

## ALTERNATIF PENENTUAN BATAS CAIR DAN BATAS PLASTIS DENGAN TIGA VARIASI BERAT KONUS MENGGUNAKAN METODE LEE DAN FREEMAN (2009)

Budijanto Widjaja dan Priscillia Sundayo

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan  
Jln Ciumbuleuit 94 Bandung  
e-mail: geotek.gw@gmail.com, priscilliasundayo@yahoo.com

**Abstract:** For fine soils, the most common laboratory tests are Atterberg limits, i.e. plastic and liquid limits. This paper presents two standards for determining liquid limit: ASTM and British Standards. Both standards use Casagrande cup and fall cone penetrometer tests. In spite of the fact from its advantage and shortcoming, fall cone penetrometer tends the minimum operator mistakes comparing to Casagrande cup. Moreover, a lack for determining plastic limit using by rolling soil samples with three mm in diameter also is caused by operator error. To reduce that human error, Lee and Freeman recommend using fall cone penetrometer to obtain plastic and liquid limits by a combination of two distinct weight of cones. In this research, tests were conducted using two combinations of two different weight of cones. There are 12 remolded samples taken from Java and Madura islands. A combination using cones with single and double standard weight gives a better result that a combination with single and triple standard weight. The contribution of this research at least gives an alternative way to determine plastic and liquid limits using fall cone penetrometer test.

**Keywords:** liquid limit, plastic limit, Lee and Freeman method, fall cone penetrometer, cones variation

**Abstrak:** Untuk penyelidikan tanah geoteknik, umumnya pada tanah butir halus diuji batas-batas Atterberg yaitu berupa batas cair dan batas plastis. Makalah ini menyajikan dua standar pengujian untuk batas cair yaitu standar ASTM dan British. Kedua standar tersebut masing-masing menggunakan *Casagrande cup* dan *fall cone penetrometer*. Di balik kelebihan dan kekurangannya, *fall cone penetrometer* cenderung memberikan nilai kesalahan operator yang lebih rendah dibandingkan dengan *Casagrande cup*. Selain itu, dengan standar untuk menentukan batas plastis juga memiliki kekurangakuratan karena proses penggulungan tanah dengan diameter 3 mm tergantung kepada pengalaman operator. Dengan tujuan untuk mengurangi kesalahan manusia tersebut, Lee dan Freeman mengusulkan penggunaan *fall cone penetrometer test* untuk menentukan batas plastis selain batas cair dengan menggunakan kombinasi dari dua berat konus yang berbeda. Di dalam penelitian ini, pengujian dilakukan dengan menggunakan dua macam kombinasi dua berat konus yang berbeda. Sampel tanah yang diuji adalah sampel *remolded* sebanyak 12 buah yang tersebar lokasi pengambilan sampelnya di Pulau Jawa dan Madura. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan kombinasi konus standar dan konus dengan berat dua kali berat konus standar memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan kombinasi konus standar dan konus dengan tiga kali berat konus standar. Kontribusi penelitian ini sekurang-kurangnya memberikan alternatif lain penentuan batas plastis dan batas cair dengan menggunakan *fall cone penetrometer test*.

**Kata kunci:** batas cair, batas plastis, metode Lee dan Freeman, *fall cone penetrometer*, variasi konus

## PENDAHULUAN

Batas-batas Atterberg umumnya dinyatakan sebagai indeks konsistensi atau batasan kadar air yaitu batas susut (*Shrinkage Limit*), batas plastis (*Plastic Limit*) dan batas cair (*Liquid Limit*). Batas Plastis (*PL*) adalah kadar air terendah di mana tanah mulai bersifat plastis. Sifat plastis ditentukan berdasarkan kondisi di mana tanah yang digulung dengan telapak tangan mulai retak setelah mencapai diameter  $\pm 3$ mm. Batas Cair (*LL*) adalah kadar air tertentu di mana perilaku tanah berubah dari kondisi plastis ke cair. Pada kadar air tersebut tanah mempunyai kuat geser terendah.

Ada dua metode yang secara umum dilakukan untuk menguji batas-batas Atterberg khususnya *LL*, yaitu standar ASTM (*Casagrande cup test*) dan standar British (*fall cone penetrometer test*). Pada standar ASTM (2005), *LL* ditentukan dengan uji Casagrande menggunakan *Casagrande cup*, sedangkan *PL* menggunakan gulungan tanah. Sedangkan *fall cone penetrometer test* dengan Metode Lee dan Freeman (2009) merupakan salah satu metode pengembangan menggunakan alat *fall cone penetrometer* yang dapat sekaligus menentukan *LL* dan *PL* dalam satu pengujian. *Fall cone penetrometer test* cenderung memiliki kesalahan lebih kecil dalam pengerjaannya oleh operator, karena untuk melakukan uji ini operator hanya perlu menyiapkan sampel, menekan tombol, dan membaca penetrasi konus. Oleh karena itu, dalam penelitian ini pengujian dengan alat *fall cone penetrometer* dipilih untuk menjadi metode dalam mengidentifikasi batas-batas Atterberg. Jadi, metode Lee dan Freeman (2009) ini diharapkan dapat mengurangi kesalahan operator di laboratorium khususnya di dalam penentuan *LL* dan *PL*.

## STANDAR ASTM

Untuk menentukan *PL* menggunakan standar ASTM, tanah harus dicampur air sampai homogen kemudian digulung dengan telapak tangan sampai mulai retak setelah mencapai diameter  $\pm 3$ mm. Ada kemungkinan 3 keadaan

yang akan ditemukan. Jika sampel terlalu basah pada diameter 3 mm tanah belum retak, jika tanah terlalu kering sebelum diameter 3 mm maka tanah sudah mulai retak, dan jika kadar air tepat maka saat mencapai 3 mm maka tanah sudah retak. Untuk menentukan *LL* dengan uji *Casagrande Cup*, tanah yang akan diuji dicampur dengan aquades hingga homogen, lalu dimasukkan dalam cawan hingga rata, kemudian dipotong tepat di tengah menggunakan *grooving tools*. Dengan memutar alat Casagrande, mangkok akan naik ke atas lalu turun ke bawah dengan ketinggian 10 mm dan jumlah ketukan dihitung sampai potongan tanah menyatu. Percobaan dilakukan sebanyak lima kali. Hasil percobaan diplot ke dalam grafik hubungan kadar air dan jumlah ketukan. Batas cair diperoleh saat jumlah ketukan ke-25.

Casagrande menyatakan bahwa kesalahan terbesar yang sering terjadi pada uji *LL* disebabkan oleh ketinggian jatuhnya mangkok tidak tepat dan ketidaktepatan dalam pemotongan tanah (Johnston and Strohm, 1968). Kelemahan lainnya dari uji ini meliputi (a) kesulitan membuat alur untuk memisahkan dua bagian, terutama pada tanah dengan plastisitas rendah, (b) kecenderungan bagian untuk meluncur bersama-sama daripada mengalir bersama-sama, dan (c) migrasi air pada tanah yang kembang susutnya besar. Selain itu, jenis tanah dan persiapan tes dapat menyebabkan kesalahan. Winslow dan Gates (1963) menunjukkan bahwa tanah yang mengandung montmorillonite jika dibiarkan kering bahkan ketika periode rehidrasi 24 jam diperbolehkan sebelum pengujian, akan menghasilkan *LL* yang rendah. Casagrande (1932) menyatakan bahwa bahan organik dalam tanah akan memiliki dampak yang besar dalam penentuan nilai *LL*. Warkentin (1961) menyatakan peningkatan konsentrasi garam dalam tanah akan menghasilkan penurunan *LL*.

## STANDAR BRITISH

*Fall cone penetrometer* atau metode penetrasi kerucut digunakan untuk menentukan nilai

dari *LL* dari suatu tanah kohesif. Batas cair dapat ditentukan dari uji *fall cone penetrometer* dengan cara tanah dimasukkan ke dalam cawan yang permukaannya telah diratakan, kemudian konus diatur hingga tepat berada di permukaan tanah dan kemudian konus dijatuhkan selama 5 detik. Pengujian dilakukan pada titik permukaan tanah yang berbeda, di mana hasil penetrasi dan kadar air di plot pada gambar yang menyatakan hubungan kadar air dan penetrasi. Nilai *LL* diperoleh pada saat penetrasi konus sebesar 20 mm.

### METODE LEE DAN FREEMAN (2009)

Metode Lee dan Freeman dengan alat *fall cone penetrometer* merupakan pengembangan dari metode standar British. Metode penetrasi kerucut ini digunakan untuk menentukan nilai dari *LL* dan *PL* dari suatu tanah kohesif secara bersamaan. Langkah pengerjaannya pun hampir serupa. Namun, perbedaan utamanya adalah pada metode ini menggunakan kombinasi dari dua konus dengan berat yang berbeda untuk memperoleh nilai *LL* dan *PL*. Gambar 1 menunjukkan konus yang digunakan memiliki sudut  $30^\circ$  dengan berat 93 g (konus 1, 142,83 g (konus 2), dan 242,96 g (konus 3).

Berikut merupakan langkah-langkah dalam pengujian metode Lee dan Freeman:

1. Siapkan sampel tanah yang telah lolos saringan no.40 kurang lebih 750g.
2. Hitung jumlah aquades yang diperlukan untuk dicampurkan dengan tanah. Setelah diperoleh banyaknya aquades yang diperlukan, sampel tanah yang telah lolos saringan no. 40 dicampurkan dengan aquades menurut perhitungan dan diaduk kembali hingga homogen.



**Gambar 1.** Tiga konus dengan tiga variasi berat

3. Sampel tanah dengan kadar air tertentu dimasukkan ke dalam mold uji hingga seluruh permukaan *mold* tertutup dengan tanah. Permukaan *mold* harus diratakan, kemudian konus diatur hingga tepat berada di permukaan tanah dan kemudian konus dijatuhkan selama 5 detik. Kemudian, dibaca besarnya penetrasi konus ke dalam tanah.
4. Pengujian dilakukan dengan 7 variasi kadar air dengan metode yang sama. Selanjutnya dari 7 variasi kadar air tersebut dapat digambarkan hubungan kadar air dan penetrasi dari 2 berat konus yang berbeda. Penetrasi di bawah 14 mm menggunakan data penetrasi dari konus tidak standar yaitu konus 2 dan 3, sedangkan penetrasi di atas 14 mm menggunakan data penetrasi dari konus standar (konus 1).
5. Dari gambar yang dibuat, diperoleh nilai *PL* yaitu pada saat penetrasi konus sebesar 2 mm dan *LL* pada saat penetrasi konus 20 mm. Seperti ditunjukkan Gambar 2, untuk tanah Banjarnegara, nilai *PL* dan *LL* masing-masing adalah 39.41 dan 64.98 untuk konus 1 dan 2. Dengan metode yang sama untuk konus 1 dan 3, diperoleh nilai *PL* dan *LL* masing-masing adalah 37,12 dan 64,56 (Gambar 3).

### HASIL PENELITIAN

Sampel yang digunakan berjumlah 12 buah terdiri dari 7 sampel tanah terganggu (*disturbed sample*) dan 5 sampel tanah tidak terganggu (*undisturbed sample*). Sampel tanah terganggu merupakan kaolin dan bentonite serta tanah yang berasal dari daerah Banjarnegara, Madura, Parung Ponteng, Lumpur Sidoarjo (Lusi), dan Gedebage. Sedangkan sampel tanah tidak terganggu berada dari satu titik di daerah Rancaekek (RE) dengan kedalaman bervariasi, yaitu 1,5 m – 2 m, 2 m – 2,5 m, 3 m – 3,5 m, 3,5 m – 4 m, dan 4 – 4,5 m. Selain diuji batas-batas Atterbergnya, pada penelitian ini diuji juga berat jenis masing-masing tanah seperti pada Tabel 1.

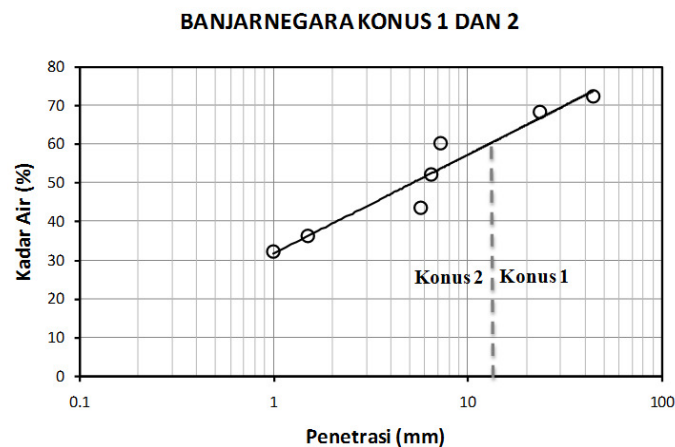
Hasil penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2. Yang memperhatikan perbandingan hasil uji *PL* dan *LL* dengan metode standar ASTM dan metode Lee dan Freeman (2009) dengan alat *fall cone penetrometer* menggunakan konus 1 dan 3.

Pada uji dengan metode ASTM dan British standar menggunakan konus 1 dan 2, perbedaan batas plastis berada dalam rentang 0,05% sampai 14,18%, sedangkan perbedaan batas cair berada pada rentang 0,14% sampai 10,07% seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

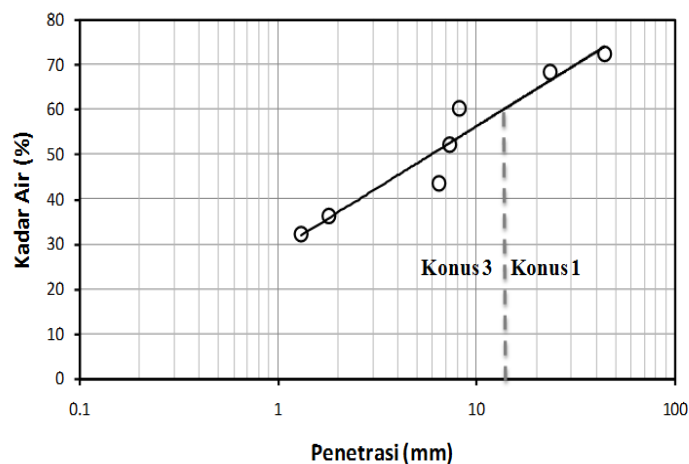
Pada uji dengan metode ASTM dan British standar menggunakan konus 1 dan 3, perbedaan batas plastis dan batas cair masing-masing berada dalam rentang 7,94%-20,35% dan 0,51%-9,97% (Tabel 3)

**Tabel 1.** Hasil uji berat jenis tanah

Tanah	$G_s$
Kaolin	2,665
Bentonite	2,341
Banjar Negara	2,735
Madura	2,709
Parung Ponteng	2,640
Lumpur Sidoarjo	2,858
Rancaekek (1,5 - 2m)	2,826
Rancaekek (2 -2,5 m)	2,889
Rancaekek (3-3,5 m)	2,811
Rancaekek (3,5 - 4 m)	2,901
Rancaekek (4 - 4,5 m)	2,755
Gedebage	2,562



**Gambar 2.** Hasil uji *fall cone penetrometer* pada tanah Banjarnegara menggunakan konus 1 dan 2



**Gambar 3.** Hasil uji *fall cone penetrometer* pada tanah Banjarnegara menggunakan konus 1 dan 3

**Tabel 2.** Perbandingan hasil uji PL dan LL dengan metode ASTM dan Fall Cone Penetrometer menggunakan konus 1 (93 g) dan konus 2 (142,83 g)

Tanah	Standar ASTM		Hasil Uji Fall Cone Penetrometer		Selisih(%)	
	PL	LL	PL*	LL*	PL	LL
	Kaolin	30,47	51,85	26,15	50,48	14,18
Bentonite	57,45	87,03	51,88	86,46	9,70	0,65
Banjarnegara	40,32	64,89	39,41	64,98	2,26	0,14
Madura	20,40	35,92	20,33	37,03	0,34	3,00
Parung Ponteng	34,59	50,04	33,49	55,23	3,18	9,40
Lusi	31,58	67,73	30,73	62,34	2,69	7,96
RE (1,5 - 2m)	38,68	93,55	39,05	93,24	0,95	0,33
RE (2 - 2,5m)	31,33	80,32	31,45	77,54	0,38	3,46
RE (3 - 3,5m)	39,53	74,40	39,80	72,37	0,68	2,73
RE (3,5 - 4m)	32,64	78,54	31,95	76,02	2,11	3,21
RE (4 - 4,5m)	36,59	82,51	36,57	81,29	0,05	1,48
Gedebage	53,28	86,22	52,35	77,54	1,75	10,07

**Tabel 3.** Perbandingan hasil uji PL dan LL dengan metode ASTM dan Fall Cone Penetrometer menggunakan konus 1 (93 g) dan konus 3 (242,96 g)

Tanah	Standar ASTM		Hasil Uji Fall Cone Penetrometer		Selisih(%)	
	PL	LL	PL*	LL*	PL	LL
	Kaolin	30,47	51,85	24,27	50,06	20,35
Bentonite	57,45	87,03	46,40	85,70	19,23	1,53
Banjarnegara	40,32	64,89	37,12	64,56	7,94	0,51
Madura	20,40	35,92	18,64	36,42	8,63	1,37
Parung Ponteng	34,59	50,04	31,35	54,94	9,37	8,92
Lusi	31,58	67,73	27,64	60,98	12,48	9,97
RE (1,5 - 2m)	38,68	93,55	34,12	89,68	11,79	4,14
RE (2 - 2,5m)	31,33	80,32	27,92	76,12	10,88	5,23
RE (3 - 3,5m)	39,53	74,40	36,02	71,75	8,88	3,56
RE (3,5 - 4m)	32,64	78,54	27,69	74,66	15,17	4,94
RE (4 - 4,5m)	36,59	82,51	32,62	79,97	10,85	3,08
Gedebage	53,28	86,22	48,24	85,39	9,46	0,96

## KESIMPULAN

Penentuan batas cair dan batas plastis dapat dilakukan dengan dua metode yaitu metode ASTM dan metode Lee dan Freeman dengan bantuan alat *fall cone penetrometer*.

Pada percobaan ini diperoleh nilai beda hasil uji metode ASTM dan metode Lee dan Freeman. Pada uji metode ASTM dan metode Lee dan Freeman menggunakan konus 1 (93 g) dan konus 2 (142,83 g), perbedaan batas plastis berada dalam rentang

0,05% sampai 14,18%, sedangkan perbedaan batas cair berada pada rentang 0,14% sampai 10,07%. Pada uji metode ASTM dan metode Lee dan Freeman menggunakan konus 1 (93 g) dan konus 3 (242,96 g) perbedaan batas plastis berada dalam rentang 7,94% sampai 20,35%, sedangkan perbedaan batas cair berada dalam rentang 0,51% sampai 9,97%.

Metode Lee dan Freeman ini relatif kurang baik diaplikasikan jika dilakukan dengan

menggunakan konus 1 dan konus 3 (yang memiliki berat hampir 3 kali konus 1), karena perbedaan yang cukup tinggi terhadap standar ASTM. Berbeda dengan hasil yang diperoleh jika dilakukan dengan menggunakan konus 1 dan konus 2 (yang memiliki berat hampir 2 kali konus 1), yang menghasilkan persen beda relatif kecil sehingga metode ini bisa digunakan untuk menentukan batas-batas Atterberg tanah.

#### DAFTAR PUSTAKA

- ASTM (2005). Standard *D 4318 "Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils"*, Annual Book of ASTM.
- Casagrande, A. (1932). "*Research on the Atterberg Limits of Soils*", U.S. Bureau of Public Roads, Vol. 13, No. 8, pp. 121-130.
- Johnston, M. M. and Strohm, W. E., Jr. (1968). "*Results of Second Division Laboratory Testing Program on Standard Soil Samples*", Misc. Paper 3-978, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg MS.
- Lee Jr., Landris T. and Freeman, R. B. (2009). "*Dual-Weight Fall Cone Method for Simultaneous Liquid Limit and Plastic Limit Determination*". Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 135, No. 1, p. 158-161.
- Warkentin, B. P. (1961). "*Interpretation of the Upper Plastic Limit of Clays*", Nature, Vol. 190, pp.287-288.
- Winslow, J. D. and Gates, G. R. (1963). "*Effect of Soil Rehydration on Atterberg Limits*", Mater. Res. Stand, Vol. 3, No. 3, pp. 205-209.