BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

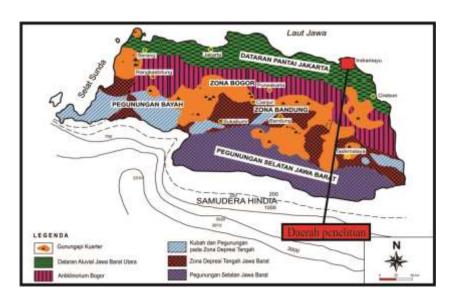
II.1 Geologi Regional

Secara regional, daerah penelitian termasuk dalam Peta Geologi Lembar Indramayu, Jawa Barat, skala 1:100.000 (Sudana,D dan Achdan A, 1992) dan Peta Geologi lembar Arjawinangun, skala 1:100.000 (Djuri, 1973) terbitan Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung. Kajian mengenai geologi regional ini terbagi atas fisiografi regional, stratigrafi regional, dan struktur geologi regional.

II.1.1 Fisiografi Regional

Menurut van Bemmelen (1949) berdasarkan morfologi dan tektoniknya, Jawa Barat terbagi menjadi empat jalur fisiografi (Gambar 2.1) yaitu :

- 1. Dataran Aluvial Jawa Utara yang menempati bagian utara Jawa Barat, memanjang dengan arah barat-timur dari Serang sampai ke Cirebon. Daerah ini tersusun oleh endapan sungai, hasil erupsi gunungapi muda, endapan banjir, dan pantai.
- 2. Zona Bogor, terletak sebelah selatan pantai utara, membentang dari Rangkasbitung sampai ke Bumiayu. Zona ini tersusun oleh batuan yang berumur Neogen yang terlipat kuat. Zona ini telah mengalami tektonik yang kuat sehingga terlipatkan dan membentuk antiklinorium yang cembung ke utara dan cukup rumit. Selain itu muncul tubuh-tubuh intrusi yang umumnya berelief lebih terjal.
- 3. Zona Bandung merupakan jalur yang memanjang mulai dari Sukabumi sampai ke Segara Anakan Pantai Selatan Jawa Tengah. Zona Bandung merupakan hasil depresi antara jalur-jalur pegunungan (*intermountain depression*) yang sering terlihat berarah barat timur terbatasi oleh deretan gunungapi utara dan selatannya. Zona Bandung terdominasi oleh erupsi hasil gunungapi yang berumur Resen.
- 4. Zona pegunungan selatan Jawa Barat, terletak sebelah selatan Jawa Barat. Jalur ini membentang dari Pelabuhan Ratu sebelah barat sampai Pulau Nusakambangan sebelah timur dengan lebar rata-rata 50 km. Pada ujung sebelah timur Pulau Nusakambangan terjadi penyempitan, sehingga lebarnya hanya beberapa kilometer saja.



Gambar 2.1. Fisiografi Jawa Barat (van Bemmelen, 1949; dalam Martodjojo, 2003).

Berdasarkan pembagian zona fisiografi Jawa Barat, maka daerah penelitian secara regional termasuk ke dalam Dataran Aluvial Jawa Barat Utara.

ENDERA

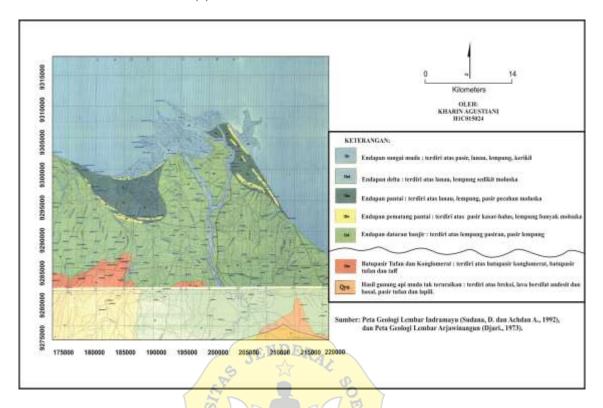
II.1.2 Stratigrafi Regional

Pembahasan stratigrafi regional bermaksud untuk memberi gambaran mengenai beberapa formasi yang erat kaitannya dengan daerah penelitian. Daerah penelitian menempati dua lembar peta geologi , yaitu Peta Geologi Lembar Indramayu (Sudana, D. dan Achdan A, 1992), dan Peta Geologi Lembar Arjawinangun (Djuri, 1973).

Menurut Sudana, D. dan Achdan A, 1992 dalam Peta Geologi Lembar Indramayu, Jawa Barat, skala 1:100.000, stratigrafi regional Indramayu tersusun atas batuan tertua sampai yang termuda sebagai berikut: Batupasir tufaan dan konglomerat (Qav), Endapan dataran banjir (Qaf), Endapan pematang pantai (Qbr), Endapan Pantai (Qac), Endapan Delta (Qad), dan Endapan sungai muda (Qa).

Menurut Djuri (1973) dalam Peta Geologi Lembar Arjawinangun skala 1:100.000, stratigrafi regional Arjawinangun, tersusun atas batuan termuda sampai yang tertua sebagai berikut: Aluvium (Qa), Hasil gunungapi muda lava (Qyl), Hasil gunungapi muda tak teruraikan (Qyu), Hasil gunungapi tua lava (Qvl), Hasil gunungapi tua breksi (Qvb), Breksi Kompleks G. Kromong (Qvk), Hasil gunungapi tak teruraikan (Qvu), Breksi terlipat (Qob), Batupasir tufan, lempung, konglomerat (Qos), Formasi Citalang (Tpc), Formasi Citalang (Tpcl), Formasi Kaliwangu (Tpk), Anggota batulempung Formasi Subang (Tms), Anggota bagian atas Formasi Halang (Tmhu), Anggota bagian bawah Formasi Halang (Tmhl), Batugamping Kompleks G. Kromong (Tmkl), Anggota

serpih Formasi Cinambo (Tomcu), Anggota batupasir Formasi Cinambo (Tomel), Batuan Terobosan Andesit (a).

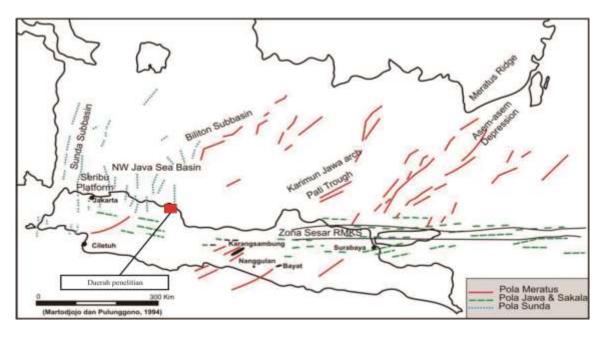


Gambar 2.2. Peta Geologi Regional Daerah Penelitian Lembar Indramayu (Sudana, D. dan Achdan A, 1992), dan Peta Geologi Lembar Arjawinangun (Djuri, 1973).

II.1.3. Struktur Geologi Regional

Tatanan tektonik Pulau Jawa terpengaruhi oleh aktivitas tektonik lempeng yang aktif, yaitu Lempeng Eurasia dan Lempeng Indo-Australia. Akibatnya pada Pulau Jawa berkembang tiga pola struktur geologi yang dominan, yaitu Pola Meratus yang berarah timur laut – barat daya, Pola Sunda yang berarah utara – selatan, dan Pola Jawa yang berarah barat – timur (Pulonggono dan Martodjojo, 1994).

Berdasarkan keterangan pola struktur geologi pada Pulau Jawa menurut Pulonggono dan Martodjojo (1994) yang terdapat pada (Gambar 2.3), menunjukkan bahwa daerah penelitian memiliki pola struktur yaitu Pola Sunda yang berarah utara-selatan (N-S) yang mulai terbentuk pada 53-32 juta tahun yang lalu.



Gambar 2.3. Struktur geologi pulau Jawa (Pulunggono dan Martodjojo, 1994).

II.2 Penyelidikan Geologi Teknik

Penyelidikan geologi teknik bertujuan untuk mengetahui kondisi geologi secara umum berdasarkan satuan tanah dan batuan baik pada permukaan ataupun pada bawah permukaan. Penyusunan satuan tersebut dengan cara pengelompokkan berdasarkan sifat-sifat fisik dan keteknikan yang hampir sama dengan jenis litologi batuan, cara terjadinya, sifat-sifat fisik tanah secara umum, sehingga macam tanah dan batuan dapat terkelompokkan.

II.2.1 Daya Dukung Tanah

Dalam tahap pembangunan suatu struktur bangunan membutuhkan data besaran daya dukung tanah dalam menerima beban. Daya dukung tanah bertujuan untuk menghitung dan merencanakan dimensi pondasi yang dapat mendukung beban struktur pembangunan. Apabila daya dukung tanah tidak mampu menerima beban dari struktur yang terencanakan, dengan data daya dukung tanah yang telah ada, kita dapat melakukan usaha tertentu agar nilai daya dukungnya dapat mencapai nilai yang sesuai. Penimbunan dan pemadatan merupakan salah satu perlakuan tertentu untuk mendapatkan nilai daya dukung tanah yang di izinkan.

Daya dukung tanah adalah tekanan maksimal yang bisa terima oleh tanah sebelum tanah mengalami keruntuhan. Metode yang sering terpakai untuk menganalisis daya dukung tanah adalah metode keseimbangan batas (*limit equilibrium method*). Nilai daya dukung

tanah terhitung berdasarkan model keruntuhan dan gaya-gaya yang bekerja pada pondasi. Pada metode keseimbangan batas, terlebih dahulu mengasumsikan garis keruntuhan pada pondasi, dan tegangan tegangan yang bekerja pada garis keruntuhan tersebut. Beberapa metode yang menggunakan prinsip keseimbangan batas adalah Terzaghi (1943), Taylor (1948) dan Meyerhof (1955).

Daya dukung tanah adalah tekanan maksimum yang dapat terpikul oleh tanah tersebut tanpa terjadi kelongsoran. Bilamana beban pada bagian atas pondasi bertambah sedikit demi sedikit, maka pondasi akan turun yang akhirnya terjadi kelongsoran atau keruntuhan. Daya dukung tanah pada dasarnya banyak berpengaruh pada tingkat kepadatan atau konsistensi tanah itu sendiri serta terpengaruhi oleh jumlah air yang terdapat pada bagian dalamnya, kohesi tanah, sudut geser dalam, dan tegangan normal tanah.

Analisis kapasitas dukung (bearing capacity), mempelajari kemampuan tanah dalam mendukung beban pondasi dari struktur yang terletak pada bagian atasnya. Kapasitas dukung menyatakan tahanan geser tanah untuk melawan penurunan akibat pembebanan, yaitu tahanan geser yang dapat terkerahkan oleh tanah pada sepanjang bidang-bidang gesernya.

Perancangan pondasi harus mempertimbangkan adanya keruntuhan geser dan penurunan yang berlebihan. Untuk itu, persyaratan yang harus terpenuhi dalam perancangan pondasi adalah faktor aman terhadap keruntuhan akibat terlampauinya kapasitas dukung tanah yang harus terpenuhi. Dalam hitungan kapasitas dukung, umumnya menggunakan faktor aman. Untuk memenuhi stabilitas jangka panjang, perhatian harus terfokuskan pada peletakan dasar pondasi yaitu pondasi harus berada pada kedalaman yang cukup untuk menanggulangi erosi permukaan, gerusan, kembang susut tanah, dan gangguan tanah pada sekitar pondasi lainnya.

Daya dukung tanah sendiri dapat teranalisis menggunakan beberapa data. Antara lain adalah data *Cone Penetration Test* (CPT) atau uji sondir dan desain pondasi yang ada. Pertama-tama, *Cone Penetration Test* (CPT) yang kita kenal sebagai uji Sondir bertujuan untuk mengetahui profil ke dalam tanah secara menerus yang ternyatakan dalam nilai tahanan ujung konus dan tahanan selimut. Interprestasi yang tepat terhadap data ini dapat berguna untuk mengestimasi profil tanah, kuat geser tanah, kekakuan tanah, permeabilitas tanah, atau koefisien konsolidasi, kuat geser selimut tiang, dan

daya dukung ujung tiang. Tes sondir merupakan salah satu tes dalam bidang geoteknik yang berfungsi untuk mengetahui letak kedalaman tanah keras, yang nantinya dapat memperkirakan seberapa kuat tanah tersebut dalam menahan beban yang berada pada bagian atasnya. Data yang terdapat pada tes ini nantinya berupa besaran gaya perlawanan dari tanah terhadap konus, serta hambatan pelekat dari tanah yang dimaksud. Hambatan pelekat adalah perlawanan geser dari tanah tersebut yang bekerja pada selubung bikonus alat sondir dalam gaya per satuan panjang. Hasil dari tes sondir ini terpakai untuk menentukan tipe atau jenis pondasi, menghitung daya dukung tanah asli, menentukan seberapa dalam pondasi harus di letakkan nantinya. Uji sondir ini bertujuan untuk mengetahui elevasi lapisan keras (*Hard Layer*) dan homogenitas tanah dalam arah lateral. Hasil *Cone Penetration Test* tersajikan dalam bentuk diagram sondir yang mencatat nilai tahanan konus dan friksi selubung, kemudian berguna untuk menghitung daya dukung pondasi yang terletakkan pada tanah tersebut.

Keuntungan dari penggunaan alat sondir sendiri adalah cukup ekonomis. Apabila contoh tanah pada boring sulit terambil (tanah lunak), dapat berguna uji sondir karena sangat membantu dalam memecahkan pengambilan sampel tanah lunak. Selain itu uji sondir juga dapat menentukan daya dukung tanah dengan baik, adanya korelasi handal, dapat membantu menentukan posisi atau kedalaman pada pemboran, dapat dengan cepat menentukan lekat lapisan tanah keras, dapat memperkirakan perbedaan lapisan, dapat berguna pada lapisan berbutir halus, serta baik berguna untuk menentukan letak muka air tanah. Sedangkan kerugiannya adalah jika terdapat batuan lepas biasa memberikan indikasi lapisan keras yang salah, jika alat tidak lurus dan tidak bekerja dengan baik maka hasil yang terperoleh bisa merugikan, serta tidak dapat mengetahui tanah secara langsung.

Analisis-analisis daya dukung dilakukan dengan cara pendekatan untuk memudahkan hitungan. Persamaan-persamaan yang terbuat, mengkaitkan dengan sifat-sifat tanah dan bentuk bidang geser yang terjadi saat keruntuhan. Analisisnya dengan menganggap bahwa tanah berkelakuan sebagai bahan yang bersifat plastis. Konsepnya menggunakan konsep Terzaghi (1943). Bila dinyatakan dalam persamaan, maka:

$$Qu = Pu / A \tag{1}$$

Dengan,

Qu = Kapasitas dukung ultimit (kN/m2)

Pu = Beban ultimit (kN)

A = Luas Pondasi (m2)

Analisis daya dukung tanah berdasarkan pada kondisi keruntuhan geser umum dari suatu bahan yang bersifat plastis. Pada tanah yang memiliki regangan besar sebelum tercapai keruntuhan geser, gerakan ke bawah pada baji tanah mungkin hanya memampatkan tanah, tanpa adanya regangan yang cukup untuk menghasilkan keruntuhan geser umum. Kondisi semacam ini menimbulkan keruntuhan geser lokal. Terzaghi hanya memberikan koreksi empiris pada faktor-faktor daya dukung pada kondisi keruntuhan geser umum. Persamaan-persamaan daya dukung yang telah terpelajari hanya berlaku untuk menghitung daya dukung ultimit pondasi memanjang (Gambar 2.4).

Persamaan umum kapasitas dukung Terzaghi dengan bentuk pondasi berupa pondasi kotak dapat tertuliskan:

$$Q_{u} = 1,3 \text{ C.N}_{C} + q \text{ .N}_{q} + 0,4_{\gamma}.\text{B.N}_{\gamma}$$

$$Q_{u} = c \text{ N}_{c} + q \text{ N}_{q} + 1/2 \text{ } \gamma \text{ B N}_{\gamma}$$
(2)

Pondasi Lajur:

$$Q_{u} = c N_{c} + q N_{q} + 1/2 \gamma B N_{\gamma}$$
 (3)

Dengan,

= Kapasitas dukung ultimit (kN/m²) $Q_{\rm u}$

= Kohesi tanah (kN/m^2) C

γ = Berat volume tanah yang dipertimbangkan (kN/m³)

В = Lebar atau diameter pondasi (m)

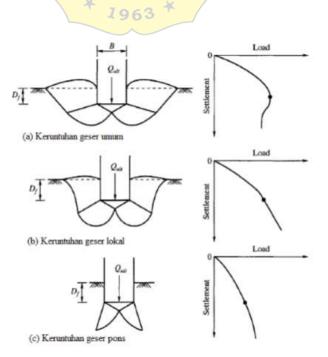
L = Panjang pondasi (m)

Nc, Nq, Ny = Nilai faktor kapasitas dukung berdasarkan besar sudut geser

Untuk nilai Nc, Nq, dan Ny bergantung pada sudut geser dalam tanah pada bawah dasar pondasi. Yaitu nilai-nilai faktor kapasitas dukung Terzaghi (1943) (Tabel 2.1) :

Tabel 2.1. ϕ kapasitas dukung berdasarkan keruntuhan geser umum.

Φ	Nc	Nq	Nγ
0	5,7	1	0
5	7,3	1,6	0,5
10	9,6	2,7	1,2
15	12,9	4,4	2,5
20	17,7	7,4	5
25	25,1	12,7	9,7
30	37,2	22,5	19,7
35	52,6	36,5	35
35	57,8	41,4	42,4
40	95,7 NDE	81,3	100,4
45	172,3	173,3	297,5
48	258,3	287,9	780,1
50	347,6	415,1	1153,2



Gambar 2.4. Tipe keruntuhan tanah.

II.2.1.1 Pengaruh Muka Air Tanah Terhadap Daya Dukung Tanah

Dalam perhitungan daya dukung tanah beberapa faktor yang mungkin mempengaruhi dalam hasil analisis salah satunya adalah Muka Air Tanah (MAT). Kondisi dari Muka Air Tanah pada suatu pondasi memberi pengaruh dalam perhitungan daya dukung tanah. Tiga kondisi yang berbeda dapat muncul sehubungan dengan lokasi muka air tanah pada dasar fondasi sebagai berikut: (Gambar 2.5)

a. Kasus I

Jika muka air tanah terletak pada jarak D di atas dasar pondasi, maka besarnya nilai q dapat dihitung dengan :

$$q = \mathcal{V}(Df - D) + \mathcal{V}'D \tag{4}$$

Dimana,

 $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w = \text{satuan berat efektif tanah}$

b. Kasus II

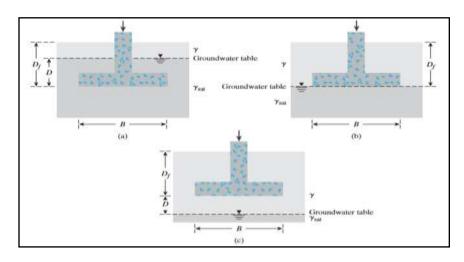
Jika muka air tanah berada tepat pada bagian bawah pondasi, maka besarnya nilai $q = \gamma r Df$.

c. Kasus III

Ketika muka air tan<mark>ah ber</mark>ada pada bagian bawah pondasi, maka besarnya nilai $q = \gamma Df$. Besarnya γ harus diganti oleh γ_{av} .

$$\gamma_{av} = \frac{1}{B} \left[\gamma D + \gamma'(B - D) \right] \qquad (for D \le B)$$
 (5)

$$\gamma_{av} = \gamma \qquad (for \ D > B) \tag{6}$$



Gambar 2.5. Pengaruh Muka Air Tanah pada perhitungan daya dukung tanah pondasi dangkal: (a). Kasus I, (b). Kasus II, (c) Kasus III.

Tanah sendiri memiliki sifat fisik dan sifat mekanis. Sifat-sifat fisik tanah meliputi ukuran butir tanah, warna, bentuk butiran, dan kekerasan tanah. Sedangkan sifat-sifat mekanis tanah meliputi sifat kohesi, plastisitas dan lain sebagainya. Untuk mengetahui sifat fisik dan mekanis tanah maka memerlukan penyelidikan-penyelidikan pada lapangan maupun pada laboratorium. Sedangkan untuk dapat menemukan daya dukung tanah dalam penelitian ini memerlukan beberapa data, yaitu:

II.2.1.2 Cone Penetration Test (CPT)

Cone Penetration Test (CPT) atau sondir adalah salah satu survei lapangan yang berguna untuk memperkirakan letak lapisan tanah keras dengan mendorong kerucut baku (menurut ASTM D 3441 mempunyai sudut ujung 60° dan diameter dasar 35,7 mm dengan luas irisan lintang 10 cm²) ke dalam tanah dengan kecepatan 10 mm/detik sampai 20 mm/detik. Data yang terambil adalah tahanan ujung qc dan tahanan gesek selongsong qs. Dari hasil pengukuran CPT juga dapat mengetahui variabel sifat fisik dan keteknikan batuan seperti bobot isi, permeabilitas, sudut geser dalam, kohesi tak teralihkan dan koefisien konsolidasi horizontal. Tes ini baik dilakukan pada lapisan tanah lempung. Dari tes ini mendapatkan nilai perlawanan penetrasi konus. Perlawanan penetrasi konus adalah perlawanan tanah terhadap ujung konus yang ternyatakan dalam gaya per satuan luas. Sedangkan hambatan lekat adalah perlawanan geser tanah terhadap selubung bikonus dalam gaya per satuan panjang. Nilai perlawanan penetrasi konus dan hambatan lekat dapat terlihat dari bacaan pada manometer. Prosedur pengujian Sondir mengacu pada SNI 2827:2008.

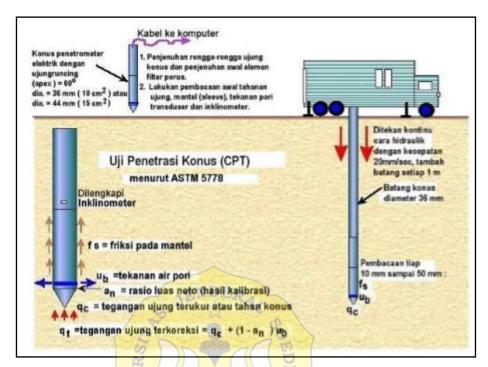
Sondir menurut kapasitasnya terbagi menjadi dua macam, yaitu:

- 1. Sondir ringan, memiliki kapasitas 0-250 kg/cm2 dengan kedalaman 30 meter.
- 2. Sondir berat, memiliki kapasitas 0-600 kg/cm2 dengan kedalaman 50 meter.

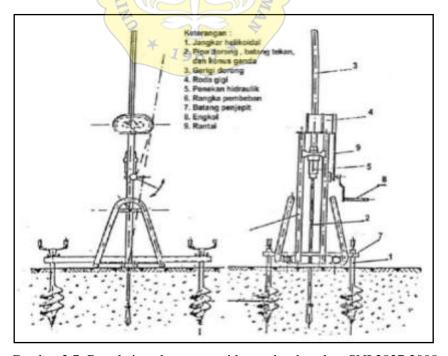
Sondir menurut jenis alatnya terbagi menjadi dua macam, yaitu:

- 1. Sondir mekanis, Sondir yang menghasilkan nilai tahanan ujung (qc) dan gesekan selimut (fs) mengacu pada ASTM D3441.
- 2. Sondir elektrik, Sondir yang menghasilkan nilai tahanan ujung (qc), gesekan selimut (fs) dan tekanan air pori (u) mengacu pada ASTM D5778 (Gambar 2.5). Sondir manual tidak menjadi rekomendasi untuk penyelidikan tanah.

Data dari CPT berguna untuk menetapkan kapasitas dukung izin dan untuk merancang tiang pancang. Keuntungan dari metode CPT adalah untuk mendapatkan profil yang menerus sejauh tidak adanya tanah atau batuan yang tidak keras untuk kedalaman yang diinginkan. Uji CPT juga sangat cepat jika memakai peralatan elektronik.



Gambar 2.6. Cara kerja alat sondir elektrik.



Gambar 2.7. Rangkaian alat penetrasi konus berdasarkan SNI 2827:2008.

Perhitungan Cone Penetration Test (CPT) yang kita kenal sebagai uji Sondir sendiri dapat dicari dengan persamaan:

$$Qu = Qb + Qs - Wp (7)$$

Dimana,

Qu = kapasitas ultimit (ton)

Qb = kapasitas ujung bawah (ton)

Qs = kapasitas gesek (ton)

Wp = Volume konus x berat jenis baja (ton)

Dengan kapasitas ultimit dinyatakan oleh persamaan:

$$Qg = 2.D(B+L)c+1,3.cb.Nc.B.L$$
 (8)

Yaitu,

Qg = kapasitas nilai kelompok, nilainya harus tidak melampaui nQu
(n adalah jumlah tiang dalam kelompok)

(kN) C = kohesi tanah di sekeliling kelompok tiang (kN/m2)

Cb = kohesi tanah di bawah dasar kelompok tiang (kN/m2)

B = lebar kelompok tiang, dihitung dari pinggir tiang-tiang (m)

L = panjang kelompok tiang (m)

D = kedalaman tiang di bawa permukaan tanah (m)

Nc = faktor kapasitas dukung

Jika kapasitas kelompok tiang (Qg) lebih kecil daripada kapasitas tiang tunggal dikali dengan jumlah tiang (nQu), maka kapasitas dukung pondasi tiang menggunakan kapasitas dukung kelompoknya (Qg). Sebaliknya, jika dari hitungan kapasitas kelompok tiang (Qg) lebih besar, maka menggunakan kapasitas tiang tunggal kali jumlahnya (nQu). Kapasitas kelompok tiang yang disarankan Terzaghi dan Peck (1948) sering menghasilkan kapasitas dukung ultimit yang terlalu besar.

Untuk data berat jenis tanah, sudut geser, nilai kohesi, indeks plastisitas, dan analisis ukuran butir tanah memerlukan uji laboratorium dengan mengambil sampel tanah undisturb atau sampel tanah tak terganggu. Sampel tanah tidak terganggu adalah suatu contoh yang masih menunjukkan sifat-sifat aslinya. Artinya dalam sampel ini tidak

mengalami perubahan dalam struktur, kadar air (*water content*), atau susunan kimia. Namun demikian, contoh tanah yang benar-benar asli tidaklah mungkin untuk diperoleh. Akan tetapi dengan teknik pelaksanaan sebagaimana mestinya, dan cara pengamatan yang tepat, maka kerusakan-kerusakan pada contoh tanah dapat dibatasi sekecil mungkin. Contoh tanah tidak terganggu dapat terambil dengan menggunakan tabung sampel (silinder). Sedangkan untuk nilai kohesi dan sudut geser tanah sendiri masih menggunakan sampel tanah yang sama dengan pengambilan sample menggunakan silinder sebanyak dua buah lalu diuji melalui uji geser langsung atau *direct shear test*.

II.2.1.3 Stratifikasi Tanah

Robertson (1990) tanah dapat terklasifikasikan berdasarkan parameter Qtn (tahanan konus yang normal) dan F_r (friction ratio) menjadi sembilan jenis (Gambar 2.9). Parameter Qtn berdasarkan pada pengukuran tahanan konus yang terkoreksi terhadap tegangan vertikal, tekanan pori berlebih dan area konus. Sedangkan nilai F_r (%) berdasarkan atas pengukuran tahanan gesek (f_s) terbagi dengan tahanan konus (q_e).

Maka nilai rasio friksi (FR) sebagai berikut :

$$F_r = (\text{fs/}qc) \times 100\%$$
 (9)

 f_s = tahanan gesek (MPa)

qc = tahanan konus (MPa)

Nilai tahanan konus (q_c) dikoreksi terhadap tekanan pori, sehingga mendapatkan nilai tahanan konus terkoreksi (q_t) sebagai:

$$Q_{tn} = q_c + u (1 - a)$$
 (10)

 q_c = tahanan konus (MPa)

u = tekanan pori (MPa)

a = rasio area konus

Berikut merupakan klasifikasi tanah berdasarkan Robertson (1990):

SBT zone Robertson et al (1986)	SBT _n zone Robertson (1990)	Proposed common SBT description	
1	1	Sensitive fine-grained	
2	2	Clay - organic soil	
3	3	Clays: clay to silty clay	
4 & 5	4	Silt mixtures: clayey silt & silty clay	
6 & 7	5	Sand mixtures: silty sand to sandy silt	
8	6	Sands: clean sands to silty sands	
9 & 10	7	Dense sand to gravelly sand	
12	8	Stiff sand to clayey sand*	
11	9	Stiff fine-grained*	

^{*} Overconsolidated or cemented

Gambar 2.8. Klasifikasi tanah berdasarkan pengukuran CPT (Robertson, 1990)

II.2.1.4 Standard Penetration Test (SPT)

Merupakan salah satu uji tanah yang paling sering terpakai, bertujuan untuk mengestimasi nilai kerapatan relatif dari lapisan tanah yang diuji. (Santoso,Budi,dkk.1998).

Tabel 2.2. Interpretasi konsistensi dan kuat geser tanah kohesif data N-SPT (Rogers, 2006).

ENDER

Konsistensi	kohesi (kPa)	N-SPT
sangat lunak	× 1963 ×	<2
Lunak	12 – 24	2-4
Teguh	24 – 48	4 - 8
Kaku	48 – 96	8 – 15
sangat kaku	96 – 192	15 – 30
Keras	192	>30

Tabel 2.3. Interpretasi tingkat kepadatan dan sudut geser tanah non kohesif dari data N-SPT (Mayerhoff,1956)

Konsistensi	kepadatan relatif (%)	Sudut geser dalam	N-SPT
sangat lepas	<0,2	>30	>4
Lepas	0,2 - 0,4	30 – 35	4 – 10
agak padat	0,4 - 0,6	35 – 40	10 – 30
Padat	0,6 - 0,8	40 – 45	30 – 50
sangat padat	>0,8	>45	>50

II.2.1.5 Berat Jenis Tanah

Parameter yang perlu dicari dalam memperhitungkan daya dukung tanah adalah berat jenis tanah. Merupakan perbandingan berat berat isi tanah dengan berat isi air (Wesley,L,D.2011). Dari data penimbangan dan pengukuran, dapat diperoleh nilai berat jenisnya dengan perhitungan menggunakan persamaan:

Gs =
$$\frac{c-a}{(b-a)T1-(d-c)T2}$$
 (11)

Gs: Berat jenis (N/m3)

a: Berat piknometer kosong (gram)

b: Berat piknometer + aquades sampai penuh (gram)

c : Berat piknometer + 1/3 tanah kering setelah dioven 24 jam (gram)

d : Berat piknometer + 1/3 tanah(sudah didiamkan 24 jam) + aquades (gram) T1 : Faktor koreksi suhu sebelum diisi tanah kering (°C)

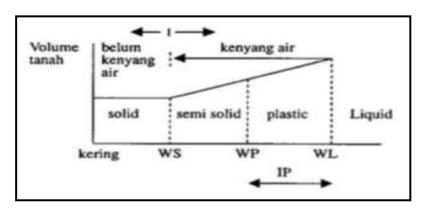
T2 : Faktor koreksi suhu setelah diisi 1/3 tanah (°C)

Tabel 2.4. Pembagian jenis tanah berdasarkan berat jenis (Hardiyatmo, 2012)

Berat Jenis	Macam Tanah		
2,65 - 2,68	Kerikil		
2,65 – 2,68	Pasir		
2,62 – 2,68	Lanau anorganik		
2,58 – 2,65	Lempung organic		
2,68 – 2,75	Lempung anorganik		
1,37	Humus		
1,25 – 1,80	Gambut		

II.2.1.6 Batas-batas Atterberg

Sifat-sifat fisik tanah kohesif berbutir halus seperti lempung dan lanau sangat dipengaruhi oleh kadar air tertentu yang dipengaruhi oleh konsistensi. Dapat berwujud cair, plastis, semi padat atau padat seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini. Kadar air dimana transisi dari keadaan semi padat ke keadaan plastis dinamakan batas plastis, dan dari keadaan plastis ke keadaan cair dinamakan batas cair. Batas tersebut dikenal sebagai Batas Atterberg (Das, 1995) (Gambar 2.8).



Gambar 2.9. Wujud fisik tanah dalam konsistensi tertentu.

Batas antara fase-fase tanah seperti di atas disebut batas-batas Atterberg. Batas-batas kadar air tersebut adalah (Tabel 2.3):

- a) Batas Cair (*Liquid Limit*) adalah kadar air pada perbatasan dari fase tanah antara keadaan plastis cair.
- b) Batas Plastis (*Plastic Limit*) adalah kadar air minimum dimana tanah masih dalam keadaan plastis.
- c) Batas susut (Shrinkage Limit) adalah batas kadar air dimana tanah tidak mengandung banyak air lagi.

Tabel 2.5. Harga-harga batas Atterberg untuk Mineral Lempung (Mitchel, 1976).

Mineral	Batas Cair	Batas Plastis
Montmorillonite	100-900	50-100
Illite	60-120	35-60
Nontronite	37-72	19-27
Kaolinite	30-110	25-40

Setiap tanah memiliki batas cair, batas plastis, batas susut, dan indeks plastisitas yang tidak sama satu dengan yang lainnya. Plastisitas rendah dengan batas cair < 35%, plastisitas sedang dengan batas cair 35% - 50%, dan plastisitas tinggi dengan batas cair > 50%.

II.2.1.7 Indeks Plastisitas

Indeks plastisitas (PI) merupakan selisih antara batas cair dan batas plastis. Batas plastis dan batas cair dipengaruhi oleh kadar air yang terkandung didalamnya. Indeks plastisitas suatu tanah (IP) menggambarkan sifat plastis tanah ketika diberi beban. Batas cair menjelaskan kondisi batas kadar air yang terkandung di tanah. Semakin tinggi

indeks plastisitas maka semakin baik pula tanah dalam menahan beban. Persamaannya adalah:

Indeks Plastisitas=
$$LL - PL$$
 (15)

Dimana,

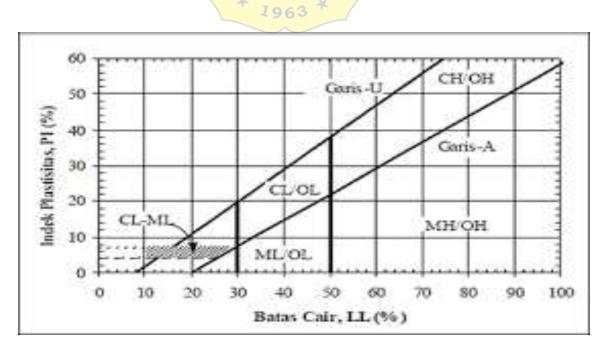
PI: indeks plastisitas (%)

LL: batas cair (%)

PL: batas plastis (%)

Tabel 2.6. Nilai plastisitas pada jenis tanah (Hardiyatmo, 2006).

Indeks Plastisitas	Jenis Tanah	Plastisitas	Kohesi
0	Pasir	Non plastis	Non kohesif
<7	Lanau	Rendah	Kohesif sedang
7-17	Lempung berlanau	Sedang	Kohesif
>17	Lempung Murni	Tinggi	Kohesif



Gambar 2.10. Diagram Plastisitas Cassagrande

II.2.1.8 Analisis ukuran butir

Sifat-sifat tanah sangat tergantung pada ukuran butirnya. Besar butir dijadikan dasar untuk pemberian nama dan klasifikasi tanahnya. Oleh karena itu, analisis butiran merupakan pengujian yang sangat sering dilakukan. Analisis ukuran butir tanah adalah penentuan presentase besar butiran pada satu unit saringan, dengan ukuran diameter lubang tertentu. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengetahui presentase susunan butir tanah sesuai dengan batas klasifikasinya sehingga dapat diketahui jenis contoh tanah yang diuji. Dalam pengujian ini digunakan standar ASTM D422-63 (1990). Percobaan ini terdiri dari dua macam pengujian yaitu:

- a) Analisis hidrometer, yaitu untuk mengetahui diameter butir tanah yang lebih kecil dari 0,074 mm atau lolos saringan no. 200
- b) Analisis butiran, yaitu untuk mengetahui diameter butir tanah yang lebih besar dari 0,074 mm atau tertahan saringan no. 200

Persamaan dari analisis ukuran butir adalah:

$$\% \frac{Tertahan}{Berat} = \frac{Berat \ sampel \ tertahan}{Berat \ total \ sampel} \ x \ 100\% \tag{16}$$

% Kumulatif tertahan =
$$\frac{\text{Berat sampel saringan+Berat sampel saringan (i+1)}}{\text{Berat total sampel}} \times 100\%$$
 (17)

$$\% Lolos = \frac{Berat \ total \ sampel-Berat \ sampel \ tertahan}{Berat \ total \ sampel} \ x \ 100$$
 (18)

Tabel 2.7. Tabel nilai K (*Effective depth*) untuk analisis hidrometer (ASTM D 422-63, 1990).

°C	Berat Jenis							
	2,50	2,55	2,60	2,65	2,70	2,75	2,80	2,85
16	0,0151	0,0148	0,0146	0,0144	0,0141	0,0139	0,0137	0,0136
17	0,0149	0,0146	0,0144	0,0142	0,0140	0,0138	0,0136	0,0134
18	0,0148	0,0144	0,0142	0,0140	0,0138	0,0136	0,0134	0,0132
19	0,0145	0,0143	0,0140	0,0138	0,0136	0,0134	0,0132	0,0131

20	0,0143	0,0141	0,0139	0,0137	0,0134	0,0133	0,0131	0,0129
21	0,0141	0,0139	0,0137	0,0135	0,0133	0,0131	0,0129	0,0127
22	0,0140	0,0137	0,0135	0,0133	0,0131	0,0129	0,0128	0,0126
23	0,0138	0,0136	0,0134	0,0132	0,0130	0,0128	0,0126	0,0124
24	0,0137	0,0134	0,0132	0,0130	0,0128	0,0126	0,0125	0,0123
25	0,0135	0,0133	0,0131	0,0129	0,0127	0,0125	0,0123	0,0122
26	0,0131	0,0131	0,0129	0,0127	0,0125	0,0124	0,0122	0,0120
27	0,0132	0,0130	0,0128	0,0126	0,0124	0,0122	0,0120	0,0119
28	0,0130	0,0128	0,0126	0,0124	0,0123	0,0121	0,0119	0,0117
29	0,0129	0,0127	0,0125	0,0123	0,0121	0,0120	0,0118	0,0116
30	0,0128	0,0126	0,0124	0,0122	0,0120	0,0118	0,0117	0,0115

Tabel 2.8. Tabel nilai a terhadap Gs untuk analisis hidrometer (ASTM D 422-63, 1990).

Berat Jenis Tanah (Gs)	Faktor Koreksi (a)
2,95	0,94
2,9	0,95
2,85	0,96
2,8	0,97
2,75	0,98
2,7	0,99
2,65	1
2,6	1,01
2,55	1,02
2,5	1,04
2,45	1,05

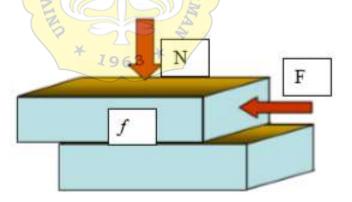
Tabel 2.9. Tabel nilai L (*Effective depth*) untuk analisis hidrometer (ASTM D 422-63, 1990).

Bacaan	Effective Depth	Bacaan	Effective Depth
Hidrometer (R)	(L(cm))	Hidrometer (R)	(L(cm))
0	16,3	31	11,2
1	16,1	32	11,1
2	16	33	10,9
3	15,8	34	10,7
4	15,6	35	10,5
5	15,5	36	10,4
6	15,3	37	10,2
7	15,2	38	10,1
8	15JENDE	39	9,9
9	14,8	40	9,7
10	14,7	41	9,6
11	14,5	42	9,4
12	14,3	43	9,2
13	14,2	44	9,1
14	14	45	8,9
15	13,8	46	8,8
16	13,7	47	8,6
17	13,5	48	8,4
18	13,3	49	8,3
19	13,2	50	8,1
20	13	51	7,9
21	12,9	52	7,8
22	12,7	53	7,6
23	12,5	54	7,4

24	12,4	55	7,3
25	12,2	56	7,1
26	12	57	7
27	11,9	58	6,8
28	11,7	59	6,6
29	11,5	60	6,5
30	11,4		

II.2.1.9 Uji Geser Tanah (Direct Shear Test)

Uji Geser Langsung (*Direct Shear Test*) merupakan uji laboratorium pada sampel tanah yang diambil dari lapangan. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban geser sampai benda uji mencapai keruntuhan. Tegangan geser didefinisikan besarnya gaya geser per satuan luas. Gaya geser yang dimaksud adalah gaya yang arahnya sejajar bidang geser, dengan luasan adalah luasan dari bidang geser yang ditinjau (Gambar 2.10 dan Gambar 2.11).



Gambar 2.11. Gaya geser yang bekerja dengan luasan bidang geser.

Gaya geser yang bekerja adalah F, dengan A adalah luasan bidang geser maka akan menimbulkan tegangan geser. Sehingga, dapat dirumuskan:

$$\tau = \frac{F}{A} \tag{19}$$

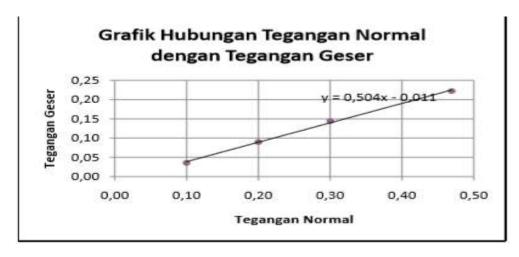
Sistem gantungan dan pemberian beban digunakan untuk pemberian tegangan normal (vertikal) pada contoh. Alat pendorong kemudian akan memberikan gaya horizontal

pada bagian bawah kotak, sementara bagian atasnya tetap diam. Gaya horizontal diberikan dengan memakai kecepatan deformasi yang tetap. Deformasi dan gaya diukur sampai pengujian selesai dalam empat kali pengujian. Dari pengujian pertama sampai keempat berat beban berbeda semua yaitu 3,167 kg, 6,334 kg, 9,501 kg, dan terakhir 12,668 kg.



Gambar 2.12. Alat Uji geser Langsung

Masing-masing hasil pengujian dibuat dalam bentuk grafik, yang pertama adalah kurva tegangan terhadap penurunan, dan yang kedua adalah tegangan geser (nilai keruntuhan atau nilai puncak) terhadap tegangan normal. Garis yang melalui titik ini menjelaskan nilai C dan v dari tanah tersebut. Selanjutnya, data tegangan normal dan tegangan geser masukkan ke dalam data excel sehingga memperoleh grafik dengan persamaan. Dari persamaan tersebut memperoleh nilai kohesi dan sudut geser untuk memasukkan ke dalam rumus kapasitas dukung tanah Terzaghi (1943).



Gambar 2.13. contoh grafik hasil dari uji geser langsung.

II.2.2 Tinjauan Umum Batulempung

Batulempung menurut Pettijohn (1975) adalah batuan yang pada umumnya bersifat plastis, berkomposisi hidrous alumunium silikat (2H2OAl2O3. 2SiO2) atau mineral lempung yang mempunyai ukuran butir halus. Karena ukuran butirnya yang sangat halus maka sulit untuk mendeskripsi batulempung secara megaskopis maupun mikroskopis, sehingga analisis kimia merupakan informasi yang penting untuk mengetahui komposisi batulempung. Komposisi dominan pada batulempung adalah silika yang merupakan bagian kelompok mineral lempung, pada umumnya berasal dari feldspar. Unsur besi pada batulempung hadir sebagai oksida, berupa pirit atau markasit dan siderit. Jumlah oksida besi pada batu lempung biasanya tercermin pada warna dari batuan tersebut. Selain mineral mineral tersebut dapat pula hadir mineral karbonat yang berupa bahan-bahan organik, anorganik atau kombinasi dari keduanya).

II.2.2.1 Jenis-Jenis Batulempung

Batu lempung mempunyai karakteristik yang berbeda satu dengan yang lain. Hal tersebut kemungkinan terpengaruhi oleh lingkungan tempat pembentukan batu lempung tersebut. Batu lempung yang pembentukannya di lingkungan danau berbeda dengan batu lempung yang terbentuk di laut. Pada umumnya, batuan yang terbentuk di laut akan mengandung fosil binatang laut dan memiliki lapisan yang tebal. Berdasarkan ada tidaknya proses pengangkutan (transportasi), batulempung dapat terbagi menjadi dua yaitu:

1. Residual Clay

Merupakan hasil pelapukan yang masih insitu atau belum mengalami transportasi. Ciri-ciri fisik dari batuan ini tergantung pada iklim, pengairan dan batu induknya. Batulempung jenis ini terbentuk pada area sekitar batu induknya dan pada umumnya mempunyai mutu yang lebih baik daripada *transported clays*.

2. Transported Clays

Batulempung yang sudah tertransportasi dapat berasal dari tiga sumber yaitu: produk dari abrasi, produk dari pelapukan yang tertransportasi, pencampuran unsur kimia dan biokimia. Batulempung ini selama proses pengendapan atau pengangkutan sangat mungkin terkotori oleh mineral yang berukuran halus antara lain kuarsa, oksida besi dan bahan organisme.

II.2.2.2 Mineral Lempung

Lempung adalah mineral yang mempunyai sifat plastis saat basah, dengan ukuran butir yang sangat halus dan mempunyai komposisi dalam jumlah besar berupa hydrous alluminium dan magnesium silicate (ASTM). Batas atas ukuran butir untuk lempung umumnya adalah kurang dari 2μm (1μm=0,000001). Dalam pemahaman masyarakat awam, kata lempung dan batulempung memiliki arti yang sama. Hal tersebut tentunya kurang tepat jika berdasarkan ilmu geologi. Lempung (clay) memiliki pemahaman yang berbeda jika mengacu pada teori ilmiah dan industri. Dalam dunia geologi lempung sendiri merupakan salah satu istilah untuk menyebutkan ukuran butir sedimen yang kurang dari 4 mikron (Wenthworth, 1992). Mineral ini merupakan mineral sekunder yang terbentuk karena proses pemecahan akibat iklim dan alterasi air (hidrous alteration) pada suatu batuan induk. Sumber utama dari mineral lempung adalah pelapukan kimiawi dari batuan yang mengandung felspar ortoklas, felspar plagioklas, mika atau silika aluminium komples. Mineral lempung dapat terbentuk dari hampir setiap jenis batuan selama terdapat cukup banyak alkali dan tanah alkali untuk dapat membuat terjadinya reaksi kimia atau dekomposisi (Suprapto, 2016). Dalam bidang industri, clay memiliki ar<mark>ti sebagai semua material baik</mark> merupakan kelompok mineral lempung ataupun bukan dari mineral lempung yang memiliki ukuran kurang dari 1/256mm. Lempung mempunyai ciri khas dan sifat koloid seperti plastis, kohesif dan kemampuan mengabsorbsi air. Kohesi adalah sifat bahan yang bagian-bagiannya melekat satu sama lain, sedangkan plastisitas merupakan sifat yang memungkinkan bentuk bahan tersebut berubah-ubah tanpa ada perubahan isi atau tanpa kembali ke bentuk aslinya (Wesley, 1977).

II.2.3 Berat Volume Tanah dan Hubungan-hubungannya.

a. Kadar air (w)

Adalah perbandingan antara berat air (W_w) dengan berat butiran padat (W_s) , dan dinyatakan dalam persen.

$$w(\%) = \frac{ww}{ws} \times 100\% \tag{20}$$

b. Porositas (n)

Adalah perbandingan antara volume rongga (V_v) dengan volume total (V). Nilai n dapat dinyatakan dalam persen atau desimal.

$$n = \frac{Vv}{V} \tag{21}$$

c. Angka pori (e)

Adalah perbandingan antara volume rongga (V_v) dengan volume butiran (V_s) , biasanya dinyatakan dalam desimal.

$$e = \frac{Vv}{Vs} \tag{22}$$

d. Berat jenis tanah lembab atau basah (γb)

Adalah perbandingan antara berat butiran tanah termasuk air dan udara (W) dengan volume total tanah (V).

$$\gamma b = \frac{W}{V} \tag{23}$$

f. Berat jenis tanah padat (γs)

Adalah perbandingan antara berat butiran padat (Ws) dengan volume butiran padat (Vs).

$$\gamma s = \frac{Ws}{Vs} \tag{24}$$

g. Derajat kejenuhan (S)

Adalah perbandingan volume air (V_w) dengan volume total rongga pori tanah (V_v) biasanya dinyatakan dalam persen.

$$S(\%) = \frac{Vw}{Vs} \times 100\% \tag{25}$$

Tabel 2.10. Derajat kejenuhan dan keadaan tanah.

Keadaan tanah	Derajat Kejenuhan (S)
Tanah Kering	0
Tanah agak lembab	>0-0,25
Tanah Lembab	0,26-0,50

Tanah Sangat Lembab	0,51-0,75
Tanah Basah	0,76-0,99
Tanah Jenuh air	1

II.2.4 Penurunan Tanah (Amblesan)

Penambahan beban suatu permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah bawah mengalami pemampatan. Pemampatan tersebut akibat pengaruh deformasi partikel tanah, relokasi partikel, keluarnya air atau udara dari dalam pori, dan lain-lain. Secara umum, penurunan pada tanah disebabkan oleh pembebanan yang dapat terbagi menjadi dua kelompok besar yaitu:

- 1. Penurunan konsolidasi (*Consolidation Settlement*) yang merupakan hasil dari perubahan volume tanah jenuh air sebagai akibat dari keluarnya air yang menempati pori-pori tanah.
- 2. Penurunan segera (*Immediate Settlement*) yang merupakan akibat dari deformasi elastis tanah kering, basah dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air. Perhitungan penurunan segara umumnya berdasarkan pada penurunan yang diturunkan dari teori elastisitas.

Jika suatu lapisan tanah jenuh air mendapat penambahan beban, angka tekanan air pori akan naik secara mendadak. Pada tanah berpasir yang permeabel, air dapat mengalir dengan cepat sehingga pengaliran air pori keluar sebagai akibat dari kenaikan tekanan air pori dapat selesai dengan cepat. Keluarnya air dari dalam pori selalu dengan berkurangnya volume tanah. karena air pori dalam tanah berpasir dapat mengalir keluar dengan cepat, maka penurunan segera dan penurunan konsolidasi terjadi bersamaan.

Jika suatu lapisan tanah lempung jenuh air termampatkan kemudian mendapat penambahan tegangan, maka penurunan akan terjadi dengan segera. Koefisien rembesan lempung sangat kecil dibandingkan dengan koefisien rembesan pasir sehingga penambahan tekanan air pori yang terjadi oleh pembebanan akan berkurang secara lambat dalam waktu yang sangat lama. Jadi untuk tanah lempung lembek, perubahan volume karena keluarnya air dalam pori (yaitu konsolidasi) akan terjadi setelah

penurunan segera. Penurunan konsolidasi tersebut biasanya jauh lebih besar dan lebih lambat serta lebih lama dibandingkan dengan penurunan segera.

Konsolidasi adalah suatu proses perubahan volume tanah akibat keluarnya air pori yang terjadi akibat peningkatan tekanan air dalam lapisan tanah jenuh air yang terberi beban sampai terjadi kondisi seimbang. Pengujian konsolidasi bertujuan untuk mendapatkan nilai koefisien konsolidasi (C_v). koefisien konsolidasi merupakan parameter yang menghubungkan perubahan tekanan pori terhadap waktu, berikut merupakan persamaan dari koefisien konsolidasi:

$$c_{v} = \frac{TiH^{2}}{ti} \tag{26}$$

Dengan

 c_{v} adalah koefisien konsolidasi

Ti adalah faktor waktu

H adalah panjang lintasan drainase terpanjang untuk sebuah partikel air ti adalah waktu untuk terjadinya konsolidasi

Pada konsolidasi, terdapat istilah rasio overkonsolidasi atau *Over Consolidation Ratio* (*OCR*). Perhitungan nilai OCR tanah lempung dapat dilakukan berdasarkan data konsolidasi tanah tak terganggu dan pengukuran CPT.

Nilai OCR terdefinisikan sebagai rasio tegangan yang pernah diterima sebelumnya pada massa deposisi endapan dibandingkan dengan tegangan yang diterima saat ini.

Berdasarkan nilainya, rasio overkonsolidasi (OCR) dapat diklasifikasikan sebagai berikut (US Army Corps Engineers, 1990):

- OCR>1 terkonsolidasi berlebih (*over consolidated*)
- OCR 1-3 terkonsolidasi sedikit berlebih (*lightly overconsolidated*)
- OCR>6 terkonsolidasi banyak (heavily overconsolidated)
- OCR=1 terkonsolidasi normal (normally overconsolidated)
- OCR<1 belum terkonsolidasi/tanah masih mengalami proses konsolidasi (underconsolidated)

Amblesan adalah penurunan muka tanah yang terjadi secara alamiah, akibat konsolidasi maupun penurunan tekanan air tanah atau akuifer dibawahnya akibat perbuatan manusia karena pengambilan air tanah yang berlebihan. Amblesan tanah dapat terjadi karena pemampatan endapan aluvial secara alami, pembebanan bangunan, pengurugan tanah dan ekstraksi air tanah melebihi kemampuannya (Holtz, 1981).

Kecepatan laju amblesan atau penurunan bergantung pada dua faktor utama, yaitu:

- 1. Daya rembesan air tanah (permeabilitas). Parameter ini yang menentukan kecepatan air mengalir dari tanah.
- 2. Kompresibilitas tanah. sifat ini yang menentukan banyaknya air yang harus mengalir.

Perhitungan laju amblesan tanah dalam kasus ini menggunakan metode analitik (perhitungan manual) berdasarkan pada data konsolidasi tanah daerah penelitian. Berikut persamaan-persamaan untuk perhitungan laju amblesan tanah:

1. Lempung tak terkonsolidasi

$$Sc = Cc \frac{H}{1 + eo} \log \frac{\rho r_1}{\rho r_0}$$
 (27)

- 2. Lempung terkonsolidasi berlebihan (Overconsolidation Clay)
 - a. Jika $\rho'_1 < \rho'_0$

$$Sc = C_r \frac{H}{1 + eo} \log \frac{\rho t_1}{\rho t_0} \tag{28}$$

Sc =
$$C_r \frac{H}{1+eo} \log \frac{\rho r_1}{\rho r_0}$$
 (28)
b. Jika $\rho'_1 > \rho'_0$ Sc = $C_r \frac{H}{1+eo} \log \frac{\rho r_1}{\rho r_0} + C_c \frac{H}{1+eo} \log \frac{\rho r_1}{\rho r_0}$ (29)

- 3. Lempung terkonsolidasi (under-consolidated clay)
 - a. OCR<1

$$Sc = Cc \frac{H}{1+eo} \left[log \frac{\delta' vo + \Delta \delta v}{\delta' vo} + log \frac{\delta' vo}{\delta' vo - \Delta \delta v} \right]$$
(30)

b. OCR=1

$$Sc = Cc \frac{H}{1 + eo} \log \frac{\delta' vo + \Delta \delta v}{\delta' vo}$$
(31)

Pada umunya, penelitian ingin mengetahui besarnya penurunan pada jangka waktu tertentu atau yang biasa disebut dengan derajat konsolidasi (degree of consolidation) yang memiliki persamaan:

$$U = \frac{Penurunan\ pada\ waktu\ t}{Penurunan\ setelah\ selesai\ (t=\infty)}$$
(32)

Untuk menyederhanakan perhitungan kecepatan penurunan, maka menggunakan hubungan antara U dengan t. t merupakan faktor waktu dengan persamaan sebagai berikut:

$$t = Tv.Ht^2/Cv (33)$$

t = waktu

T = faktor waktu

Cv = koefisien konsolidasi

