

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah Ekspansif

2.1.1. Pengertian Tanah Ekspansif

Lempung ekspansif memiliki sifat yang khas yakni kandungan mineral ekspansif yang mempunyai kapasitas pertukaran ion sangat tinggi, mengakibatkan lempung ekspansif memiliki potensi kembang susut tinggi, apabila terjadi perubahan kadar air. Pada peningkatan kadar air, tanah ekspansif akan mengembang disertai dengan peningkatan tekanan air pori dan timbulnya tekanan kembang. Bila kadar air berkurang sampai batas susutnya, akan terjadi penyusutan. Sifat kembang susut yang demikian bisa menimbulkan kerusakan pada bangunan (Hardiyatmo, 2006).

Tanah lempung ekspansif yang terdapat diseluruh dunia, pada umumnya berada pada kondisi tidak jenuh selama musim kering, sedangkan kandungan mineral lempung yang tinggi mengakibatkan perubahan volume yang besar, jika tanah mengalami pembasahan. Banyak bangunan yang didirikan di atas tanah lempung ekspansif mengalami kerusakan akibat perubahan volume.

2.1.2 Karakteristik Tanah Ekspansif

Tanah ekspansif memiliki karakteristik yang berbeda dengan jenis tanah pada umumnya, yaitu sebagai berikut:

a. Mineral lempung

Mineral lempung yang menyebabkan perubahan volume umumnya mengandung montmorillonite atau vermiculite, sedangkan illite dan kaolinite dapat bersifat ekspansif bila ukuran partikelnya sangat halus.

Tanah ekspansif ini mengandung mineral Montmorillonite dan Wire. Oleh beberapa pihak, khususnya orang teknik sipil dipandang sebagai sesuatu yang berbahaya. Hal ini disebabkan oleh sifat kembang susutnya yang terlalu besar. Pada umumnya tanah ekspansif merupakan tanah berbutir halus sebagai koloid-koloid yang terdiri dari butiran tanah lempung (2μ) dengan jumlah kandungan lempungnya bervariasi antara 50 % sampai 70 %, dan biasanya mempunyai tekanan kembang yang tinggi bila berinteraksi dengan air.

b. Kimia tanah

Meningkatnya konsentrasi kation dan bertambahnya tinggi valensi kation dapat menghambat pengembangan tanah. Sebagai contoh, kation Mg akan memberikan pengembangan yang lebih kecil dibandingkan dengan Na

c. Plastisitas

Tanah dengan indeks plastisitas dan batas cair yang tinggi mempunyai potensi untuk mengembang yang lebih besar.

d. Struktur tanah

Tanah lempung yang berflokulasi cenderung bersifat lebih ekspansif dibandingkan dengan yang terdispersi.

e. Berat isi kering

Tanah yang mempunyai berat isi kering yang tinggi menunjukkan jarak antar partikel yang kecil, hal ini berarti gaya tolak yang besar dan potensi pengembangan yang tinggi.

2.1.3. Minerologi Tanah Lempung Ekspansif

Tanah Lempung ekspansif mempunyai kandungan dan struktur mineral yang tidak jauh berbeda dengan kandungan tanah lempung pada umumnya. ASTM memberikan batasan bahwa secara fisik ukuran lempung adalah lolos saringan No.200. Untuk menentukan jenis lempung tidak cukup hanya dilihat dari ukuran butirannya saja tetapi dari mineral pembentuknya juga.

Mineral lempung bersifat *ekspansif* tersusun oleh alumunia hidrat. Bentuk dasarnya berupa tetrahedral silika oksigen (satu atom silika mengikat empat atom oksigen) dan oktahedral aluminium hidrat (satu atom aluminium mengikat enam ion hidrat). Bentuk-bentuk dasar saling berikatan satu sama lain sehingga membentuk lembaran (*sheet*). Karakteristik lempung yang terjadi ditentukan dan dipengaruhi oleh susunan dan komposisi tetrahedral silika dan oktahedral alumunia

Berdasarkan susunan bentuk dasarnya dibedakan tiga jenis lempung yaitu: kelompok kaolinite, kelompok montmorillonite dan kelompok illite. Tanah lempung kelompok montmorillonite sangat sensitif terhadap air permukaan lapisan sheet yang bermuatan negatif membutuhkan ion positif (*kation*) untuk menetralkannya.

Kenaikan volume akibat peristiwa *swelling* bergantung pada ion terhidrasi, kadar air dan jenis lempung. Semakin besar ion penetral, semakin besar pula kenaikan volume lempung. Montmorillonite merupakan kelompok lempung yang mudah mengembang

(*swelling*), sedangkan kaolinite yang paling sulit. Kemudahan *swelling* menurut kelompok lempung yang bersifat *ekspansif* adalah sebagai berikut: montmorillite > illite > kaolinite.

Kaiton penetral yang berada diantara dua sheet bersifat mobile sehingga dapat ditukar dengan kaiton penetral jenis lain. Kemudahan menggantikan ion-ion sebagai berikut: $\text{Li}^+ < \text{Na}^+ < \text{K}^+ < \text{Mg}^+ < \text{Ca}^{2+} < \text{H}^+$, pada konsentrasi yang sama, ion Ca^{2+} akan menggantikan ion Na^+ dan cenderung stabil. Dengan demikian perubahan volume akibat *swelling* dapat dikendalikan dengan mempertukarkan kaiton penetral.

2.1.4. Kembang Susut Tanah Lempung

Membangun diatas tanah mengembang yang mempunyai sifat kembang susut yang tinggi sering menyulitkan dan membutuhkan kiat-kiat tertentu supaya bangunan yang dibangun di atasnya aman dari kerusakan. Kerusakan pada lantai bangunan (tegel terangkat ke atas), keretakan pada dinding tembok, permukaan jalan bergelombang karena penurunan yang tidak merata adalah contoh-contoh kerusakan yang diakibatkan oleh tanah yang mempunyai kembang susut tinggi. Pengembangan (*swelling*) dan penyusutan (*shrinkage*) pada tanah lempung pada prinsipnya adalah peristiwa perubahan volume. Penyusutan tanah terjadi karena adanya penurunan kadar air akibat evaporasi pada musim kering dan pengembangan terjadi karena adanya penambahan kadar air akibat musim hujan. Peristiwa itu akan berlangsung sepanjang tahun seiring dengan adanya perubahan musim. Untuk menanggulangi peristiwa kembang susut tersebut dapat dilakukan dengan mengubah gradasi butir tanah atau menjaga kadar air dalam tanah tidak mengalami perubahan.

Tanah-tanah yang banyak mengandung lempung mengalami perubahan volume ketika kadar air berubah. Pengurangan kadar air menyebabkan lempung menyusut, dan sebaliknya bila kadar air bertambah lempung mengembang. Derajat pengembangan tergantung beberapa faktor, seperti: tipe dan jumlah mineral lempung yang ada dalam tanah, luas spesifik lempung, susunan tanah, konsentrasi garam dalam air pori, velensi kaiton sementara, adanya bahan-bahan organik dan sebagainya. Perubahan volume tanah yang besar membahayakan bangunan.

Pengembangan lempung adalah hasil dari bertambahnya tebal lapisan ion *diffuse* ketika ada air. Ion-ion manovalent *exchangeable* sodium akan menyebabkan pengembangan lebih besar dari pada ion - ion kalsium dipalent.

Pengaruh susut pada tanah - tanah berbutir halus menjadi masalah penting dalam masalah teknis. Retak akibat susut dapat muncul secara lokal, jika tekanan kapiler melampaui kohesi atau kuat tarik tanah. Retak-retak ini merupakan bagian dari makrostruktur lempung dan merupakan zona-zona lemah yang secara signifikan nereduksi kekuatan massa tanah secara keseluruhan, sehingga dapat mempengaruhi stabilitas lereng lempung dan kapasitas daya dukung pondasi. Retak akibat pengeringan permukaan yang sering dijumpai pada lempung dapat berpengaruh jelek, misalnya pada struktur perkerasan jalan yang dibangun di atasnya. Susut dan retak akibat susut disebabkan oleh penguapan permukaan pada saat musim panas, penurunan muka air tanah, dan isapan akar tumbuh - tumbuhan. Ketika musim hujan tanah mendapatkan air lagi dan volume tanah bertambah dan tanah mengembang. Perubahan volume akibat kembang susut sering merusak bangunan gedung ringan dan perkerasan jalan raya.

Pada umumnya perkerasan atau pembangunan gedung dilaksanakan pada musim panas, sehingga tanah permukaan pada kondisi kering. Bangunan tanah yang menutup tanah mencegah penguapan, sehingga tanah dibawah bangunan bertambah kadar airnya oleh akibat kapiler yang menyebabkan tanah lempung mengembang. Jika tekanan yang ditahan oleh perkerasan atau bangunan kurang dari tekanan pengembangan (swelling pressure) maka permukaan tanah akan naik dan akibatnya bangunan yang ada di atasnya akan rusak.

Di alam, kadar air sangat berfluktuasi terutama didekat permukaan tanah. Hal ini karena didekat permukaan tanah dipengaruhi oleh penguapan dan isapan akar tumbuh - tumbuhan. Hal yang penting dalam mengevaluasi masalah pengembangan tanah adalah kadalaman zona aktif. Kadar air dibawah zona aktif dianggap selalu konstan, sehingga dibawah zona aktif tidak terjadi pengembangan.

Pada proses kembang susut tanah tidak sepenuhnya kembali pada posisi semula. Lempung menjadi *overconsolidated* dan berkurang kemudahmampatannya akibat dari bertambahnya tegangan efektif oleh tekanan kapiler.

Pengembangan merupakan proses yang agak kompleks dibandingkan dengan penyusutan (Young dan Warketin, 1979). Besar dan nilai tekanan pengembangan bergantung pada banyaknya mineral lempung di dalam tanah. Tanah dengan susunan random cenderung lebih mudah mengembang.

Pada tabel 2.1 menunjukkan kemungkinan potensi ekspansif tanah hasil dari pengumpulan data uji pengembangan pada lempung dan tanah-tanah ekspansif oleh Holtz (1969) dan USBR (1974). Sedang tabel 2.2 menunjukkan hal yang sama, dari hasil pengalaman Chen (1988) pada era Rocky Mountain.

Tabel 2.1 Potensi pengembangan (Holzt, 1969; Gibbs,1969,USBR, 1974)

Potensi pengembangan	Pengembangan(%) (akibat tekanan 6,9 kPa)	Persen koloid (<0,001mm) (%)	Indek plastisitas PI (%)	Batas susut SL (%)	Batas cair LL (%)
Sangat tinggi	>30	>28	>35	>11	>65
Tinggi	20-30	20-31	25-41	7-12	50-63
Sedang	10-20	13-23	15-28	10-16	39-50
Rendah	<10	<15	<18	<15	39

Tabel 2.2 Potensi Pengembangan (Chen 1988)

Potensi pengembangan	Persen lolos saringan no.20	Batas cair LL	N-SPT	Kemungkinan Ekspansi (%)	Tekanan Pengembangan (Kpa)
Sangat tinggi	>95	>60	>30	>10	>1000
Tinggi	60-65	40-60	20-30	3-10	250-1000
Sedang	30-60	30-40	10-20	1-5	150-250
Rendah	<30	<30	<10	<1	<50

Pengembangan tanah seperti juga penyusutan, biasanya tanah terkekang dibagian atas permukaan tanah, sehingga merupakan struktur diatasnya, seperti perkerasan jalan, bangunan gedung, dan perkerasan dinding saluran. Tekanan pengembangan sebesar 1000 kPa ekivalen dengan tinggi timbunan 40 sampai 50 meter (karena berat volume tanah sekitar 20 kN/m^3). Walaupun tekanan sebesar itu jarang terjadi, namun tekanan pengembangan hanya 100 - 200 kPa harus diperhitungkan bila membangun timbunan dengan tinggi 5 atau 6 meter, contohnya timbunan untuk subgrade (holtz dan kovacs, 1981). Sebagai perbandingan, gedung bertingkat umumnya mempunyai tekanan tanah sekitar 10 kPa untuk setiap lantai. Dalam kerusakan akibat pengembangan tanah, harus diwaspadai adanya lempung *montmorillonite*.

Selanjutnya Sedd dkk, (1962), dari hasil uji laboratorium pada campuran lempung pasir yang dipadatkan, memberikan definisi potensi pengembangan. Potensi pengembangan (*swelling potensial*) adalah persentase pengembangan dibawah tekanan 6,9 kPa, pada contoh tanah yang dibebani secara terkekang pada arah lateral, dengan contoh tanah yang dipadatkan pada kadar air optimum sehingga mencapai berat volume kering maksimumnya, menurut standar AASHTO. Didasarkan pada hasil-hasil pengujian-pengujiannya, hubungan empiris potensi pengembangan dengan indeks plastis tanah :

S = Potensi pengembangan (persen pengembangan aksial tekanan 6,9 kPa)

K = $3,6 \times 10^{-5}$

IP = Indeks Plastis.

Memperhatikan petunjuk praktis dari *USBR* mengenai gambaran kemampuan pengembangan tanah, Sedd dkk, (1962) menyarankan klasifikasi derajat ekspansi (*Degree of Exspantion*) yang ditunjukkan dalam tabel 2.3.

Tabel 2.3 Klasifikasi Derajat Ekspansif (Seed dkk, 1962)

Derajat ekspansi	Potensi pengembangan, S (%)
Rendah	0-15
Sedang	1,5-5
Tinggi	5-25
Sangat tinggi	>25

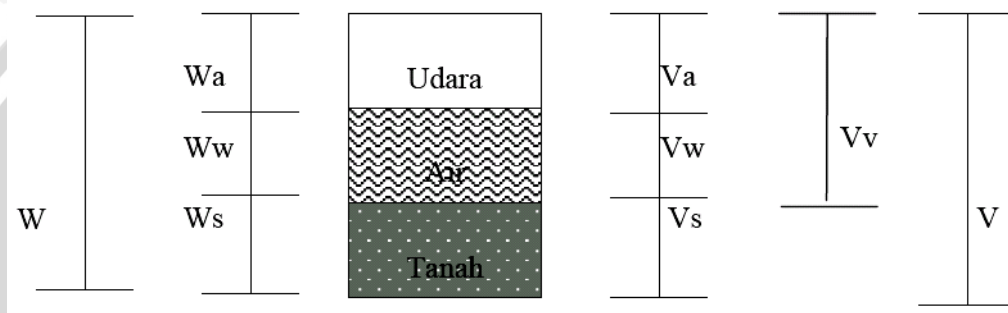
Salah satu identitas pengembangan sederhana disarankan oleh *USWPRS* yang disebut uji pengembangan bebas (*free swell test*) (Holtz dan Gibbs, 1956). Pengujian dilakukan dengan cara menabur perlahan-lahan 10 cm^3 tanah kering dengan butiran lolos saringan no.40, kedalam silinder yang diisi air dengan volume 100 cm^3 . dan diamati volume saat keseimbangan telah terjadi. *Pengembangan bebas* didefinisikan sebagai (Holtz dan Gibbs, 1956):

Tabel 2.4 Hubungan % pengembangan dengan derajat pengembangan (Holtz and Gibbs, 1956)

% Pengembangan	Derajat pengembangan
> 100	Kritis
50 – 100	Sedang
< 50	Tidak kritis

$$\text{Pengembangan bebas} = \frac{\text{Volume air} - \text{volume awal}}{\text{Volume awal}} \times 100 \% \dots \dots \dots (2.2)$$

2.2 Penelitian Sifat Mekanik Tanah



Gambar 2.1 Diagram Fase Tanah (HC Hadyatmo, 1992)

Pada segumpal tanah dapat terdiri dari dua atau tiga bagian. Dalam tanah yang kering, hanya akan terdapat dua bagian, yaitu butir - butir tanah dan pori - pori udara. Dalam tanah yang jenuh terdapat dua bagian yaitu bagian padat atau butiran dan air pori. Bagian - bagian tersebut dapat kita gambarkan dalam diagram fase, seperti Gambar 2.1 dari gambar tersebut dapat kita bentuk persamaan berikut:

$$W = Ws + Ww$$

$$V = Vs + Vw + Va$$

$$Vv = Vw - Va$$

Dengan:

- Ws = berat butiran padat
- Ww = berat air
- Vs = volume butiran padat
- Vw = volume air di dalam pori
- Va = volume udara di dalam pori

Berat udara (Wa) dianggap sama dengan nol.



Istilah - istilah umum yang dipakai untuk hubungan berat adalah kadar air (*moisture content*) dan berat volume (*unit weight*). Definisi dari istilah-istilah tersebut antara lain:

- a. Kadar air (w) yang disebut sebagai *water content*, didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dan berat butiran padat dari volume tanah yang diselidiki, dinyatakan dalam persen.

$$w (\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

Dengan:

w = kadar air

W_w = berat air

W_s = berat butiran

- b. Berat Volume Tanah (γ) adalah berat tanah per satuan volume, dengan rumus dasar:

$$\gamma = \frac{W}{V} \dots \dots \dots (2)$$

Dengan:

γ = berat volume

V = volume total

W = berat total

- c. Berat jenis (*Specific Gravity, G_s*) adalah perbandingan antara berat butiran tanah dengan berat per volume butiran.

$$G_s = (W_s \times G_w) / (W_s - W_b) \dots \dots \dots (3)$$

Dengan:

G_w = berat jenis air

W_b = berat tanah basah

Berat jenis tidak mempunyai satuan.

- d. Beban *surchage* tanah akibat beban diatasnya :

$$q = \gamma_d \cdot H \dots \dots \dots (4)$$

Dengan :

q = Beban merata diatas tanah (gr/mm^2)

γ_d = Berat volume tanah kering (gr/mm^3)

H = Kedalaman (mm)

2.2.1 Uji Proktor Standar

Pemadatan adalah suatu usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah dengan pemakaian energi mekanik untuk menghasilkan pemampataan partikel. *Proctor* (1933) telah mengamati bahwa ada hubungan yang pasti antara kadar air dan berat volume kering supaya tanah padat. selanjutnya terdapat suatu nilai kadar air optimum tertentu untuk mencapai nilai berat volume kering maksimumnya. Derajat kepadatan tanah diukur dari berat volume keringnya.

Dalam pengujian pemadatan, percobaan diulang paling sedikit 3 kali dengan kadar air tiap percobaan divariasikan. Selanjutnya digambarkan sebuah grafik hubungan kadar air dan berat volume keringnya.

Kurva yang dihasilkan dari pengujian memperlihatkan nilai kadar air yang terbaik untuk mencapai berat volume kering terbesar atau kepadatan maksimum. Kadar air pada keadaan ini disebut kadar air optimum (*Optimum Moisture Content, OMC*). pada nilai kadar air yang rendah, untuk kebanyakan tanah, tanah cenderung bersifat kaku dan sulit dipadatkan. Setelah kadar air ditambah, tanah menjadi lebih lunak. Pada kadar air yang tinggi, berat volume kering berkurang. Bila seluruh udara didalam tanah dapat dipaksa keluar pada waktu pemadatan tanah akan berada pada keadaan jenuh dan nilai berat volume kering akan menjadi maksimum.

	Description	Method A	Method B	Method C
Physical data for the tests	Material	Passing No. 4 sieve	Passing 9.5 mm ($\frac{3}{8}$ in.) sieve	Passing 19 mm ($\frac{3}{4}$ in.) sieve
	Use	Used if 20% or less by weight of material is retained on No. 4 (4.75 mm) sieve	Used if more than 20% by weight of material is retained on No. 4 (4.75 mm) sieve and 20% or less by weight of material is retained on 9.5 mm ($\frac{3}{8}$ in.) sieve	Used if more than 20% by weight of material is retained on 9.5 mm ($\frac{3}{8}$ in.) sieve and less than 30% by weight of material is retained on 19 mm ($\frac{3}{4}$ in.) sieve
	Mold volume	944 cm ³ ($\frac{1}{6}$ ft ³)	944 cm ³ ($\frac{1}{6}$ ft ³)	2124 cm ³ ($\frac{1}{27}$ ft ³)
	Mold diameter	101.6 mm (4 in.)	101.6 mm (4 in.)	152.4 mm (6 in.)
	Mold height	116.4 mm (4.584 in.)	116.4 mm (4.584 in.)	116.4 mm (4.584 in.)
Standard Proctor test	Weight of hammer	24.4 N (5.5 lb)	24.4 N (5.5 lb)	24.4 N (5.5 lb)
	Height of drop	305 mm (12 in.)	305 mm (12 in.)	305 mm (12 in.)
	Number of soil layers	3	3	3
	Number of blows/layer	25	25	56
Modified Proctor test	Weight of hammer	44.5 N (10 lb)	44.5 N (10 lb)	44.5 N (10 lb)
	Height of drop	457 mm (18 in.)	457 mm (18 in.)	457 mm (18 in.)
	Number of soil layers	5	5	5
	Number of blows/layer	25	25	56

Tabel 2.5 Spesifikasi Uji Pemadatan (*ASTM D-698* dan *D-1557*)

Sumber: Principles Of Geotechnical Engineering (Braja M. Das)

2.3 Tekanan Pengembangan

Tekanan (p) adalah satuan fisika untuk menyatakan gaya (F) persatuan luas (A).

P : Tekanan dengan satuan pascal (Pressure)

$$p = \frac{F}{A}$$

F : Gaya dengan satuan newton (Force)

A : Luas permukaan dengan satuan m^2 (Area)

(Douglas Giancoli, 2004)

Satuan dari tekanan (p) adalah pascal. Pascal disimbolkan dengan **Pa** satuan turunan **SI** untuk tekanan atau tegangan. Satu pascal setara dengan satu newton per meter persegi. (http://id.wikipedia.org/wiki/Pascal_satuan)

Tekanan pengembangan didefinisikan sebagai suatu tekanan yang diperlukan untuk mengembalikan benda uji pada keadaan seperti semula. (SNI 6424, 2008)

Pada umumnya, dalam mendesain suatu bangunan air diperlukan parameter-parameter tanah yang digunakan dalam perhitungan dan analisis khusus untuk tanah ekspansif yang mempunyai sifat mudah mengembang dan menyusut diperlukan parameter-parameter persentase pengembangan dan tekanan pengembangan. Dengan tekanan pengembangan yang cukup besar mengakibatkan kegagalan dalam konstruksi. Pengembangan di lapangan, biasanya terjadi pada tekanan lapangan yang konstan, tergantung dari adanya air. Kandungan kimia dari air yang tergenang dapat mempengaruhi perubahan volume dan tekanan pengembangan.

Air yang ada di lapangan yang mempunyai konsentrasi ion kalsium yang besar akan menghasilkan pengembangan yang lebih kecil dibandingkan air yang banyak mengandung konsentrasi ion sodium atau air hujan. Jika Pengembangan di laboratorium dilakukan dengan mengamati perubahan volume akibat perubahan tekanan yang diberikan selama benda uji digenangi air. Dengan ini juga bisa didapatkan tekanan pengembangan yang terjadi akibat tanah yang tergenangi air.

2.4 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian yang menjadi referensi dalam penelitian mengenai tanah ekspansif di Kecamatan Paron Kabupaten Ngawi ini yaitu penelitian yang dilakukan oleh Dwi Ratna Nur, Dana Mutiara K, dan Dharwati Pratama Sari (2012). Data yang didapatkan yaitu sebagai berikut:

2.4.1 Penelitian Tanah Ekspansif

Penelitian mengenai tanah ekspansif ini adalah penelitian yang pernah dilakukan oleh Dwi Ratna Nur, Edward Pambudi, dkk. Sehingga dengan adanya penelitian yang pernah diteliti sebelumnya ini bisa dijadikan sebagai dasar referensi dalam melanjutkan penelitian mengenai tanah ekspansif di Kecamatan Paron Kabupaten Ngawi. Dari hasil penelitian yang pernah diperoleh sebelumnya ini dapat dilihat pada tabel dan gambar dibawah ini:

1. Pengujian Minerologi Tanah

Pengujian kandungan mineral tanah dilakukan dengan metode difraksi sinar X (X-Ray Diffraction/XRD), yakni instrumen yang digunakan untuk mengidentifikasi material kristalin maupun non-kristalin. Pengujian berupa identifikasi kristalit (kualitatif) dalam suatu bahan dengan memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sinar X. Pengujian ini dilakukan pada tanggal 22 Juni 2012 di Laboratorium Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, hasilnya dapat dilihat pada **Gambar 1 (Lampiran)**. Didapatkan bahwa komposisi susunan bentuk tanah ini adalah berupa kelompok Montmorillonite $\text{Na}_{0.3}(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_{2.4}\text{H}_2\text{O}$; Cristobalite, syn; Albite, disordered.

2. Pengujian Kadar Air

Pengujian kadar air memiliki maksud dan tujuan untuk mengetahui nilai perbandingan antara berat air di dalam tanah dengan berat butiran tanah tersebut dalam satuan persen (%). Adapun hasil pengujian yang telah dilakukan dapat dilihat pada **Tabel 1 (Lampiran)**. Dari **Tabel 1** dapat diketahui bahwa tanah lempung pada daerah Paron, Kabupaten Ngawi memiliki kadar air sebesar 40,552 %.

3. Pengujian Berat Jenis Tanah

Pengujian berat jenis tanah bertujuan untuk menentukan berat jenis suatu sampel tanah, berat jenis tanah merupakan nilai perbandingan berat butiran tanah dengan berat per volume butiran. Adapun hasil pengujian berat jenis tanah ini dapat dilihat pada **Tabel 2 (Lampiran)**. Dari **Tabel 2** diperoleh GS rata-rata untuk tanah lempung dari daerah Paron Kabupaten Ngawi adalah sebesar 2.66.

4. Pengujian Berat Isi Tanah (Density) dan Porositas Tanah

Pengujian berat isi tanah memiliki tujuan untuk mengetahui berapa berat volume suatu sampel tanah. Pengujian porositas bertujuan untuk mengetahui nilai angka pori pada suatu sampel tanah. Adapun hasil pengujian yang telah dilakukan dapat dilihat pada **Tabel 3 (Lampiran)**. Dari **Tabel 3** dapat diketahui bahwa berat isi tanah lempung dari daerah Paron Kabupaten Ngawi adalah sebesar $1,11 \text{ gr/cm}^3$, dengan angka pori sebesar 58,24%.

5. Pengujian Analisis Saringan

Uji analisis butiran terbagi menjadi dua bagian pengujian, yaitu uji analisis saringan (dengan metode basah) dan uji analisis hidrometer. Analisis hidrometer berperan dalam menentukan distribusi ukuran butir-butir untuk tanah yang mengandung butir tanah lolos saringan no. 200. Sedangkan uji analisis saringan untuk menentukan distribusi ukuran butir-butir tanah yang tertahan saringan 200. Karena tanah lempung cukup sulit dalam proses pengayakan, maka uji analisis saringan dilakukan dengan metode basah (*Wet Sieve Analysis*), sehingga hasil ukuran butiran yang diperoleh lebih valid. Adapun hasil pengujian analisis saringan tanah lempung ekspansif ini dapat dilihat pada **Tabel 4** dan hasil pengujian analisis hidrometer tanah lempung dapat dilihat pada **Tabel 5** dan **Gambar 2** pada (**Lampiran**). Dari tabel dan gambar tersebut didapatkan prosentase distribusi butiran sebagai berikut:

- Pasir sebesar 2,25%
- Lanau sebesar 31,5%
- Lempung sebesar 66,051%

6. Pengujian Batas-Batas Konsistensi

Pengujian batas-batas konsistensi atau biasa disebut *Atteberg Limit* terdiri dari tiga penelitian yaitu pengujian batas cair (*liquid limit*), pengujian batas plastis (*plastic limit*), dan pengujian batas susut (*Shrinkage Limit*). Adapun penjelasan mengenai pengujian batas-batas konsistensi yaitu sebagai berikut:

a. Pengujian Batas Cair (*Liquid Limit*)

Pengujian batas cair memiliki tujuan untuk menentukan batas cair suatu tanah dan mengetahui jenis serta sifat-sifat tanah dengan ukuran butir lolos saringan no. 40. Adapun hasil pengujian batas cair dapat dilihat pada **Gambar 3**

dan **Gambar 4** pada (**Lampiran**). Dari gambar tersebut, untuk ketukan ke 25 dimasukkan nilai $x = 25$ pada persamaan yang diperoleh, sehingga diperoleh pada sampel 1 LL = 106.464% dan pada sampel 2 LL = 101.311%. Maka nilai batas cair untuk tanah dari daerah paron Kabupaten Ngawi adalah sebesar 103.887%.

b. Pengujian Batas Plastis (*Plastic Limit*) dan Indeks Plastis

Pengujian batas plastis bertujuan untuk menentukan kadar air tanah pada kondisi plastis. Hasil dari pengujian yang didapatkan dapat dilihat pada **Tabel 6** dan **Tabel 7** pada (**Lampiran**). Dari data yang diperoleh pada tabel tersebut, didapatkan batas plastis (PL) rata-rata untuk tanah dari daerah Paron Kabupaten Ngawi ini adalah sebesar 47.527%, sehingga Indeks Plastis (IP) yang diperoleh adalah 56.3605%.

c. Pengujian Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Pengujian batas susut memiliki tujuan untuk menentukan kadar air tanah pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat. Hasil dari pengujian yang didapatkan dapat dilihat pada **Tabel 8 (Lampiran)**. Dari **Tabel 8** menunjukkan bahwa batas susut untuk tanah dari daerah Paron Kabupaten Ngawi adalah sebesar 8,992%.

7. Pengujian Sifat Mekanik Tanah dengan Pemadatan Standar

Pengujian Proctor standar memiliki tujuan untuk menentukan hubungan antara kadar air dan kepadatan dengan cara memadatkan suatu sampel tanah dalam silinder berukuran tertentu menggunakan cetakan, sampel tanah yang digunakan adalah tanah yang lolos saringan no. 4.

Selain itu uji proctor standar juga memiliki tujuan untuk mencari nilai kepadatan maksimum (*Maximum Dry Density*) dari suatu sampel tanah. Pada pengujian ini didapatkan hasil yang dapat dilihat dari **Tabel 9** dan **Gambar 5** pada (**Lampiran**). Dari tabel dan gambar tersebut, dapat diketahui bahwa tanah dari daerah Paron Kabupaten Ngawi ini memiliki nilai kadar air optimum (OMC) sebesar 30,169% dengan berat volume kering maksimum (γ_d maks) sebesar 1,142 gr/cm³.

8. Pengujian Free Swell (Uji Pengembangan)

Pada uji pengembangan bebas (*free swell test*) yang pernah dilakukan oleh Dwi Ratna Nur (2012), didapatkan hasil yang dapat dilihat pada **Tabel 10 (Lampiran)**. Dari pengujian tersebut, diperoleh hasil pengembangan yang terjadi adalah sebesar 185%.

