

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

Tanah merupakan himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak diatas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik atau oksida-oksida yang mengendap diantara partikel-partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya.

Butiran-butiran mineral yang membentuk bagian padat dari tanah merupakan hasil pelapukan dari batuan. Pelapukan adalah proses terurainya batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil akibat proses mekanis maupun kimia. Pelapukan mekanis dapat disebabkan oleh memuai dan menyusutnya batuan akibat perubahan panas dan dingin yang terus menerus (cuaca, matahari, dan lain-lain) yang akhirnya dapat menyebabkan hancurnya batuan tersebut.

Unsur fisik lainnya yang dapat menyebabkan pecahnya batuan adalah es gletser, angin, gelombang, air laut, dan air yang mengalir dikali atau sungai.

Proses kimiawi menghasilkan menghasilkan perubahan pada susunan mineral bahan asalnya. Pelapukan kimiawi menghasilkan pembentukan kelompok-kelompok partikel kristal berukuran koloid ($< 0,002$ mm) yang dikenal sebagai mineral lempung.

3.2 Klasifikasi Tanah

Umumnya penentuan sifat-sifat tanah banyak dijumpai dalam masalah teknis yang berhubungan dengan tanah. Sistem klasifikasi tanah adalah suatu pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa kedalam kelompok- kelompok dan subkelompok-kelompok pemakaiannya.

Ada tiga (3) macam cara klasifikasi tanah yang umum digunakan yaitu :

1. Klasifikasi tanah dengan cara *Unified System*
2. Klasifikasi tanah berdasarkan USCS
3. Klasifikasi tanah dengan cara AASHTO.

3.2.1 Klasifikasi tanah dengan cara *Unified System*

Klasifikasi berdasarkan *Unified system*, tanah dikelompokkan menjadi tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika lebih dari 50% lolos saringan no.200. Selanjutnya tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan sub kelompok. Sistem klasifikasi dalam *Unified system* dapat dilihat dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Klasifikasi tanah system Unified (Suyono Sosrodarsono, Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi, 1990, hal 3)

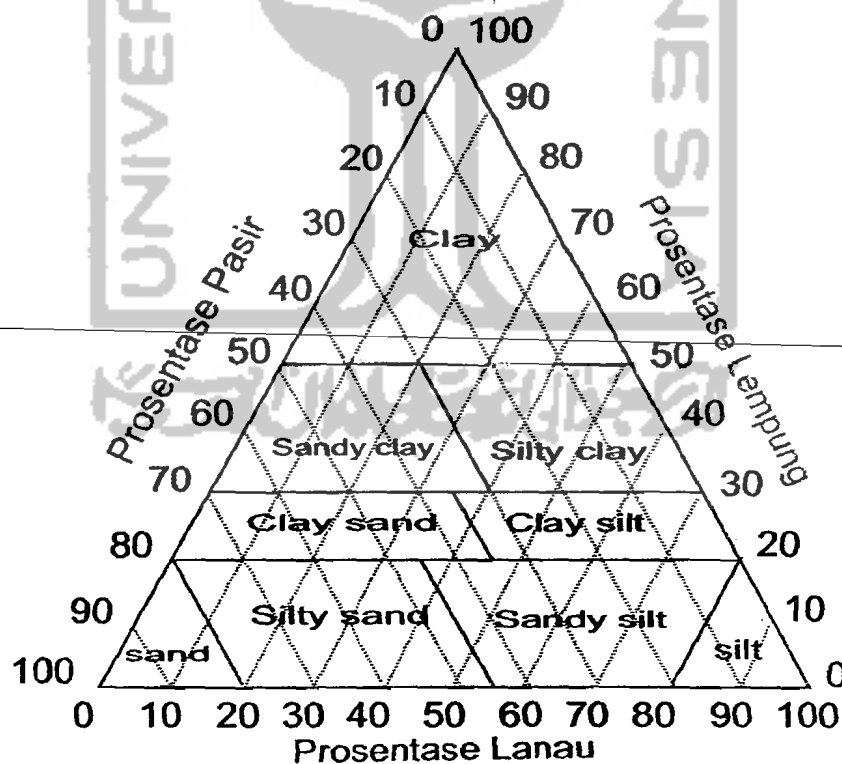
| Divisi Utama | | Simbol Kelompok | Nama Jenis | | Nama Jenis |
|---|---|---|---|--|---|
| Tanah berbutir kasar 57% butiran tertahan saringan no. 200 (0,075 mm) | Kerikil 50% atau lebih dan fraksi kasar tertahan saringan no. 4 (4,75 mm) | Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus) | GW | Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus | $C_u \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4, C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \text{ antara 1 dan 3}$ Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ |
| | | Kerikil banyak kandungan butiran halus | GP | Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil atau tidak mengandung butiran halus | |
| | | Kerikil banyak kandungan butiran halus | GM | Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir-lempung | |
| | | | GC | Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir-lempung | |
| | Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm) | Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus) | SW | Pasir gradasi baik, pasir berkerakil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus. | $C_u \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6, C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \text{ antara 1 dan 3}$ Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ |
| | | | SP | Pasir gradasi buruk, pasir kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus. | |
| | | Kerikil banyak kandungan butiran halus | SM | Pasir berlanau, campuran pasir-lanau | |
| | | | SC | Pasir berlempung, campuran pasir-lempung | |
| Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm) | Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang | ML | Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung | Klasifikasi berdasarkan prosentase butiran halus, kurang dari 5% lolos saringan no. 200 GW, GP, SW, SP. Lebih dari 12% lolos saringan no. 200 GM, GC, SM, SC. 5% - 12% lolos saringan no. 200. Batasan klasifikasi yang memuat nama simbol dibel. Diagram plastisitas Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar. Batas Atterberg yang terletak dalam daerah yang diarsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol. | |
| | | CL | Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerakil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung lurus ('lean clays') | | |
| | | OL | Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah. | | |
| | Lanau dan lempung batas cair > 50% | MH | Lanau tak organik atau pasir halus distomat, lanau elastis. | | |
| | | CH | Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ('fat clays') | | |
| | | OH | Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi | | |
| Tanah dengan kadar organik tinggi | | P _t | Gambut ('peat') dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi | Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488 | |

3.2.2 Klasifikasi tanah berdasarkan USCS

Tekstur tanah dipengaruhi oleh ukuran tiap-tiap butir yang ada dalam tanah. Pada umumnya tanah asli merupakan campuran dari butir-butir yang mempunyai ukuran yang berbeda-beda. Dalam klasifikasi tanah berdasarkan tekstur, tanah diberi nama atas dasar komponen utama yang dikandungnya, misal lempung berpasir (*sandy clay*), lempung berlanau (*silty clay*) dan seterusnya.

Gambar 3.1 menunjukkan system klasifikasi tanah berdasarkan tekstur, system ini didasarkan pada ukuran batas dari ukuran tanah, yaitu:

1. Pasir : butiran dengan diameter 2,0 sampai 0,05 mm
2. Lanau : butiran dengan diameter 0,05 sampai 0,002 mm
3. Lempung : butiran dengan diameter lebih kecil dari 0,002 mm



Gambar 3.1 Klasifikasi Tanah berdasarkan USCS

3.2.3 Klasifikasi tanah berdasarkan AASTHO

Sistem klasifikasi tanah AASTHO dikembangkan pada tahun 1929 dan sudah mengalami beberapa perbaikan, sedangkan yang berlaku untuk saat ini yaitu ASTM Standar no. D-3282, AASHTO metode M145 yang diperkenalkan pada tahun 1945 (Braja M. Das, I, 1995).

Tabel 3.2 Klasifikasi AASHTO untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya
(Braja M. Das, 1995).

| Klasifikasi umum | material granuler (<35% lolos saringan no.200) | | | | Tanah-tanah lanau-lempung (>35% lolos saringan no.200) | | | |
|--|---|---------|--|---------|---|---------|---------------------|-----------------------|
| | A-1 A-1-a-A-1- b | A-3 | A-2 A-2-4 A-2-5 | | A-4 | A-5 | A-6 | A-7 A-7-5 A-7-6 |
| Analisis saringan (% lolos) | | | | | | | | |
| 2.00 mm (no.10) | 50 maks | - | - | - | - | - | - | - |
| 0,425 mm (no.40) | 30 maks | 51 maks | - | - | 51 min | 51 min | 51 min | 51 min |
| 0,075 mm (no.200) | 50 maks | 10 maks | 35 maks | 35 maks | 10 maks | 10 maks | 10 maks | 10 maks |
| | 15 maks | | | | | | | |
| | 25 maks | | | | | | | |
| Sifat fraksi lolos saringan no.40 | | | | | | | | |
| Batas Cair (LL) | - | - | 40 maks | 41 min | 40 maks | 41 min | 40 maks | 41 min |
| Indeks Plastis(PI) | 6 maks | np | 10 maks | 10 maks | 10 maks | 10 maks | 11 min | 11 min |
| Indeks kelompok (GI) | 0 | 0 | 0 | 4 maks | 8 maks | 12 maks | 16 maks | 20 maks |
| Tipe material yang pokok pada umumnya | pecahan batu kerikil dan pasir | pasir | Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir | | tanah berlanau | | tanah berlempung | |
| Penilaian umum Sebagai tanah dasar | sangat baik sampai baik | | | | sedang sampai buruk | | | |

Catatan : Kelompok A-7 dibagi atas A-7-5 dan A-7-6 bergantung pada batas plastisnya (PL)

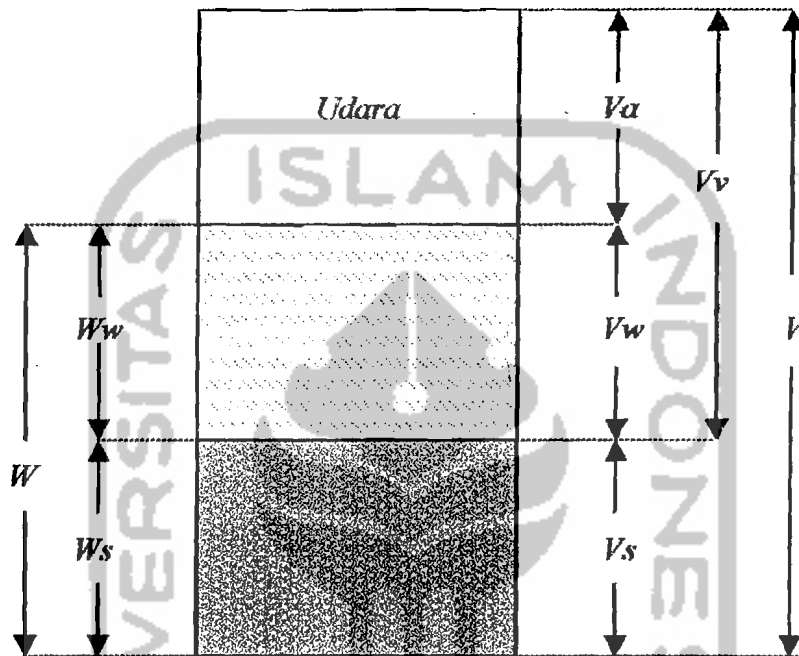
Untuk $PL > 30$ klasifikasinya A-7-5

Untuk $PL < 30$ klasifikasinya A-7-6

np = non plastis

3.3 Pengujian Sifat Fisik Tanah

Suatu sampel tanah yang diperhatikan dan diamati, secara nyata akan terlihat bahwa tanah terdiri dari tiga bahan, yaitu butiran padat, air dan udara. Hubungan antar fase tersebut dapat ditampilkan dalam Gambar 3.2 .



Gambar 3.2. Tiga fase elemen tanah (Braja M. Das, I. 1995)

Dari gambar tersebut dapat dibentuk persamaan-persamaan :

$$W = W_s + W_w \dots\dots\dots(3.1)$$

$$V = V_s + V_w + V_a \dots\dots\dots(3.2)$$

$$V_v = V_w + V_a \dots\dots\dots(3.3)$$

Keterangan :

W_s = berat butiran padat

W_w = berat air

V_s = volume butiran padat

V_w = volume air

V_a = volume udara

V_v = volume pori

Hubungan volume dan hubungan berat yang umum dipakai untuk suatu elemen tanah adalah :

1. Kadar air tanah (w), yaitu perbandingan antara berat air dengan berat butiran tanah.

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad (3.4)$$

2. Angka pori (e), yaitu perbandingan antara volume rongga pori tanah dengan volume butiran padat tanah.

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (3.5)$$

3. Berat isi tanah (γ), yaitu perbandingan antara berat butiran padat tanah dengan volume butiran padat tanah.

$$\gamma = \frac{W_s}{V_s} \quad (3.6)$$

- a. Berat volume tanah kering (γ_d), yaitu perbandingan antara berat butiran tanah dengan volume tanah seluruhnya.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (3.7)$$

- b. Berat volume tanah basah (γ_b), adalah perbandingan antar berat total tanah dengan volume tanah seluruhnya.

$$\gamma_b = \frac{(W_s + W_w)}{V} \quad (3.8)$$

c. Berat volume tanah butiran padat (γ_s), yaitu perbandingan antara berat butiran tanah dengan isi butiran tanah.

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \dots\dots\dots(3.9)$$

d. Berat jenis tanah (G_s), yaitu perbandingan antara berat volume butiran tanah dengan berat volume air.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \dots\dots\dots(3.10)$$

e. Porositas (n), yaitu perbandingan volume rongga pori tanah dengan volume tanah seluruhnya.

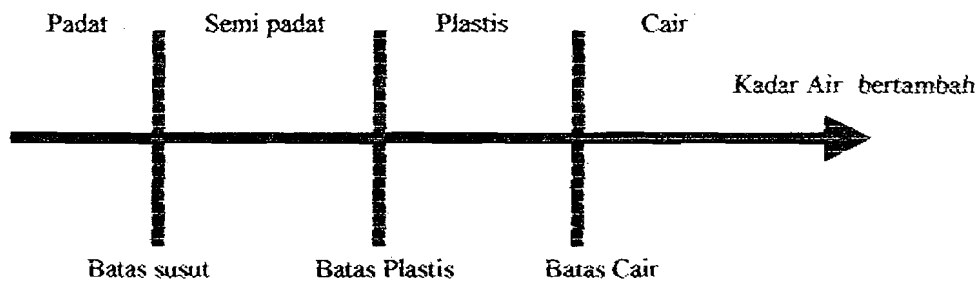
$$n = \frac{V_v}{V} \times 100\% \dots\dots\dots(3.11)$$

f. Derajat kejenuhan (S), yaitu perbandingan antara volume air dengan volume rongga pori tanah.

$$S = \frac{V_w}{V_s} 100\% \dots\dots\dots(3.12)$$

g. Konsistensi tanah

Konsistensi tanah adalah kedudukan fisik tanah berbutir halus pada kadar air tertentu. Konsistensi dari tanah lempung dan tanah kohesif lainnya sangat dipengaruhi oleh kadar air dari tanah. Berdasarkan air yang dikandung tanah, tanah dapat dipisahkan ke dalam empat keadaan dasar, yaitu padat, semi padat, plastis, dan cair, seperti yang ditunjukkan Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Batas-batas Atterberg (Braja M. Das, I, 1995)

Batas-batas konsistensi tanah yang didasarkan kepada kadar air, yaitu:

1. *Batas Cair/ liquid limit (LL)*

Batas Cair (*LL*) didefinisikan sebagai tanah yang apabila diuji dengan alat casagrande maka kedua bagian tanah dalam mangkok yang terpisah oleh alur selebar 2 mm akan menutup sepanjang 12,7 mm dalam 25 kali pukulan.

2. *Batas Plastis/ plastic limit (PL)*

Batas Plastis (*PL*) didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara tanah keadaan plastis dengan keadaan semi padat. Pada kondisi ini apabila tanah digulung menjadi batangan berdiameter 3,2 mm akan terjadi retak-retak pada saat digulung.

3. *Batas Susut/ shrinkage limit (SL)*

Batas Susut (*SL*) didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara tanah keadaan semi padat dengan keadaan padat, yaitu prosentase kadar air dimana pengurangan air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanahnya.

Tingkatan plastis tanah dapat ditentukan berdasar indek plastisitasnya.

Indek Plastisitas (*PI*) adalah selisih batas cair dan batas plastis.

$$PI = LL - PL \dots\dots\dots(3.13)$$

3.4 Tanah Lempung

Lempung adalah tanah berbutir halus yang memiliki sifat kohesi, plastisitas, tidak memperlihatkan sifat dilatasi dan tidak mengandung jumlah bahan kasar yang berarti. Lempung merupakan kumpulan butiran mineral kristalin yang bersifat mikroskopis dan berbentuk serpihan-serpihan atau pelat-pelat (Hary Christiady H, 1994). Dari segi ukuran lempung didefinisikan sebagai golongan partikel yang berukuran kurang dari 0,002 mm dan tidak mempunyai sifat plastis bila tidak dicampur dengan air (Bowles, 1986).

3.5 Stabilisasi Tanah

Apabila dalam suatu proyek pembangunan terdapat tanah yang tidak sesuai disebabkan sifatnya yang lunak, mempunyai indeks konsistensi yang terlalu tinggi, mempunyai permeabilitas yang terlalu tinggi, atau mempunyai sifat lain yang tidak diinginkan maka tanah tersebut harus distabilkan.

Stabilisasi tanah dapat terdiri dari salah satu kombinasi dari pekerjaan berikut (Ingel dan Metcalf, 1977) :

1. Stabilisasi Mekanik

Stabilisasi mekanik adalah stabilisasi yang dilakukan untuk mendapatkan kepadatan tanah yang maksimum yang dilakukan dengan menggunakan peralatan mekanis seperti mesin gilas (*roller*), benda berat yang dijatuhkan (*pounder*), ledakan (*explosive*), tekanan statis, tekstur, pembekuan, dan pemanasan.

2. Stabilisasi Fisik

Stabilisasi fisik adalah stabilisasi yang dilakukan untuk merubah sifat-sifat tanah dengan cara pemanasan (*heating*), pendinginan (*cooling*), dan menggunakan arus listrik. Salah satu jenis stabilisasi fisik yang sering dipakai adalah pemanasan.

3. Stabilisasi Kimia

Stabilisasi kimia adalah stabilisasi yang dilakukan dengan memberikan bahan kimia pada tanah sehingga mengakibatkan terjadinya perubahan sifat-sifat tanah tersebut. Pencampuran kimia yang sering dilakukan adalah dengan menambahkan semen, kapur, abu batu bara, aspal, geosta dan lain sebagainya pada tanah.

3.6 Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Kuat geser tanah dapat dinyatakan dalam persamaan Coloumb :

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad \dots \dots \dots (3.14)$$

τ = kuat geser tanah

σ = tegangan normal pada bidang runtuh

ϕ = sudut gesek dalam tanah

c = kohesi tanah

3.7 Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah adalah kemampuan tanah memikul tekanan maksimum yang diijinkan bekerja pada tanah dasar pondasi. Dalam analisis daya dukung tanah yang dipelajari adalah kemampuan tanah dalam mendukung beban pondasi yang bekerja di atasnya. Bila tanah mengalami pembebanan seperti pondasi maka tanah akan mengalami penurunan, jika beban ditambah maka penurunannya juga bertambah. Apabila terjadi kondisi pada beban tetap pondasi mengalami penurunan yang sangat besar, menunjukkan bahwa keruntuhan daya dukung telah terjadi.

Daya dukung ultimit (q_u) adalah beban maksimum per satuan luas, pada kondisi ini tanah masih dapat mendukung beban dengan tanpa mengalami keruntuhan. Persamaannya adalah :

$$q_u = \frac{P_u}{A} \dots\dots\dots(3.15)$$

q_u = daya dukung ultimit atau daya dukung batas (kg/cm^2)

P_u = beban ultimit atau beban batas (kg/cm^2)

A = luas area beban (cm^2)

3.8 Daya Dukung Meyerhoff

Meyerhoff (1963) memberikan persamaan untuk daya dukung pondasi, dengan mempertimbangkan bentuk pondasi, eksentrisitas beban, kemiringan beban, dan kuat geser tanah diatas dasar pondasinya.

Rumus daya dukung unlimit berdasarkan teori Meyerhoff adalah sebagai berikut (Hary Christiady H, 1994) :

$$q_u = s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot c \cdot N_c + s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot \gamma \cdot D_f \cdot N_q + s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot 0,5 \cdot B' \cdot \gamma \cdot N_\gamma \quad (3.16)$$

di mana :

q_u = daya dukung keseimbangan /ultimit (kg/cm²)

N_c, N_q, N_γ = faktor daya dukung untuk pondasi

s_c, s_q, s_γ = faktor pengaruh bentuk pondasi

d_c, d_q, d_γ = faktor pengaruh kuat geser tanah diatas dasar pondasi

i_c, i_q, i_γ = faktor kemiringan beban

B' = lebar terkecil pondasi (m)

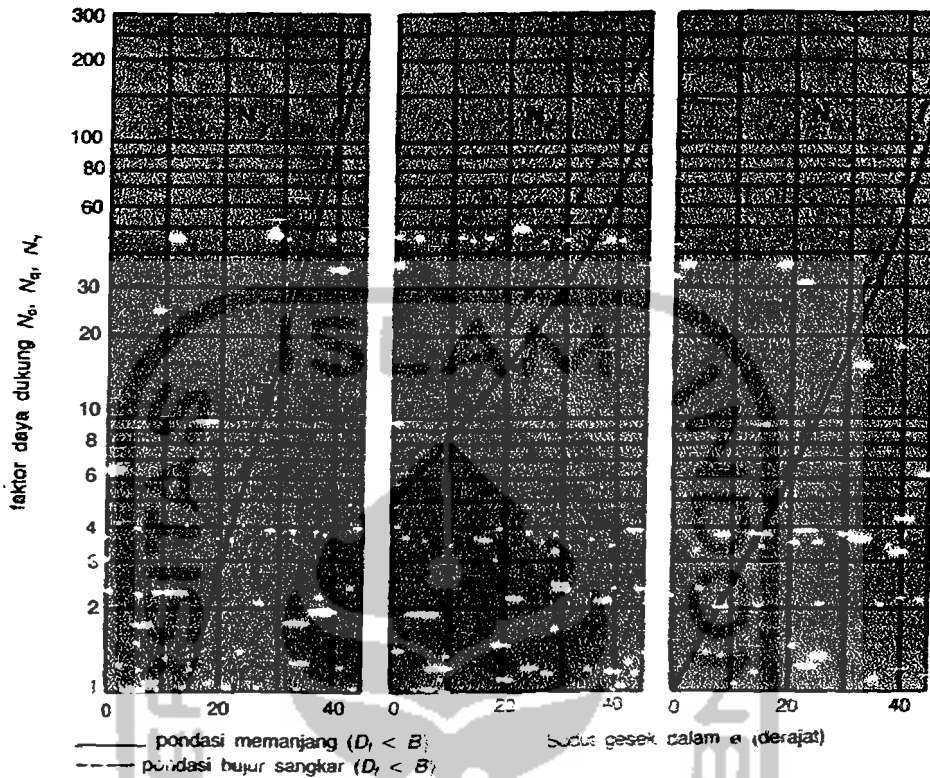
D_f = kedalaman pondasi (m)

γ = berat volume tanah (gr/ cm³)

c = kohesi (kg/cm²)

Nilai – nilai faktor daya dukung untuk pondasi bujur sangkar dan memanjang dapat dilihat pada Gambar 3.4.

Jika $\phi = 0$, $N_\gamma = 0$, $N_c = 5,14$, $N_q = 1$ untuk pondasi memanjang
 $N_\gamma = 0$, $N_c = 6,16$, $N_q = 1$ untuk pondasi bujur sangkar



Gambar 3.4. Faktor daya dukung teori Meyerhoff (Hary Christiady H, 1994)

Dari gambar tersebut diperoleh persamaan - persamaan :

$$s_c = 1 + \frac{B \left[\frac{N_c(\text{bujur sangkar})}{N_c(\text{memanjang})} - 1 \right]}{L} \dots \dots \dots (3.17a)$$

$$s_q = 1 + \frac{B \left[\frac{N_q(\text{bujur sangkar})}{N_q(\text{memanjang})} - 1 \right]}{L} \dots \dots \dots (3.17b)$$

$$s_\gamma = 1 + \frac{B \left[\frac{N_\gamma(\text{bujur sangkar})}{N_\gamma(\text{memanjang})} - 1 \right]}{L} \dots \dots \dots (3.17c)$$

dengan : B = lebar pondasi
 L = panjang pondasi

Untuk faktor kedalaman, Meyerhoff memberikan koreksi sebagai berikut:

$$dc = 1 + 0,2 \frac{Df}{B} \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \dots\dots\dots(3.18a)$$

$$dq = d\gamma = 1 + 0,1 \frac{Df}{B} \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right); \text{ untuk } \phi = 0 \dots\dots\dots(3.18b)$$

Faktor – faktor kemiringan beban pada daya dukung pondasi dengan dasar yang kasar, dengan resultan beban terdapat di pusat luasan pondasi dengan kemiringan sebesar δ dengan arah vertikal dinyatakan oleh:

$$ic = iq = \left(1 - \frac{\delta^\circ}{90^\circ} \right)^2 \dots\dots\dots(3.19a)$$

$$iy = \left(1 - \frac{\delta^\circ}{\phi} \right)^2 \dots\dots\dots(3.19b)$$

Untuk beban yang arahnya vertikal $ic = iq = iy = 1$

3.9 Serbuk Batu Bara

Dewasa ini banyak industri baik besar maupun kecil yang menggunakan batu bara sebagai bahan energi karena dinilai lebih ekonomis dan efisien. Unsur kimia terbesar yang terdapat pada batu bara adalah karbon (C). Serbuk batu bara (*fly ash*) merupakan hasil sampingan dari pembakaran batubara yang mengandung amorphous silika, aluminium oksida, besi oksida dan oksida lainnya dalam berbagai variasi jumlah. Abu yang dihasilkan oleh batu bara sangat besar manfaatnya, antara lain sebagai bahan pencampur semen, aditif dalam stabilisasi tanah dan lain sebagainya. Seiring dengan meningkatnya penggunaan batu bara

oleh masyarakat maka perlu di tingkatkan pula dalam penanganan limbah yang dihasilkan dari pembakaran batu bara ini.

(Sumber : www.tekmira.com, opened at December, 1th, 2005)

3.10 Serbuk Gypsum

Dalam ilmu kimia, gipsum disebut sebagai Kalsium Sulfat Hidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), yaitu suatu material yang termasuk kedalam mineral sulfat yang berada di bumi dan nilainya sangat menguntungkan. Keuntungan penggunaan gipsum dalam pekerjaan teknik sipil :

1. Gipsum yang dicampur lempung dapat mengurangi retak karena sodium pada tanah tergantikan oleh kalsium pada gipsum sehingga pengembangannya lebih kecil.
2. Gipsum dapat meningkatkan stabilitas tanah organik karena mengandung kalsium yang mengikat tanah bermateri organik terhadap lempung yang memberikan stabilitas terhadap agregat tanah.
3. Gipsum meningkatkan kecepatan rembesan air, dikarenakan gipsum lebih menyerap banyak air.

(Sumber : www.minerals.net, opened at December, 1th, 2005)