	Actual	Effective	Actual	Effective		
Hydrometer	Depth	Hydrometer	Depth	Hydrometer	Depth		
Reading	L (cm)	Reading	L (cm)	Reading	L (cm)		
0	16,3	21	12,9	42	9,4		
1	16,1	22	12,7	43	9,2		
2	16	23	12,5	44	9,1		
3	15,8	24	12,4	45	8,9		
4	15,6	25	12,2	46	8,8		
5	15,5	26	12	47	8,6		
6	15,3	27	11,9	48	8,4		
7	15,2	28	11,7	49	8,3		
8	15	29	11,5	50	8,1		
9	14,8	30	11,4	51	7,9		
10	14,7	31	11,2	52	7,8		
11	14,5	32	11,1	53	7,6		
12	14,3	33	10,9	54	7,4		
13	14,2	34	10,7	55	7,3		
14	14	35	10,6	56	7,1		
15	13,8	36	10,4	57	7		
16	13,7	37	10,2	58	6,8		
17	13,5	38	10,1	59	6,6		
18	13,3	39	9,9	60	6,5		
19	13,2	40	9,7				
20	13	41	9,6				

(Sumber: SNI 03-3423-1994)

Prosentase yang lewat (N) dapat dihitung dari :

$$N = \frac{(R - Ra)}{W} \times \alpha \times 100 \% \tag{2.4}$$

Dengan keterangan:

R = Pembacaan skala Hidrometer dalam suspensi.

Ra = Pembacaan skala Hidrometer dalam air.

W = Berat butir/tanah kering yang lolos saringan No. 200.

 α = Faktor Koreksi.

Presentase yang sebenarnya (N') dicari dengan :

 $N' = N \times (Wc/Ws)$(2.5)

- = N x (% lolos saringan No.200)/100
- = N x (N sisa dari sieve analysis)

Dengan keterangan:

Wc = Berat tanah kering yang lewat saringan no.200.

Ws = Berat total dari tanah kering yang digerakkan pada perhitungan pada analisis saringan.

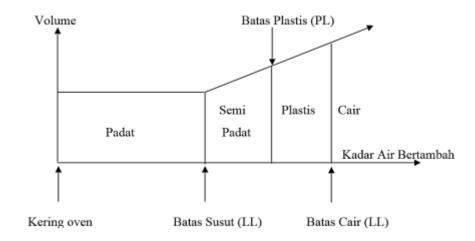


Gambar 2.2 Hidrometer, Tabung silinder, dan Mechanical stirrer (Sumber : ASTM ASTM D7928-16)

2.3 Atterberg Limit

Pada tahun 1900, seorang ilmuwan dari Swedia bernama Atterberg mengembangkan suatu metode untuk menjelaskan sifat konsistensi tanah berbutir halus pada kadar air yang bervariasi. Bilamana kadar airnya sangat tinggi, sifat campuran tambah dan air akan menjadi sangat lembek seperti cairan. Oleh karena itu, atas dasar yang dikandung tanah, tanah dapat dipisahkan kedalam empat keadaan dasar, yaitu: padat, semi padat, plastis dan cair. Perubahan kadar air dari maksimum ke minimum atau sebaliknya akan mengalami 4 fase/keadaan yang dikemukakan oleh A. Atterberg. Batas-batas fase ini disebut sebagai batas

konsistensi Atterberg yang ditunjukkan oleh kandungan kadar airnya pada masingmasing batas tersebut. (Braja M.das, 1993). Plastisitas merupakan kemampuan suatu tanah untuk mengalami deformasi yang tidak dapat dipulihkan pada volume konstan tanpa retak atau retak (McBride, 2002). LL dan PI digunakan dalam survei tanah untuk menafsirkan tanah sebagai klasifikasi teknis dan tujuan rekayasa lainnya. Batas Atterberg penting untuk mengklasifikasikan material tanah yang kohesif dan berguna untuk menafsirkan tanah untuk kekuatan geser, daya dukung, kompresibilitas, dan potensi pengembangan (McBride, 2002). Batas cair (Liquid Limit), didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis. Batas Plastis (Plastic Limit), didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika di gulung. Batas susut (shrinkage Limit), didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanahnya.(Hardiyatmo,1992)



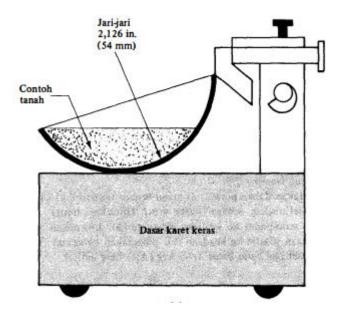
Gambar 2.3 Batas batas Atterberg

(Sumber : Braja M,Das)

2.3.1 Batas Cair (Liquid Limit, LL)

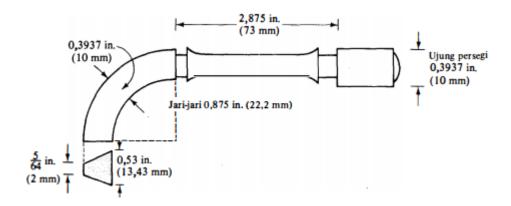
Batas cair adalah harga kadar air suatu tanah pada batas antara keadaan cair dan plastis, atau dengan perkataan lain adalah harga kadar air minimum dimana tanah masih berada dalam keadaan cair, atau mulai mengalir karena beratnya sendiri. Untuk melakukan pengujian, prosedur didasarkan pada kode tertentu, yaitu SNI 03-1967-1990: Metode Pengujian Batas Cair Dengan Alat Casagrande dan ASTM D4318-10: Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.

Berdasarkan percobaan dengan menggunakan mangkuk Cassagrande, maka nilai batas cair adalah kadar air pasta tanah saat dicapai ketukan mangkuk Cassagrande 25 kali, dimana celah standar yang dibentuk menutup sepanjang 12,7 mm dalam 25 kali ketukan sangatlah sulit didapatkan. Mangkok kuningan dapat diangkat dan dijatuhkan di atas bantalan karet keras dengan sebuah pengungkit eksentris dijalanka oleh suatu alat pemutar. Untuk melakukan uji batas cair, pasta tanah diletakkan di dalam mangkok kuningan kemudian di gores tepat di tengahnya dengan menggunakan alat penggores standar. Dengan menjalankan alat pemutar, mangkok kemudian dinaik-turunkan dengan ketinggian 0,3937 in (10 mm). Pengujian akan lebih baik dilakukan paling sedikit empat kali pada tanah yang sama tetapi dengan kadar air yang berbeda-beda sehingga jumlah ketukan N, yang dibutuhkan untuk menutup goresan bervariasi antara 10 sampai 40 tumbukan.



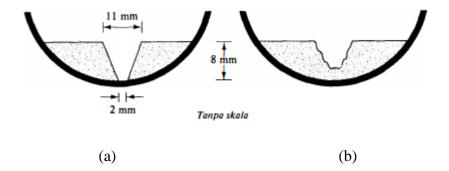
Gambar 2.4 Alat untuk uji batas cair

(Sumber: Braja M,Das)



Gambar 2.5 Alat untuk Menggores

(Sumber: Braja M,Das)



Gambar 2.6 (a) contoh tanah sebelum diuji dan (b) contoh tanah setelah diuji (Sumber : Braja M,Das)

Rumus untuk mengetahui kadar air:

$$Wc = \frac{(W2 - W3)}{(W3 - W1)} \times 100 \%$$
 (2.6)

W2-W3 = Berat air

 W_3 - W_1 = Berat tanah kering

Menentukan batas cair:

$$LL = w \left(\frac{N}{25}\right)^{o} \cdot 121$$
....(2.7)

Dengan keterangan:

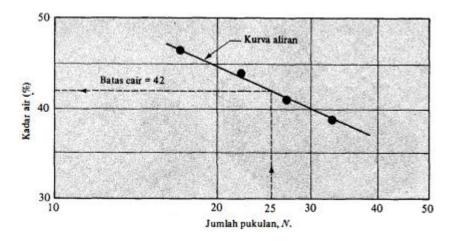
w = Kadar air (%)

N = Jumlah ketukan

Dalam menentukan batas cair dilakukan tahapan sebagai berikut :

- Hasil-hasil yang diperoleh berupa jumlah pukulan dan kadar air yang bersangkutan kemudian digambarkan dalam bentuk grafik. Jumlah pukulan sebagai sumbu mendatar dengan skala logaritma sedang besarnya kadar air sebagi sumbu tegak dengan skala biasa.
- 2. Buatlah garis lurus melalui titik-titik itu; jika ternyata titik-titik yang diperoleh tidak terletak pada satu garis lurus, maka buatlah garis lurus melalui titik-titik berat titiktitik tersebut; tentukan besarnya kadar air pada jumlah pukulan 25 dan kadar air inilah yang merupakan batas cair (liquid limit) dari benda uji tersebut.

3. Untuk memperoleh hasil yang teliti, maka jumlah pukulan diambil 2 titik di atas 25 pukulan dan 2 titik dibawah 25 pukulan, sehingga diperoleh 4 titik.



Gambar 2.7 Kurva aliran untuk penentuan batas cair lempung berlanau (Sumber: Braja M,Das)

Dari grafik diatas diketahui batas cair tanah sebesar 42%. Hal ini berarti tanah akan berubah karakternya menjadi cair apabila memiliki kadar air lebih dari 42%. Sampel tanah dari grafik diatas mempunyai batas cair yang tinggi.

2.3.2 Batas Plastis (*Plastic Limit*, PL)

Batas plastis adalah harga kadar air pada batas antara keadaan plastis dan semi solid, atau dengan kata lain harga kadar air pada batas dimana tanah masih mudah dibentuk. Batas plastis dinyatakan dalam persen, dimana tanah apabila di gulung sampai dengan diameter 0,125 in (3,2 mm) menjadi retak-retak rambut. Untuk melakukan pengujian, prosedur didasarkan pada kode tertentu ASTM D4318-10: Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.

Dengan menggunakan rumus:

$$PL = Wc \% = \frac{(W2 - W3)}{(W3 - W1)} \times 100 \%$$
 (2.8)

W2-W3 = Berat air

W3-W1 = Berat tanah kering

2.3.3 Batas Susut (Shrinkage Limit, SL)

Batas susut adalah harga batas kadar air pada batas antara keadaan semi padat, atau nilai batas kadar air dimana volume tanah tidak mengalami perubahan akibat berkurangnya kadar air tanah. Suatu tanah akan menyusut apabila air yang dikandungnya secara perlahan-lahan hilang dalam tanah. Dengan hilangnya air secara terus-menerus, tanah akan mencapai suatu keseimbangan dimana penambahan kehilangan air tidak akan mencapai suatu keseimbangan dimana penambahan kehilangan air tidak akan menyebabkan perubahan volume. Kadar air, dinyatakan dalam persen, dimana perubahan volume suatu massa tanah berhenti didefinsikan sebagai batas susut. Batas susut dapat ditentukan dengan cara pasta tanah basah, sisa percobaan batas cair dicetak dengan mangkok kecil (Shrinkage dish) yang diketahui volumenya, ditimbang beratnya (W1), kemudian dikeringkan dalam oven sampai beratnya kering dan ditimbang (W2). Volume kering (V2) ditentukan dengan bantuan air raksa. Contoh tanah yang sudah dikeringkan tersebut dicelupkan kedalam air raksa, maka volume air raksa yang dipindahkan sama dengan volume tanah tersebut. Air raksa yang tumpah dikumpulkan dan ditimbang maka.

$$V2 = V$$
 air raksa = $\frac{berat \ air \ raksa \ yang \ tumpah}{\gamma \ air \ raksa}$

Untuk menghitung SL sebagai berikut:

Batas susut (SL) = W0 -
$$\frac{V0 - Vs}{Ws} \times 100 \%$$
....(2.9)

Dengan keterangan:

 $W_0 = Kadar air (\%)$

 $V_0 = V_0 = V_0 = v_0$

Vs = Volume akhir (cm³)

Ws = Berat tanah kering (gr)

Untuk melakukan pengujian, peralatan dan prosedur didasarkan pada kode tertentu, yaitu ASTM D4318-10: *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*.

2.3.4 Indeks Plastisitas

Indeks plastisitas adalah selisih antara batas cair dan batas plastis. Indeks plstisitas merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis, karena itu indeks plastis menunjukkan sifat keplastisan tanahnya. Jika tanah mempunyai interval kadar air daerah plastis yang kecil maka keadaan ini disebut dengan tanah kurus sebaliknya jika tanah mempunyai interval kadar air daerah plastis besar disebut tanah gemuk.

Indeks plastisitas (Plasticy Index, PI) dapat diperoleh dari nilai LL dan PL yaitu daerah dimana tanah tersebut berada dalam keadaan plastis, dan nilainya adalah selisih dimana tanah tersebut berada dalam keadaan plastis, dan nilainya adalah selisih antara kadar air batas cair dan batas plastis.

$$PI = LL - PL$$
....(2.10)

Dengan keterangan:

IP = Index plastisitas

LL = Batas cair

PL = Batas Plastis

Tabel 2.5 Nilai indeks plastisitas dengan macam tanah

PI	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
0	Non Platis	Pasir	Non Kohesi
< 7	Plastis Rendah	Lanau	Kohesi Sebagian
7 s/d 17	Plastis Sedang	Lempung berlanau	Kohesi
> 17	Plastis Tinggi	Lempung	Kohesi

(Sumber: Hardiyatmo, He, 1955, Mekanika Tanah 1)

2.3.5 Indeks Likuiditas

Merupakan konsistensi relatif dari tanah berbutir halus dalam keadaan asli dapat didefinisikan dengan proporsi yang disebut sebagai indeks likuiditas. Indeks likuiditas (LI) digunakan untuk meningkatkan kadar air alami dari sampel tanah hingga batasnya. Ini dapat dihitung sebagai rasio perbedaan antara kadar air alami, batas plastis, dan batas cair:

$$LI = \frac{W - PL}{LL - PL} \qquad (2.11)$$

di mana W adalah kadar air alami.

Indeks likuiditas mengukur kadar air tanah relatif terhadap plastisitas, sehingga nilainya 0,0 pada batas plastis dan 1,0 pada batas cair. Jika suatu tanah memiliki kadar air alami dan batas cair dengan nilai yang sama, indeks likuiditas akan menjadi 1. Jika kadar air alami tanah kurang dari batas cair, tetapi lebih dari batas plastis, indeks likuiditas akan lebih kecil dari 1. Untuk tanah seperti tanah liat sensitif, kadar air alami mungkin lebih besar dari batas cair dan nilai *LI* akan melebihi 1 dalam kondisi tersebut. Deposit tanah yang sangat terkonsolidasi memiliki kandungan kelembaban alami, yang mungkin kurang dari batas plastis.

Jika tanah memiliki nilai indeks likuiditas kurang dari nol, tanah akan berperilaku seperti rapuh atau hancur berkeping-keping. Jika nilai indeks likuiditas sama dengan nol, maka tanah akan berperilaku mirip dengan bahan plastik. Misalkan nilai *LI* akan melebihi satu, tanah akan mengalir mirip cairan dan struktur partikel tanah akan runtuh.

2.4 Karakteristik Kandungan Clay dan Silt

Ukuran dari partikel tanah yang begitu beragam dan juga bervariasi. Umunya dapat diklasifikasikan sebagai kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*) atau lempung (*clay*), tergantung pada ukuran partikel yang paling dominan pada tanah tersebut.

Tabel 2.6 Batasan ukuran golongan tanah

Nama golongan	Ukuran butiran (mm)					
	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung		
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	>2	2 - 0,06	0,06 - 0,002	<0,002		
U.S. Department of Agriculture (USDA)	>2	2 - 0,05	0,05 - 0,002	<0,002		
American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)	76,2 – 2	2 - 0,075	0,075 = 0,002	<0.002		
Unified Soil Classification System (U.S. Army Corps of Engineers, U.S. Bureau of Reclamation)	76,2 - 4,75	4,75 - 0,075	Halus (yaitu lanau dan lempung) < 0,0075.			

(Sumber : Braja M Das)

Kerikil (*gravels*) adalah kepingan-kepingan dari batuan yang kadang-kadang juga mengandung partikel-partikel mineral quartz, feldspar dan mineral-mineral lain, Diameter butiran > 5 mm.

Pasir (sand) sebagian besar terdiri dari mineral quartz dan feldspar. Butiran dari mineral yang lain mungkin juga masih ada pada golongan ini , Diameter butiran 0,0075 - 5,0 mm.

Lanau (*silt*) sebagian besar merupakan fraksi mikroskopis (berukuran sangat kecil) dari tanah yang terdiri dari butiran-butiran quartz yang sangat halus, dan sejumlah partikel-partikel berbentuk lempengan-lempengan pipih yang merupakan pecahan dari mineral-mineral mika, Diameter butiran 0,002 – 0,0075 mm.

Lempung (*clays*) sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopis dan submikroskopis (tidak dapat dilihat dengan jelas bila hanya dengan mikroskopis biasa) yang berbentuk lempengan-lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika. Lempung didefinisikan sebagai golongan partikel yang berukuran kurang dari 0,002 mm (= 2 mikron). Jika ditinjau dari mineraloginya, lempung terdiri dari berbagai mineral penyusun, antara lain mineral lempung (*kaolinite, montmorillonite* dan *illite*).

1. Kaolinite

Kaolinite merupakan hasil pelapukan sulfat atau air yang mengandung karbonat pada temperatur sedang. Warna *kaolinite* murni umumnya putih, putih kelabu,

kekuning-kuningan atau kecoklat-coklatan. *Kaolinite* disebut sebagai mineral lempung satu banding satu (1:1). Mineral *kaolinite* berwujud seperti lempengan-lempengan tipis, masingmasing dengan diameter 1000 Å sampai 20000 Å dan ketebalan dari 100 Å sampai 1000 Å dengan luasan spesifik per unit massa \pm 15 m2/gr.

2. Montmorillonite

Montmorillonite disebut juga mineral dua banding satu (2:1) karena satuan susunan kristalnya terbentuk dari susunan dua lempeng silika tetrahedral mengapit satu lempeng alumina oktahedral ditengahnya. Karena struktur inilah Montmorillonite dapat mengembang dan mengkerut menurut sumbu C dan mempunyai daya adsorbsi air dan kation lebih tinggi. Ukuran unit massa sangat besar, dapat menyerap air dengan sangat kuat, mudah mengalami proses pengembangan.

3. *Illite*

Mineral *illite* mempunyai hubungan dengan mika biasa, sehingga dinamakan pula *hidrat—mika*. *Illite* memiliki formasi struktur satuan kristal, tebal dan komposisi yang hampir sama dengan montmorillonite. Perbedaannya ada pada: Pengikatan antar unit kristal terdapat pada kalium (K) yang berfungsi sebagai penyeimbang muatan, sekaligus sebagai pengikat, Terdapat ± 20 % pergantian silikon (Si) oleh aluminium (Al) pada lempeng tetrahedral, struktur mineralnya tidak mengembang sebagaimana *montmorillonite*.

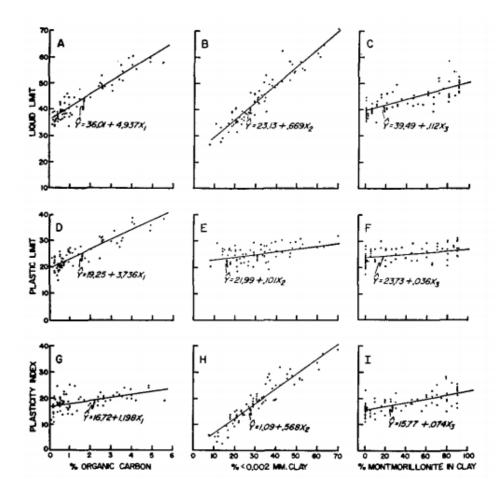
Substitusi dari kation-kation yang berbeda pada lembaran oktahedral akan mengakibatkan mineral lempung yang berbeda pula. Apabila ion-ion yang disubstitusikan mempunyai ukuran yang sama disebut *ishomorphous*. Bila sebuah anion dari lembaran oktahedral adalah *hydroxil* dan dua per tiga posisi kation diisi oleh aluminium maka mineral tersebut disebut *gibbsite* dan bila magnesium disubstitusikan kedalam lembaran aluminium dan mengisi seluruh posisi kation, maka mineral tersebut disebut *brucite*. Belum tentu tanah dengan ukuran partikel lempung tersebut juga mengandung mineral-mineral lempung. Dari segi mineral (bukan ukurannya), yang disebut t anah lempung (dan mineral lempung) ialah yang mempunyai partikel-partikel mineral tertentu yang "menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air" (Grim, 1953).

2.5 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini berdasarkan jurnal-jurnal terdahulu yang telah di publikasikan. Berikut diantaranya:

1. Relationships of Atterberg Limits to Some Other Properties of Illinois Soils

Penyusun pada jurnal ini yaitu R.T.ODELL, T. H. THOBNBUEN, dan L. J. McKENZiE, jurnal ini dipublikasikan pada tahun 1960, dengan metodologi yang dilakukan yaitu penelitian ini dilakukan dalam 23 seri tanah dan sebanyak 26 profil tanah. Tanah ini sangat bervariasi dalam karakteristiknya. Penentuan untuk masingmasing tanah di atas dipelajari, kecuali pada beberapa sampel yang beberapa datanya kurang, Distribusi ukuran partikel, kapasitas pertukaran kation, dan kandungan karbon organik ditentukan oleh anggota staf Departemen Agronomi. Tes Atterberglimit dilakukan oleh anggota staf Departemen Teknik Sipil. Batas cair ditentukan oleh Metode Uji Tentatif ASTM, Batas plastis dan indeks plastisitas tanah ditentukan sesuai dengan Metode Uji Tentatif ASTM, Sampel tanah termasuk bahan mulai dari tinggi ke rendah dalam bahan organik, tekstur sangat kasar hingga sangat halus, asam berkapur dalam reaksi, dan dari glasial yang dominan illitic sampai ke montmorillonitic loess. Kisaran sifat-sifat sampel tanah yang diteliti juga ditunjukkan oleh batas cair dan indeks plastisitasnya. Dalam penelitian ini, korelasi dibuat antara masing-masing batas Atterberg (batas cair, batas plastis, dan indeks plastisitas) sebagai variabel independen dan kombinasi.



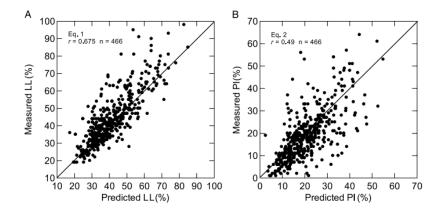
Gambar 2.8 Hubungan bersih antara batas Atterberg dan kandungan karbon organik, <0,002-mm. tanah liat, dan montmorillonit di tanah liat terpisah.

Dari gambar 2.8 dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan linear antara persentase kandungan clay terhadap parameter hasil uji atterberg. Pada gambar 2.8 terlihat bahwa untuk kandungan *clay* 20% nilai indeks plastisitas berkisar 8-15%, nilai batas plastis 18-28%, batas liquid 31-41%.

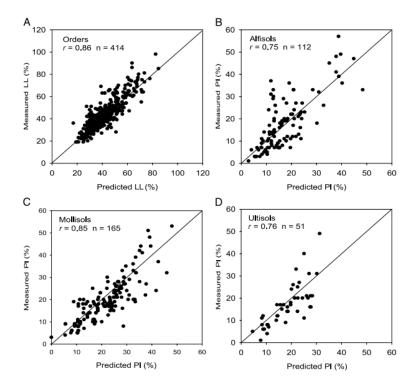
2. Linear Regression Models to Estimate Soil Liquid Limit and Plasticy Index From Basic Soil Properties.

Penyusun pada jurnal ini yaitu Cathy A. Seybold, Moustafa A. Elrashidi, dan Robert J. Engel, jurnal ini dipublikasikan pada tahun 2008, dengan metodologi yang dilakukan yaitu dengan mengevaluasi sifat dasar tanah sebagai variabel prediktor potensial. Semua penentuan berasal dari sampel tanah kering, dihancurkan, dan diayak. Batas cair dan PL ditentukan oleh American Society for Testing dan Material pada basis kurang dari 0,4 mm jika PL lebih besar dari LL, maka tanah

dieliminasi dari kumpulan data. Selain itu, sampel selanjutnya dibatasi untuk yang menunjukkan beberapa tingkat plastisitas. Dua stratifikasi data yang berbeda dievaluasi sebagai cara untuk meningkatkan akurasi estimasi model. Model pertama kali dikembangkan dari seluruh kumpulan data, dan kemudian dikembangkan dari strata ordo taksonomi atau keluarga mineralogi. Model regresi paling cocok (dengan R2 tertinggi dan akar kuadrat rata-rata kesalahan (RMSE)) dikembangkan. Korelasi Pearson dilakukan untuk menentukan colinearity variabel dan untuk membantu dalam pemilihan variabel prediktif. Model dievaluasi dengan membandingkan nilai LL atau PI yang diukur dan yang diprediksi.



Gambar 2.9. Sebaran plot diukur versus diprediksi (A) LL dan (B) PI. Persamaan prediksi dikembangkan menggunakan seluruh set data tanpa stratifikasi data (Persamaan. 1 dan Persamaan. 2). Garis kemiringan satu-ke-satu ditandai pada plot dengan garis padat.

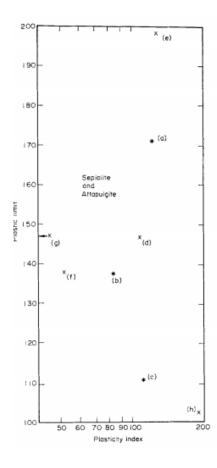


Gambar 2.10 Plot sebar dari LL atau PI terukur versus yang diprediksi untuk (A) Order (LL), (B) Alfisol (PI), (C) Molisol (PI), dan (D) Ultisols (PI) termasuk Entisol, Aridisols, Alfisols, Mollisols, Inceptisols, Oxisols, dan Ultisols. Garis kemiringan satu-ke-satu ditandai pada plot dengan garis padat.

Dengan kesimpulan hasil yang didapat yaitu persamaan prediksi LL dan PI dikembangkan dari seluruh rentang tanah yang digunakan dalam penelitian ini. Keakuratan memprediksi LL dan PI ditingkatkan dengan stratifikasi data yang diatur oleh urutan taksonomi. Memprediksi LL dan PI dari sifat-sifat tanah yang tersedia menghasilkan sebagian besar sehingga beberapa persamaan prediksi yang kuat. Persamaan prediksi PI yang lemah menghasilkan untuk strata Andisols. Beberapa model yang lebih sesuai akan berguna dalam Survei Tanah ketika tidak ada data yang diukur atau cara yang lebih baik untuk memperkirakan LL dan PI yang tersedia. Stratifikasi data lainnya mungkin diperlukan sebagai langkah berikutnya dalam meningkatkan prediksi LL atau PI.

3. A Plasticity Chart as aid to the identification and assessment of industrial clays.

Penyusun pada jurnal ini yaitu J. A. BAIN, jurnal ini dipublikasikan pada tahun 1971, dengan metodologi yang dilakukan yaitu penelitian ini dilakukan dengan mengelompokkan batas atterberg untuk jenis mineral lempung seperti : lempung, montmorillonit, natrium montmorillonit (bentonit), Montmorillonitkalsium, kaolinit, plastik kaolin, halloysite. Sample tanah diambil dari berbagai tempat di Dunia, lalu pengelompokkan disesusaikan dengan hasil uji atterberg berdasarkan nilai batas cair, batas plastis dan indeks plastisitasnya. Setelah itu membuat bagan plastisitas unutk mengidentifikasikan kelompok dari berbagai jenis mineral lempung tersebut.

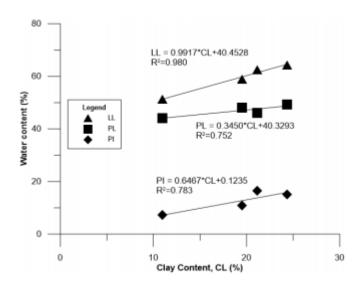


Gambar 2.11 Lokasi ~ piolite dan attapulgite pada grafik identifikasi. (a) Sepiolite, Somalia. (B) Sepiolite, Vallecas, Spanyol. (c) Sepiolite, Danau Amboseli, Tanzania. (d) Atapulgit mentah, Torrejon el Rubio, Spanyol. (e) Fraksi tanah liat dari (d). (f) Tanah dan attapulgite rahasia, Afrika Selatan. (g) Attapulgite shale, Somalia. (h) Tanah dan attapulgite rahasia, Attapulgus, AS.

Dengan kesimpulan hasil yang didapat yaitu hasil sejauh ini menunjukkan bahwa komponen montmorillonite memiliki kurang berpengaruh pada batas keseluruhan lempung daripada dalam campuran mekanis yang tersusun dari dua mineral dalam perbandingan berat yang sama. Jadi, meski merupakan lapisan campuran lempung illite-montmorillonite dari Monmouthshire, dari devonian yang lebih rendah, dihasilkan indeks plastisitas yang cukup tinggi dari 61, penambahan 2% natrium karbonat meningkatkan ke 63.

4. Characterization of reconstituted Malaysian kaolinite silts with varying clay contents.

Penyusun pada jurnal ini yaitu Wong S.T.Y (1) dan Ong D.E.L.(2). Jurnal ini dipublikasikan pada tahun 2016, dengan metodelogi yang dilakukan menggunakan 4 sampel tanah tanah lempung kaolinit. Kaolinit ditambang dari Negara Bagian Perak di Malaysia pada kedalaman antara 4,5 m dan 6,0 m di bawah tanah. Sifat dan perilaku lumpur kaolinit dengan berbagai kandungan tanah liat telah dipelajari dalam hal distribusi ukuran partikel, batas Atterberg dan tes triaksial isotropik undrained konsolidasi (CIU). Sampel kaolinit yang direkonstitusi sangat ideal dalam penelitian ini.



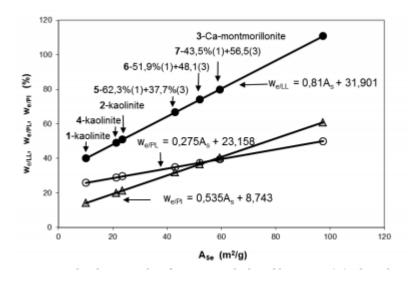
Gambar 2.12. Hubungan linear antara kandungan *clay* dengan LL, PL dan PI dari sampel kaolinit

Dengan memahami sifat fisik dan mekanis dari lumpur kaolinit, hasilnya membentuk data dasar untuk studi tanah bantaran sungai Sarawak, yang didominasi

oleh lumpur lunak plastisitas tinggi yang serupa. Dari gambar 2.12 dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan linear antara LL, PL dan PI sampel kaolinit yang berbanding lurus dengan kandungan *clay*.. Pada gambar 2.12 terlihat bahwa untuk kandungan *clay* 20% nilai indeks plastisitas berkisar 15-20%, nilai batas plastis 39%-54%, batas cair 52%-72%.

5. Atterberg Limits in Relation to Other Properties of Fine-Grained Soils.

Penyusun pada jurnal ini yaitu Bojana Dolinar dan Stanislav Skrabl. Jurnal ini dipublikasikan pada tahun 2013, dengan melakukan penelitian tentang beberapa kemungkinan untuk penggunaan batas Atterberg dalam memprediksi sifat-sifat tanah lainnya untuk tanah yang tidak mengembang dan mengembang. Ada banyak penelitian tentang penggunaan batas Atterberg dalam mekanika tanah; Namun, hasilnya sangat bervariasi. Batas Atterberg mewakili kandungan air di mana konsistensi tanah berbutir halus ditransformasikan dari keadaan plastis ke keadaan cair, pada LL (tergantung pada metode pengukuran) dan sekitar 100 kali lebih besar pada PL. Kuantitas air pada batas Atterberg dan untuk sifat fisik lainnya tergantung pada faktor yang sama, sebagian besar komposisi, seperti jenis mineral, jumlah masing-masing mineral, bentuk dan ukuran distribusi partikel dan komposisi air pori.

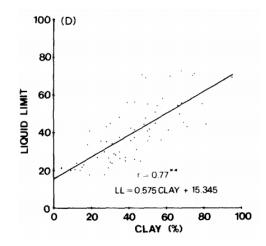


Gambar 2.13. Grafik kuantitas air pori ditambah air permukaan luar pada batas cair We|LL (%), batas plastik We|PL (%) dan indeks plastisitas We|PI (%) sebagai fungsi dari luas permukaan spesifik ASe (m2/g) untuk mineral lempung (p=1)

Hasilnya temuan terbaru yang menunjukkan bagaimana komposisi tanah mempengaruhi kadar air pada batas cair dan plastik. Ditemukan bahwa jumlah air pada batas Atterberg sebagian besar tergantung pada ukuran dan porsi mineral lempung dalam tanah yang tidak mengembang, sedangkan pada tanah yang mengembang juga tergantung pada jumlah air yang saling bertautan, yang sebagian besar tergantung pada jenis air. Pada gambar 2.13 terlihat bahwa untuk kandungan *clay* 20% nilai indeks plastisitas berkisar 10%-30%, nilai batas plastis 18%-32%, batas cair 40%-58%.

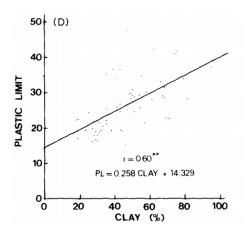
6. Shrinkage and Atterberg Limits in Relations to other Properties of Principal Soil types in Israel.

Penyusun pada jurnal ini yaitu Smith, C.W.(1), Hadas, A.(2), Dan, J.(3) dan Koyumdjisky, H.(4). Jurnal ini dipublikasikan pada tahun 1985, dengan metodelogi yang dilakukan menggunakan sampel tanah yang dikumpulkan dari 32 lokasi di seluruh Israel. Hubungan korelatif antara penyusutan, batas Atterberg (cair dan plastis) dan sifat fisik dan kimia telah ditetapkan. Korelasi yang kuat dicatat antara sifat mekanik dan karakteristik yang mencerminkan mineralogi dan tekstur kandungan clay, yaitu kapasitas pertukaran kation, luas permukaan spesifik, kelembaban higroskopis, dan kandungan clay. Bahan organik berkorelasi dengan batas cair dan plastis, kalsium karbonat juga memiliki sedikit pengaruh pada batas Atterberg. Sebuah studi korelatif di mana sifat-sifat tanah mekanis dari jenis-jenis tanah utama akan terkait dengan sifat-sifat kimia dan fisiknya sehingga tampak bisa digunakan. Batas Atterberg ditentukan oleh kadar air yang diperlukan untuk menghasilkan derajat konsistensi tertentu yang diukur di laboratorium dan ditentukan sesuai dengan standar A.S.T.M. metode (A.S.T.M., 1964). Luas permukaan spesifik diukur dengan retensi etilen glikol mengikuti metode yang mirip dengan Bower dan Gschwend (1952) dan Distribusi ukuran partikel ditentukan dengan metode hidrometer menurut Day (1965).



Gambar 2.14. Hubungan linear antara kandungan clay dengan batas cair.

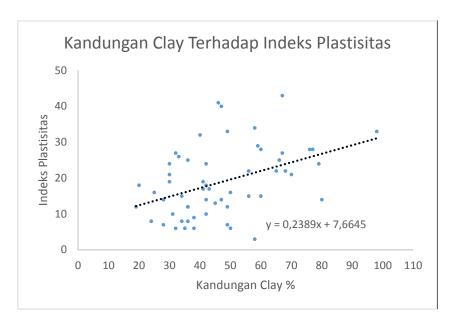
Dari gambar 2.14 dapat diketahui bahwa hubungan yang signifikan juga ada antara batas cair dan persentase kandungan *clay*. Hubungan antara kandungan *clay* dan batas cair sangat signifikan meskipun korelasinya tidak terlalu tinggi. Ini diharapkan mengingat sifat mineral tanah liat yang sangat beragam di tanah ini.



Gambar 2.15. Hubungan linear antara kandungan clay dengan batas plastis

Dari gambar 2.15 dapat diketahui bahwa batas plastis sangat berkorelasi dengan semua sifat tanah yang diukur selain dari kalsium karbonat. Korelasi yang lebih rendah tetapi masih signifikan ada dengan persentase kandungan *clay* dan bahan organik. Ini diyakini karena kesalahan eksperimental yang lebih besar yang terlibat dalam penentuan batas plastis seperti yang dilaporkan oleh Farrar dan Coleman (1967). Batas plastis tidak berkorelasi sangat tinggi dengan kandungan *clay* menunjukkan bahwa kandungan mineralogi kandungan *clay* lebih penting daripada jumlah kandungan *clay* dalam korelasi batas plastis dan inipun mendukung

hipotesis bahwa ada hubungan kuat antara mekanik dan fisik dan kimia sifat tanah. Pada gambar 2.14 dan 2.15 terlihat bahwa untuk kandungan *clay* 20% nilai batas plastis 15%-24%, batas cair 18%-36%.



Gambar 2.16. Hubungan linear antara kandungan clay dengan indeks plastisitas

Dari gambar 2.16 Hubungan antara kandungan clay terhadap indeks plastisitas didapatkan dari hasil digitasi gambar grafik 2.14 dan 2.15, diperoleh hubungan antara kandungan clay dan indeks plastisitas berdasarkan data nilai PI = LL - PL. Pada gambar 2.16 terlihat bahwa untuk kandungan clay 20% nilai indeks plastisitas berkisar antara 5% - 18%.