

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Formula Daya Dukung untuk Tanah Jenuh

Persamaan daya dukung secara tradisional telah dikembangkan untuk tanah jenuh berdasarkan parameter kuat geser jenuh. Persamaan Terzaghi yang banyak digunakan mengasumsikan pondasi yang menerima beban vertikal yang berada pada tanah homogen dan akhirnya mencapai kegagalan.

$$q_u = \alpha \cdot N_c + q N_q + \beta 0.5 B \gamma N_\gamma \quad (2-1)$$

Dimana ;

q_u = Daya dukung *ultimate*

α, β = Faktor bentuk pondasi

c' = Kohesi tanah efektif

q = Tekanan tanah tambahan

B = Lebar pondasi

γ = Berat volume tanah

N_c, N_q dan N_γ = Faktor daya dukung sebagai fungsi dari sudut gesek dalam tanah ϕ Adapun

nilai α, β dan Tabel faktor daya dukung (Terzaghi)

Tabel 2.1 Faktor bentuk pondasi

Bentuk Pondasi	α	β
Lajur	1	0,5
Persegi	1,3	0,4
Lingkaran	1,3	0,3

Tabel 2.2 Faktor daya dukung

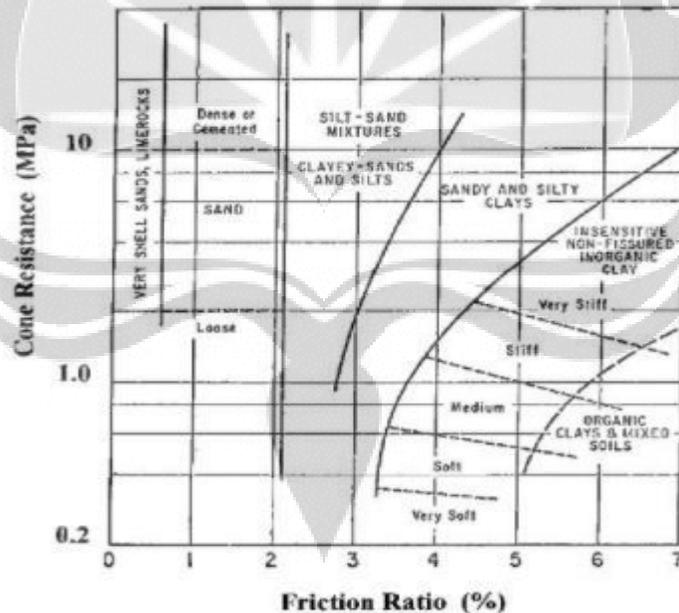
N_c	N_q	N_γ	Φ	N_c'	N_q'	N_γ'
5.7	1	0	0	5.7	1	0
7.3	1.6	0.5	5	6.7	1.4	0.2
9.6	2.7	1.2	10	8	1.9	0.5
12.9	4.4	2.5	15	9.7	2.7	0.9
17.7	7.4	5	20	11.8	3.9	1.7
25.1	12.7	9.7	25	14.8	5.6	3.2
37.2	22.5	19.7	30	19	8.3	5.7
57.8	41.4	42.4	35	25.2	12.6	10.1
95.7	81.3	100.4	40	34.9	20.5	18.8

2.2 Data Tanah

Menggunakan data tanah yang berasal dari Lab Mekanika Tanah Universitas Atma Jaya Yogyakarta pada proyek Asram Edu Global, Jl Padjajaran, Yogyakarta diperoleh hasil tentang jenis tanah pada setiap kedalaman, sehingga dapat membuat stratifikasi tanah. Pembuatan stratifikasi tanah menggunakan data dari sondir.

2.2.1 Data Sondir

Alat sondir atau *Duch Cone Penetrometer Test (CPT)* adalah alat berbentuk silinder dengan ujung berupa konus. Alat sondir memberikan tekanan konus ada atau tanpa hambatan lekatan (*friction resistance*) yang dikorelasikan pada parameter tanah : undrained shear strength, kompresibilitas tanah dan mempekirakan jenis tanah. Nilai dari q_c dan FR dapat dikorelasikan terhadap jenis tanah. Hubungan tekanan konus (q_c) dan Friction Ratio (FR) dan jenis tanah dapat dilihat pada grafik Schmertmann, 1978, pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Grafik hubungan tekanan konus (q_c), Friction Ratio (FR) dan jenis tanah

Tabel 2.3 Hubungan antara kepadatan, relative density, nilai N, qc dan ϕ
(sumber : Begemann, 1965)

Kepadatan	Relative Density (Dr)	Nilai N	Tekanan konus qc (kg/cm ²)	Sudut geser dalam (ϕ°)
<i>Very loose</i>	< 0.2	< 4	< 20	< 30
<i>Loose</i>	0.2 – 0.4	4 – 10	20 – 40	30 – 35
<i>Medium dense</i>	0.4 – 0.6	10 – 30	40 – 120	35 – 40
<i>Dense</i>	0.6 – 0.8	30 – 50	120 – 200	40 – 45
<i>Very dense</i>	0.8 – 1.0	> 50	> 200	> 45

2.3 Parameter Tanah

2.3.1 Angka Pori

Angka pori (e) adalah perbandingan volume rongga (V_v) dengan volume butiran (V_s).

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (2-2)$$

Dimana :

e : Angka Pori

V_v : Volume rongga

V_s : Volume Butiran

Nilai angka pori didapatkan dari website *geotesting.info*.

2.3.2 Berat jenis

Berat jenis adalah perbandingan antara berat volume butiran tanah dan berat volume air, yang dinyatakan :

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (2-3)$$

Dimana :

G_s : Angka Pori

γ_s : Berat volume butiran tanah

γ_w : Berat volume air

Berat jenis tanah diperoleh dari hasil pengujian lab mekanika tanah.

2.3.3 Poisson Ratio

Poisson ratio adalah perbandingan antara regangan transversal dan regangan aksial. Nilai poisson rasio ditentukan berdasarkan jenis tanah pada tabel 2.4 :

Tabel 2.4. Nilai Perkiraan Angka Poisson Tanah (Bowles, 1997)

Jenis Tanah	Poisson Ratio (ν')
Lempung jenuh	0,4 – 0,5
Lempung tak jenuh	0,1 – 0,3
Lempung berpasir	0,2 – 0,3
Lanau	0,3 – 0,35
Pasir	0,1 – 1,0
Batuan	0,1 – 0,4
Umum dipakai untuk tanah	0,3 – 0,4

(Sumber : Buku Mekanika Tanah, Braja M. Das Jilid 2)

2.3.4 Kohesi

Kohesi adalah gaya geser menarik antar partikel dalam tanah. Kohesi akan semakin besar jika kekuatan gesernya bertambah besar, Nilai kohesi didapatkan dari pengujian geser langsung dan uji triaxial.

2.3.5 Sudut Gesek

Sudut geser merupakan sudut yang terbentuk dari hubungan tegangan normal dan tegangan geser. Sudut geser bersama dengan kohesi adalah factor dari kuat geser tanah yang mengukur ketahanan tanah pada deformasi akibat tegangan tanah. Nilai dari sudut geser didapat dari pengujian pengujian geser langsung dan uji triaxial.

2.3.6 Elastic Modulus

Adalah kemiringan kurva tegangan regangan pada daerah deformasi elastis. Nilai elastisitas tanah dapat dicari menggunakan data sondir dan boring yaitu dengan rumus :

$$E = 479 (N + 15) \text{ kN/m}^2 \quad (2-4)$$

Dimana :

E = Elastic Modulus

N = Nilai dari pengujian boring

Tabel 2.5. Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah (Bowles, 1997)

Macam Tanah	E (Kg/cm ²)
LEMPUNG	
Sangat Lunak	3 – 30
Lunak	20 – 40
Sedang	45 – 90
Berpasir	300 – 425
PASIR	
Berlanau	50 – 200
Tidak Padat	100 – 250
Padat	500 – 1000
PASIR DAN KERIKIL	
Padat	800 – 2000
Tidak Padat	500 – 1400
LANAU	
LOESS	20 – 200
CADAS	150 – 600
	1400 – 14000

2.3.7 Porositas

Porositas adalah ukuran ruang antara material, dan merupakan perbandingan antara ruang kosong dan total volume.

$$\phi = \frac{V_v}{V_T} \quad (2-5)$$

Dimana :

V_v = Volume ruang kosong
 V_T = Volume total

2.4 Transisi Kondisi Jenuh ke Tak Jenuh dalam Penelitian Sebelumnya

Hubungan kapasitas dukung klasik tidak memperhitungkan keadaan tanah tak jenuh kecuali beberapa koreksi kecil pada tegangan tanah tambahan dan berat volume tanah berdasarkan lokasi muka air tanah (Bowles 1996). Faktanya, peran utama dari *matric suction* dalam peningkatan kuat geser sama sekali diabaikan. Untuk mengatasi keterbatasan ini, beberapa modifikasi diterapkan pada persamaan kapasitas daya dukung konvensional dalam beberapa dekade terakhir. Brom (1963), yang menyelidiki perilaku perkerasan lentur pada tanah jenuh, mengamati bahwa setiap kenaikan derajat kejenuhan akan menurunkan daya dukung tanah. Kesimpulan serupa diambil untuk daya dukung pondasi dangkal pada dua jenis pasir pada keadaan jenuh dan tidak jenuh (Steensen-Bach dkk. 1987). Kekuatan kapiler dilaporkan bertanggung jawab atas kapasitas

tanah tak jenuh yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanah jenuh. Oloo dkk. (1997) Mempertimbangkan pengaruh *matric suction* pada daya dukung ultimate secara sistematis dengan memodifikasi persamaan Terzaghi. Konsep dua variabel keadaan stres yang diperkenalkan oleh Fredlund dan Morgenstern (1977) digunakan untuk memodifikasi kohesi dalam komponen pertama persamaan sebagai berikut:

$$q_u = (c' + (u_a - u_w) \tan \phi^b) N_c + q N_q + 0.5 B \gamma N_\gamma \quad (2-6)$$

Dimana

q_u = Daya dukung ultimate

c' = Kohesi tanah

$(u_a - u_w)$ = *Matric suction*

ϕ^b = Sudut gesekan internal karena kontribusi *matric suction*

q = Tekanan tanah tambahan

B = Lebar pondasi

γ = Berat volume tanah

N_c, N_q dan N_γ = Faktor daya dukung sebagai fungsi dari sudut gesek dalam tanah ϕ

2.5 Konsep Tegangan Efektif pada Tanah Tak Jenuh

Persamaan daya dukung mekanika tanah tak jenuh, kemajuan pertama diambil oleh Bishop (1959) ketika ia memperbarui teori tegangan efektif Terzaghi untuk tanah tak jenuh. Berdasarkan persamaan ini, *matric suction* digabungkan dengan persamaan stres efektif Terzaghi. *Matric suction* dijelaskan sebagai perbedaan antara tekanan udara (u_a) dan tekanan air pori (u_w). Ini adalah parameter terpenting untuk mempengaruhi sifat teknik tanah tak jenuh seperti daya dukung, permeabilitas, kekuatan geser, konsolidasi dan sebagainya (Fredlund dan Rahardjo, 1993; Oh et al., 2012; Gulsen dan Senol, 2014)

$$\sigma' = (\sigma - u_a) + \chi(u_a - u_w) \quad (2-7)$$

Dimana:

σ' = Tegangan efektif dari tanah tak jenuh,

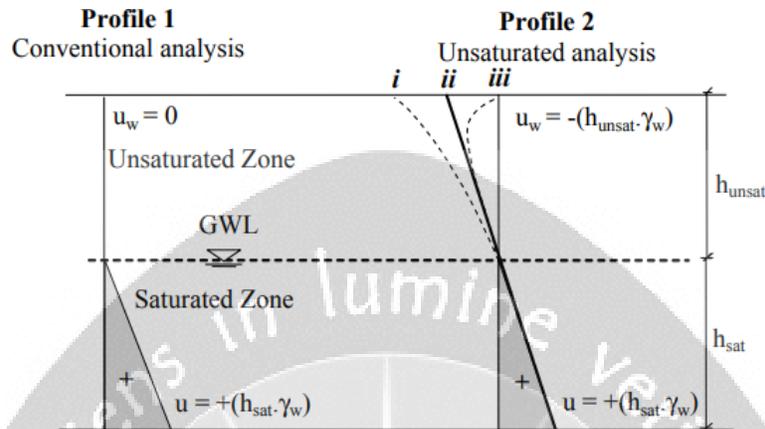
$(\sigma - u_a)$ = Net normal stress

$(u_a - u_w)$ = *Matric suction*

χ = Parameter tegangan efektif Bishop.

Nilai χ , seperti yang disarankan oleh Bishop, hanyalah derajat kejenuhan tanah, dan mengarah ke $\chi = 1$ (atau perubahan tegangan efektif sama dengan perubahan tekanan air pori mengenai

tekanan udara yang ada) untuk yang jenuh keadaan dan $\chi = 0$ (atau perubahan tegangan efektif adalah nol) untuk keadaan kering (Oh et al., 2012).



Gambar 2.2 Perbedaan konvensional analisis dan *unsaturated* analisis (Fredlund and Rahardjo 1993)

Dengan tujuan untuk mengidentifikasi perilaku tanah tak jenuh, Fredlund dan Rahardjo (1993) membuat dua skenario pori yang umum. Profil distribusi tekanan yang diilustrasikan pada Gambar 2.2 yang mencakup analisis tak jenuh dan analisis konvensional. Profil 1 merupakan analisa konvensional yang mengabaikan pengaruh *matric suction*, sedangkan Profil 2 menampilkan variasi *matric suction* diatas permukaan air tanah,. Untuk profil tanah tak jenuh, tiga berbeda Asumsi distribusi tekanan air pori negatif adalah mungkin. Kondisi tersebut adalah kondisi saat evaporasi (I), kondisi setimbang (II) dan kondisi saat infiltrasi (III). Fredlund dan Rahardjo (1993) memberikan persamaan kuat geser tanah tak jenuh untuk Profil 2 yang ditunjukkan pada Gambar 2.2

$$\tau_{\text{unsat}} = c' + (\sigma_f - u_a) \tan \phi' + (u_a - u_w) \tan \phi^b \quad (2-8)$$

Dimana ;

τ_{unsat} = Kuat geser dari tanah tak jenuh,

c' = Kohesi efektif,

$(\sigma_f - u_a)$ = Tegangan normal

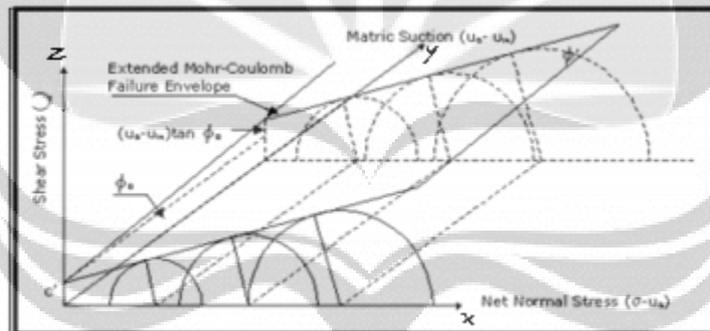
ϕ' = Sudut gesekan internal efektif,

$(u_a - u_w)$ = *Matric suction*

ϕ^b = Sudut gesekan internal karena kontribusi *matric suction*.

Pada persamaan diatas menunjukkan bahwa kekuatan geser dari tanah meningkat dengan meningkatnya matric suction atau penurunan kadar air. Parameter kekuatan geser untuk tanah tak jenuh adalah kohesi efektif (c'), sudut geser efektif (ϕ'), dan sudut (ϕ^b). Sudut ϕ^b merupakan peningkatan kekuatan geser terhadap matric suction. Matric suction mempengaruhi kekuatan geser tanah melalui volume pori yang diisi dengan air. Ketika matric suction bertambah maka nilai udara masuk, matric suction adalah sepenuhnya efektif di seluruh volume pori dalam meningkatkan kekuatan geser yang ditunjukkan dengan nilai ϕ^b yaitu sebesar ϕ' .

Kekuatan geser suatu tanah tak jenuh dapat dinyatakan dalam bentuk variabel kondisi tegangan independen untuk tanah yang tidak jenuh; yaitu, tegangan normal ($\sigma - u_a$) dan matric suction, ($u_a - u_w$), dimana σ adalah total tegangan. Persamaan kuat geser untuk tanah tak jenuh dapat digambarkan menggunakan model keruntuhan Mohr Coulomb yang di kembangkan seperti pada Gambar 2.3.

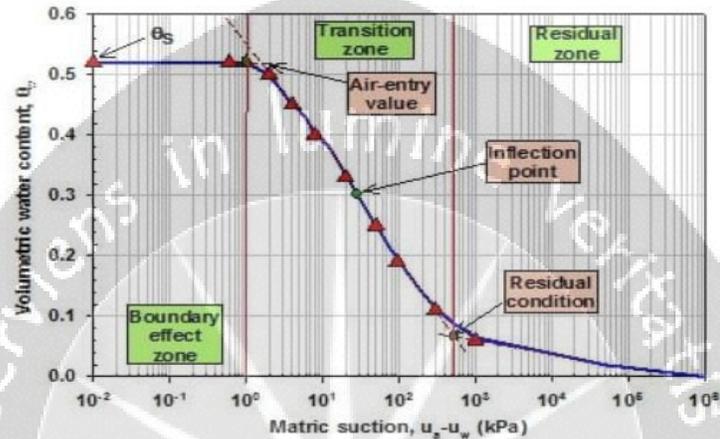


Gambar 2.3 Model Kegagalan Mohr Coulomb untuk tanah tak jenuh

Gambar 2.3 menampilkan hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser yang mana garis miring merupakan garis selubung keuntuhan. Pada gambar 2.3 kukuatan geser diplot ke persamaan (2-8), saat tanah jenuh ketika matric suction melalui sumbu y, persamaan (2-8) menjadi persamaan kuat geser untuk tanah tak jenuh. Oleh karena itu, persamaan ini dapat diterapkan untuk tanah baik jenuh dan tak jenuh tergantung pada matric suction tanah.

2.6 Soil Water Characteristic Curve (SWCC)

Soil water characteristic curve adalah grafik hubungan jumlah air tanah yang mempengaruhi perubahan matric suction tanah (L'Heureux, 2005). Jumlah air yang dimaksud adalah *volumetric content* (θ_w), kadar air gravimetric (w), atau derajat kejenuhan (S). juga sering diartikan sebagai retention curve atau volumetric water content curve yang menggambarkan kemampuan tanah untuk menyimpan dan melepaskan air.



Gambar 2.4 Soil Water Characteristic Curve(SWCC)

Gambar 2.4 menampilkan hubungan tentang *matric suction* dengan *volumetric water content*. Saat tanah dalam kondisi jenuh, *volumetric water content* memiliki nilai yang terbesar sedangkan *matric suction* memiliki nilai yang tekecil. Saat udara mulai masuk, nilai *volumetric water content* mengalami penurunan dan nilai *matric suction* mulai meningkat hingga pada kondisi kering nilai *volumetric water content* berada pada nilai terkecil dan nilai *matric suction* pada nilai terbesarnya. Banyak model parameterik untuk mempresentasikan SWCC, salah satunya model yang di usulkan oleh van Genuchten (VGM) dalam bentuk :

$$Se = \frac{S - S_r}{1 - S_r} = (1 + (\alpha\psi)^n)^{-m} \quad (2-9)$$

Dimana :

- Sr = residual saturation
- Se = effective saturation
- ψ = *matric suction* (kPa)
- α = parameter *matric suction* (kPa⁻¹)
- n = parameter terkait dengan distribusi ukuran pori.