

BAB II

DASAR TEORI

Pada bab ini akan dibahas mengenai dasar-dasar teori dan beberapa pengetahuan dari parameter tanah, tekanan tanah lateral, pondasi *boredpile*, *secant pile* dan pengenalan program *Plaxis* versi 8.2.

2.1. Parameter Tanah

Dalam mendesain bangunan geoteknik, diperlukan data tanah yang dapat mempresentasikan kondisi tanah di lapangan. Data yang diperlukan dapat berupa data pengujian laboratorium dan data hasil pengujian lapangan. Pengambilan sampel tanah dan pengujian laboratorium tidak dilakukan pada seluruh lokasi melainkan di tempat-tempat yang memungkinkan dan dianggap mewakili lokasi sebenarnya.

Kelengkapan data dalam penyelidikan lapangan menentukan akurasi dalam perencanaan, tetapi tidak semua data dapat diperoleh dengan lengkap. Hal tersebut terkait dengan masalah biaya pengambilan sampel atau kendala nonteknis yang terjadi di lapangan. Oleh karena itu, perencana harus dapat mengambil asumsi yang dipertanggungjawabkan dengan nilai kesalahan yang minimal. Asumsi tersebut diperoleh dari korelasi empiris yang telah dilakukan oleh ahli-ahli geoteknik dan mengacu pada pemahaman mekanika tanah yang baik.

2.1.1. Berat Isi (γ_{sat} dan γ_{unsat})

Berat Volume atau berat isi (γ) merupakan berat tanah per satuan volume, jadi:

$$\gamma = \frac{\text{Berat } (W)}{\text{Volume } (V)} \quad (2.1)$$

Hubungan antara densitas dan berat volume

$$\gamma \left(\frac{kN}{M^3} \right) = \frac{g \cdot \rho \left(\frac{kg}{m^3} \right)}{1000} \quad (2.2)$$

$$\text{Dimana : } \rho = \frac{\text{massa } (m)}{\text{Volume } (V)} \quad (2.3)$$

Untuk parameter berat jenis berbagai jenis tanah sebagai pendekatan jika data lapangan dan data laboratorium tidak ada.

Tabel 2.1 Korelasi empiris antara nilai N-SPT dengan *unconfined compressive strength* dan berat jenis tanah jenuh (γ_{sat}) untuk tanah kohesif.

N SPT (Blows/ft)	Konsistensi	q_u (Unconfined Compressive Strength) tons/ft ²	γ_{sat} kN/m ³
< 2	Very soft	< 0.25	16 - 19
2 - 4	Soft	0.25 - 0.50	16 - 19
4 - 8	Medium	0.50 - 1.00	17 - 20
8 - 15	Stiff	1.00 - 2.00	19 - 22
15 - 30	Very stiff	2.00 - 4.00	19 - 22
> 30	Hard	> 4.00	19 - 22

(Lambe & Whitman (1948) dalam "Stabilitas Tebing Pada Proyek Jalan Tol Semarang –Ungaran Sta 6+000 Sampai Sta 6+250." Dimitri Leon dan Bonifasius Widya P)

Korelasi untuk menentukan berat jenis tanah (γ) dan berat jenis tanah jenuh (γ_{sat}) pada tanah kohesif dan non kohesif dapat dilihat pada tabel 2.2 dan tabel 2.3.

Tabel 2.2 Korelasi Berat Jenis Tanah (γ) Untuk Tanah Non Kohesif dan Kohesif.

	Cohesionless Soil				
N	0 - 10	11-30	31 - 50	> 50	
Unit Wieght γ , kN/m ³	12 - 16	14 - 18	16 - 20	18 - 23	
Angle of Friction ϕ	25 - 32	28 - 36	30 - 40	>35	
State	Loose	Medium	Dense	Very Dense	
	Cohesive				
N	< 4	4 - 6	6 - 15	16 - 25	> 25
Unit Wieght γ , kN/m ³	14 - 18	16 - 18	16 - 18	16 - 20	> 20
Angle of Friction ϕ	< 25	20 - 50	30 - 60	40 - 200	> 100
State	Very Soft	Soft	Medium	Stiff	Hard

(Whilliam T., Whitman ,Robert V., (1962) dalam "Stabilitas Tebing Pada Proyek Jalan Tol Semarang –Ungaran Sta 6+000 Sampai Sta 6+250." Dimitri Leon dan Bonifasius Widya P)

Tabel 2.3 Korelasi Berat Jenis Tanah Jenuh (γ_{sat}) Untuk Tanah Non Kohesif.

Description	Very Loose	Loose	Medium	Dense	Very Dense
N SPT					
Fine	1 - 2	3 - 6	7 - 15	16 - 30	
Medium	2 - 3	4 - 7	8 - 20	21 - 40	> 40
Coarse	3 - 6	5 - 9	10 - 25	26 - 45	> 45
ϕ					
Fine	26 - 28	28 - 30	30 - 34	33 - 38	
Medium	27 - 28	30 - 32	32 - 36	36 - 42	< 50
Coarse	28 - 30	30 - 34	33 - 34	40 - 50	
γ_{sat} (kN/m ³)	11 - 16	14 - 18	17 - 20	17 - 22	20 - 23

(Whilliam T., Whitman ,Robert V., (1962) dalam "Stabilitas Tebing Pada Proyek Jalan Tol Semarang –Ungaran Sta 6+000 Sampai Sta 6+250." Dimitri Leon dan Bonifasius Widya P)

2.1.2. Parameter Kekakuan (E dan ν)

Parameter kekakuan dinyatakan dalam modulus elastisitas (E) dan *poisson ratio* (ν). Modulus Elastisitas (E) adalah Perbandingan antara tegangan dan regangan dari suatu benda. Besarnya modulus elastisitas dinyatakan dalam N/m²

atau kN/m^2 . *Poisson ratio* (ν) merupakan regangan arah horizontal dibagi dengan regangan arah vertikal.

$$\text{Regangan horizontal: } \varepsilon_h = \frac{\delta_h}{H_h} \quad (2.4)$$

$$\text{Regangan vertikal: } \varepsilon_v = \frac{\delta_v}{H_v} \quad (2.5)$$

$$\text{Jadi, } \textit{Poisson ratio} (\nu) = \frac{\varepsilon_h}{\varepsilon_v} \quad (2.6)$$

Angka *poisson ratio* dapat didekati dengan melihat jenis tanah dan nilai modulus elastisitas tanah tersebut. Secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut:

Tabel 2.4 Korelasi Modulus Elastis (E_s) dengan Nilai N-SPT

Jenis Tanah	N-SPT (kN/m^2)
Sand (Normally consolidated)	$E_s = 500 (N + 15)$
	$E_s = 7000 \cdot N \cdot 0,5$
	$E_s = 6000 \cdot N$
	$E_s = (15000 \text{ to } 22000) \text{ In } N$
Sand (saturated)	$E_s = 250 (N + 15)$
Sand, all (normally consolidated)	$E_s = (2600 \text{ to } 2900) N$
Sand (overconsolidated)	$E_s = 4000 + 1050 N$
	$E_{s(ocr)} = E_{s(ocr)(ocr)} 0,5$
Gravelly sand	$E_s = 1200 (N + 6)$
	$E_s = 600 (N + 6), N < 15$
Clayey Sand	$E_s = 320 (N + 15)$
Silt, sandy silt or clayey silt	$E_s = 300 (N + 6)$

Sumber : Bowles (1991)

Tabel 2.5 Modulus Es untuk Berbagai jenis tanah

JENIS TANAH	Es (10^3 kN/m ²)
Clay	
very soft	2 - 15
soft	5 - 25
medium	15 - 50
hard	50 - 100
sandy	25 - 100
Glacial till	
loose	10 - 150
dense	150 - 720
very dense	500 - 1440
loess	15 - 60
Sand	
silty	5 - 20
loose	10 - 25
dense	50 - 81
Sand & Gravel	
loose	50 - 150
dense	100 - 200
Shale	144 - 14400
Silt	2 - 20

Sumber : Bowles (1991)

Tabel 2.6 Hubungan tipe tanah dengan Modulus Young dan *Poisson Ratio*

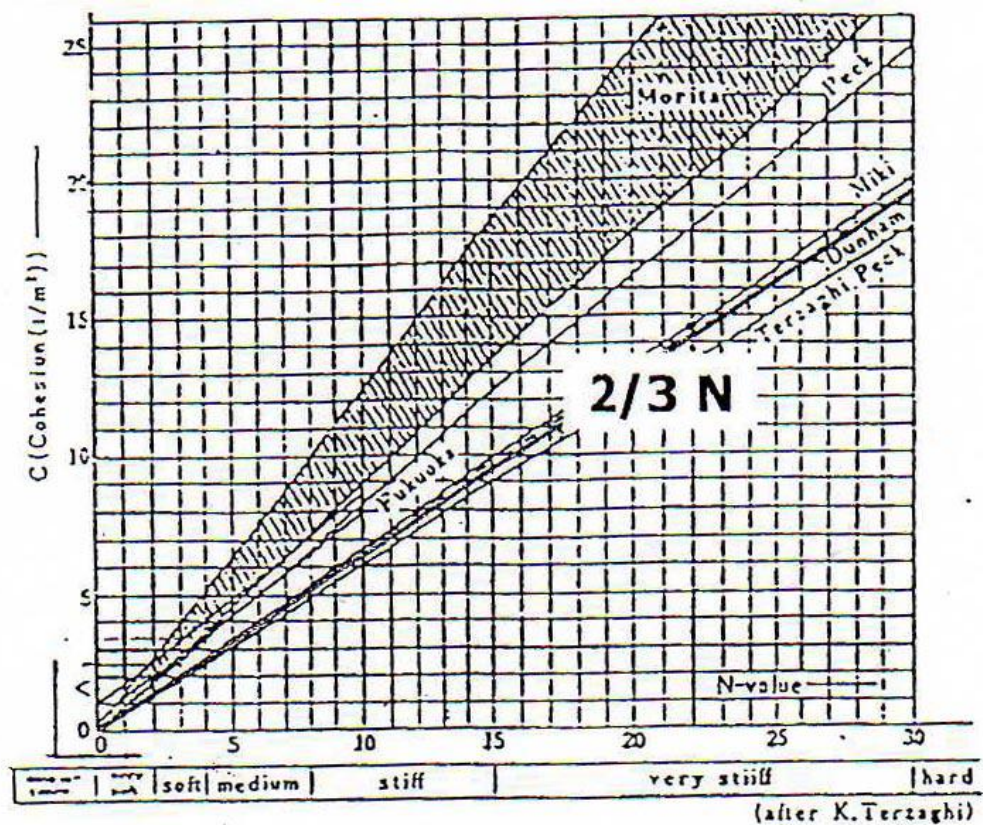
Type of soil	Young's modulus, Es		Poisson's ratio
	MN/m ²	lb/in ²	
Loose sand	10.35 - 24.15	1500 - 3500	0.20 - 0.40
Medium dende sand	17.25 - 27.60	2500 - 4000	0.25 - 0.40
Dense sand	34.50 - 55.20	5000 - 8000	0.30 - 0.45
Silty sand	10.35 - 17.25	1500 - 2500	0.20 - 0.40
Sand and Gravel	69.00 - 172.50	10000 - 25000	0.15 - 0.35
soft clay	2.07 - 10.35	300 - 750	0.20 - 0.50
Medium clay	5.18 - 10.35	750 - 1500	
Stiff clay	10.35 - 24.15	1500 - 3500	

Sumber : Braja M.Das, 1996

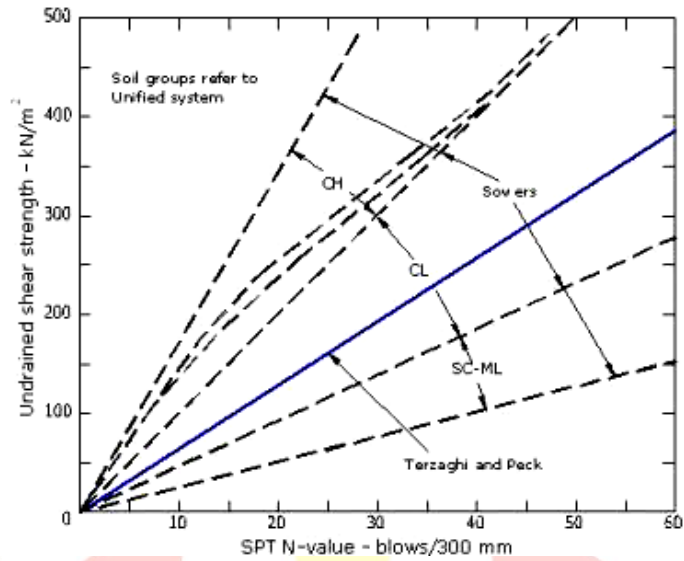
2.1.3. Parameter Kekuatan (c , ϕ dan ψ)

- Kohesi (c)

Kohesi merupakan nilai yang timbul akibat adanya lekatan/ikatan antar butiran tanah. Parameter kohesi (c) dapat ditentukan dari nilai N-SPT.



Gambar 2.1 Grafik Korelasi Antara Kohesi (c) Dengan N-SPT



Gambar 2.2 Grafik Korelasi Antara S_u Dengan N-SPT

- Sudut geser / *friction angle* (ϕ)

Sudut geser / *friction angle* diperoleh dari kekasaran antar butiran tanah. Sudut geser atau sudut geser dalam merupakan penambahan dari *shear strength* dengan *stress level*. Sudut geser yang besar ditemui pada tanah yang berbutir. Contohnya pada *dense sand*.

Harga sudut geser dalam untuk berbagai jenis tanah dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.7 Sudut Geser Dalam untuk Tanah Bukan Lempung

Jenis Tanah	Sudut Geser efektif (ϕ')	
	Loose	Dense
Gravel, crushed	36 - 40	40 - 50
Gravel, bank run	34 - 38	38 - 42
Sand, crushed (angular)	32 - 36	35 - 45
sand, bank run (sub angular)	30 - 36	34 - 40
Sand, beach (well rounded)	28 - 32	32 - 38
Silty sand	25 - 35	30 - 36
Silt, inorganik	25 - 35	30 - 35

Sumber: Bowles (1991)

Tabel 2.8 Sudut Geser Dalam untuk Berbagai Jenis Tanah

Jenis Tanah	Jenis Tes		
	UU (unconsolidated - Undrained)	CU (Consolidated - Undrained)	CD (Consolidated - Drained)
Gravel			
Medium Size	40 - 55		40 - 55
Sandy	35 - 50		35 - 50
Sand			
Loose dry	28 - 34		
Loose saturated	28 - 34		
Dense dry	35 - 46		43 - 50
Dense saturated	1 - 2 less than dense dry		43 - 50
Silty or silty sand			
Loose	20 - 22		27 - 30
Dense	25 - 30		30 - 35
Clay	0 (if saturated)		20 - 42

Sumber : Bowles (1991)

- Dilatasi (ψ)

Lempung cenderung tidak menunjukkan dilatasi sama sekali atau sama dengan 0. Dilatasi dari pasir tergantung dari ϕ nya. Untuk pasir kwarsa kurang lebih adalah $\psi \approx \phi - 30^\circ$. Walaupun demikian dalam kebanyakan kasus ψ adalah 0. Untuk $d < 30^\circ$, nilai negatif yang kecil untuk ψ hanya realistis untuk tanah pasir yang sangat lepas.

2.2. Kriteria Keruntuhan Menurut Mohr-Coulomb

Dalam buku *Mekanika Tanah Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknika*, Braja M. Das (1996) dijelaskan bahwa kekuatan geser suatu masa tanah merupakan perlawanan internal tanah per satuan luas terhadap keruntuhan atau pergeseran sepanjang bidang geser dalam tanah. Kekuatan geser tanah digunakan untuk menganalisis masalah stabilitas tanah seperti daya dukung, stabilitas talud (lereng), dan tekanan tanah ke samping pada turap maupun tembok penahan tanah.

Mohr (1980) menyatakan bahwa keruntuhan terjadi pada suatu material akibat kombinasi kritis antara tagangan geser maksimum saja,

$$\tau_f = f(\sigma) \quad (2.7)$$

dengan:

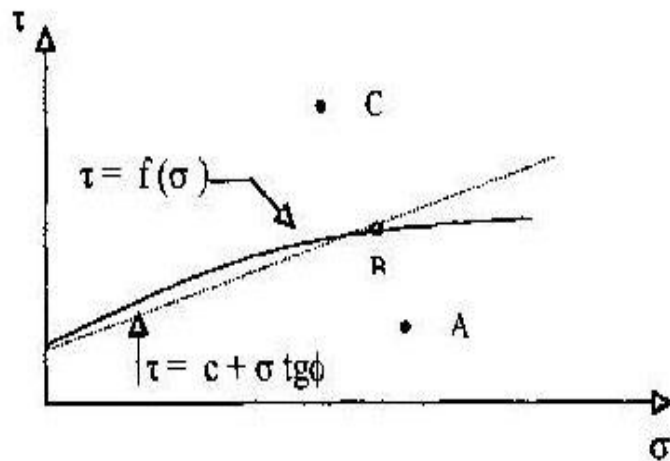
τ = tegangan geser pada saat terjadinya keruntuhan atau kegagalan

σ = tegangan normal pada saat kondisi tersebut

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Bila tanah mengalami pembebanan dan ditahan oleh:

1. Kohesi tanah yang tergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan vertikal yang bekerja pada bidang gesernya.
2. Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan vertikal pada bidang gesernya.

Garis keruntuhan (*failure envelope*) yang dinyatakan oleh persamaan di atas sebenarnya berbentuk garis lengkung. Untuk sebagian besar masalah-masalah mekanika tanah, garis tersebut cukup didekati dengan sebuah garis lurus yang menunjukkan hubungan linear antara tegangan normal dan geser (Coulomb, 1776). Persamaan tersebut disebut sebagai kriteria kegagalan atau keruntuhan Mohr-Columb.



Gambar 2.3 Kriteria kegagalan Mohr dan Coulomb

Pengertian tentang keruntuhan suatu bahan pada gambar 2.1:

- Jika tegangan mencapai titik A maka keruntuhan geser tidak akan terjadi.
- Jika tegangan mencapai titik B maka keruntuhan geser akan terjadi dimana titik B terletak tepat pada garis selubung kegagalannya.
- Tegangan pada titik C tidak pernah terjadi, karena sebelum mencapai titik tersebut bahan sudah mengalami keruntuhan.

Rumus Coulomb tersebut memiliki kelemahan yang membuat rumus tersebut tidak akurat, yaitu nilai-nilai c dan ϕ yang diperoleh sangat tergantung dan jenis pengujian yang dilakukam Terzaghi (1925) menyempurnakan rumus tersebut dengan mmemperhitungkan faktor tegangan air pori karena tegangan efektif yang terjadi pada tanah sangat dipengaruhi oleh tegangan air pori, menjadi:

$$\tau_f = c + (\sigma - u) \tan \phi \quad (2.8)$$

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad (2.9)$$

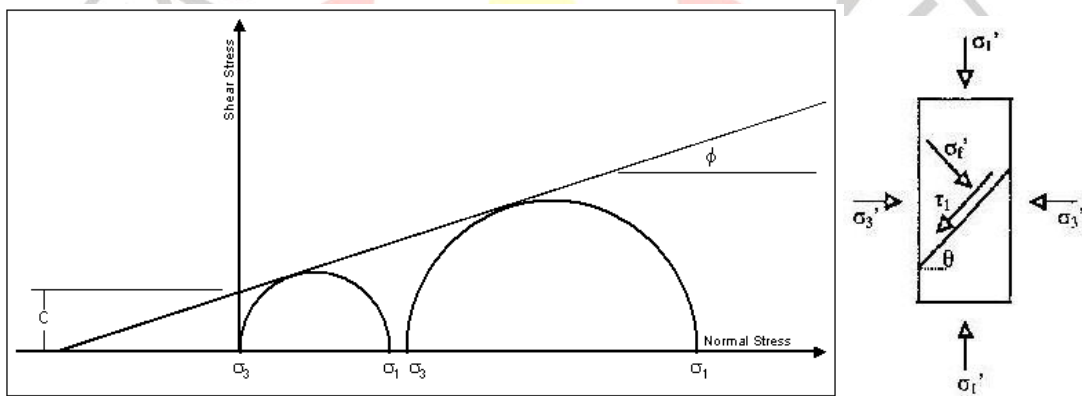
dengan : c = kohesi

σ = tegangan normal efektif

u = tekanan air pori

ϕ = sudut geser internal

Kuat geser tanah juga dapat dinyatakan dalam bentuk tegangan-tegangan efektif σ_1' dan σ_3' pada saat keruntuhan terjadi. Hubungan antara τ dan σ' dapat digambarkan dalam bentuk lingkaran Mohr.



Gambar 2.4 Lingkaran Mohr

Persamaan tegangan gesernya:

$$\sigma = \frac{(\sigma_1' + \sigma_3')}{2} + \frac{(\sigma_1' - \sigma_3')}{2} \cos 2\theta \quad (2.10)$$

$$\tau = \frac{(\sigma_1' - \sigma_3')}{2} \sin 2\theta \quad (2.11)$$

dimana:

θ adalah sudut teoritis antara bidang horizontal dengan bidang longsor

$$\theta = 45^\circ + \frac{\phi}{2} \quad (2.12)$$

Dari gambar tersebut didapat hubungan antara tegangan utama efektif saat keruntuhan dan parameter kuat gesernya, Besarnya nilai parameter kuat geser dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\sin \varphi' = \frac{[1/2(\sigma'_1 - \sigma'_3)]}{[c \operatorname{ctg} \varphi' + 1/2(\sigma'_1 + \sigma'_3)]} \quad (2.13)$$

$$(\sigma'_1 - \sigma'_3) = 2c \cos \varphi' + (\sigma'_1 + \sigma'_3) \sin \varphi' \quad (2.14)$$

Persamaan di atas digunakan untuk kriteria keruntuhan atau kegagalan menurut Mohr-Coulomb.

2.3. Definisi Umum Mengenai Tegangan Dan Regangan.

Sebuah model material dirumuskan dalam persamaan matematis yang mendeskripsikan hubungan antara tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*). Model-model material sering kali dinyatakan dalam bentuk pertambahan yang sangat kecil dan tegangan (*stress rates*) yang dihubungkan dengan pertambahan yang sangat kecil dan regangan (*strain rates*). Semua material model yang digunakan dalam PLAXIS didasarkan pada hubungan antara kecepatan tegangan efektif ($\dot{\sigma}$) dan kecepatan regangan ($\dot{\epsilon}$).

Hubungan antara kecepatan tegangan efektif ($\dot{\sigma}$) dan kecepatan regangan ($\dot{\epsilon}$) dinyatakan dalam:

$$\dot{\sigma} = \underline{M} \dot{\epsilon} \quad (2.15)$$

dimana:

$$\dot{\sigma} = \text{kecepatan tegangan efektif}$$

ε = kecepatan regangan

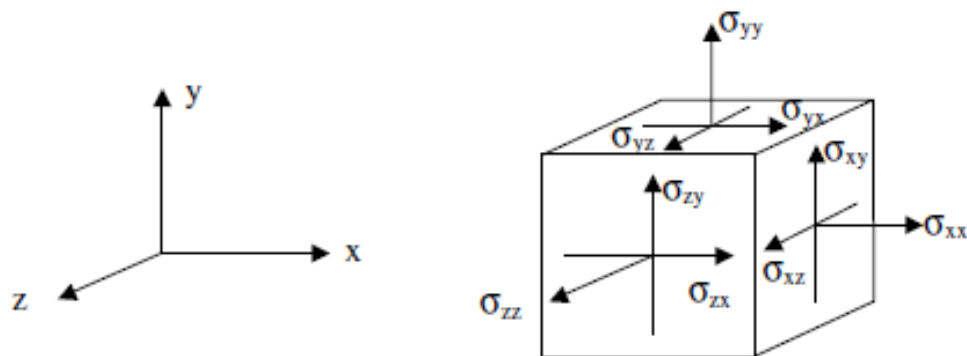
\underline{M} = matrix kekakuan material

Kecepatan tegangan dan regangan dituliskan dalam notasi vektor yang terdiri dari enam komponen *cartesian*:

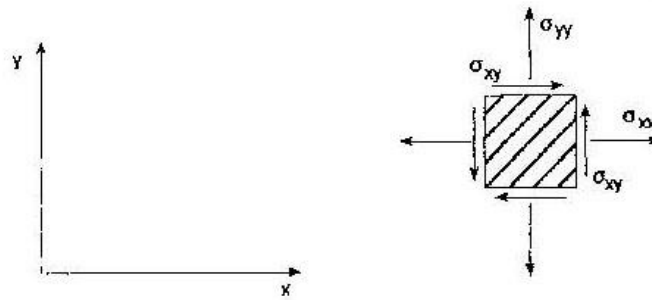
$$\underline{\sigma} = (\sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \sigma_{zz}, \sigma_{xy}, \sigma_{yz}, \sigma_{zx}) \quad (2.16)$$

Walaupun demikian untuk kondisi *plane strain* dan *axisymmetric* seperti dalam PLAXIS, hanya empat komponen yang diperlukan karena γ_{yz} , γ_{zx} , σ_{yz} , σ_{zx} bernilai nol.

Komponen tegangan normal positif dianggap mewakili tarikan (*tension*) sedangkan komponen tegangan normal negatif dianggap mewakili tekanan (*compression/pressure*). Demikian pula halnya dengan komponen regangan normal positif dianggap mewakili tarikan (*extension*) sedangkan komponen regangan normal negatif dianggap mewakili tekanan (*compression*).



Gambar 2.5 Sistem koordinat 3 dimensi secara umum beserta perjanjian tanda



Gambar 2.6 Sistem koordinat 2 dimensi yang dipakai PLAXIS beserta perjanjian tanda

Dengan mempertimbangkan analisa regangan yang kecil, regangan diperoleh dan penurunan secara garis besar terhadap komponen-komponen perpindahan (*displacement component*) yaitu U_x dan U_y , yang dinyatakan dalam rumur-rumus berikut:

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\delta U_x}{\delta x} \quad \varepsilon_{yy} = \frac{\delta U_y}{\delta y} \quad \gamma_{xy} = \frac{\delta U_x}{\delta y} + \frac{\delta U_y}{\delta x} \quad (2.17)$$

$$\varepsilon_{xx} = 0 \text{ (plane strain)}$$

$$\varepsilon_{zz} = 1/r U_x \text{ (axysimmetry, r = radius)}$$

Penggunaan tegangan dasar seringkali lebih berguna daripada komponen tegangan *cartesian* pada saat merumuskan model material.

Dalam kondisi *plane strain* atau *axysimetric* tegangan dasar dapat dihitung dan tegangan *cartesian* dengan:

$$\sigma'_1 = (\sigma_{xx}' - \sigma_{yy}') - \left(\sqrt{0,25}\right) (\sigma_{xx}' - \sigma_{yy}')^2 + \sigma_{xy}^2 \quad (2.18)$$

$$\sigma'_2 = \sigma'_{zz} \quad (2.19)$$

$$\sigma'_3 = (\sigma'_{xx} + \sigma'_{yy}) + (\sqrt{0,25})(\sigma'_{xx} + \sigma'_{yy})^2 + \sigma_{xy}^2 \quad (2.20)$$

Pendefinisian dan tegangan invarian sebaiknya dilakukan, yang mana ukuran dari tegangan tidak saling tergantung pada orientasi dan sistem koordinat.

Tegangan invarian yang diperlukan ada dua yaitu:

$$p' = -(1/3)(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) \quad (2.21)$$

$$q = \left(\sqrt{\frac{1}{2}}\right) [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] \quad (2.22)$$

dimana :

p' = tegangan isotropic/tegangan efektif rata-rata

q = tegangan geser ekuivalen

Dengan analogi dan tegangan rata-rata (p'), maka tegangan *volumetric* (ε_v) didefinisikan sebagai jumlah dari semua komponen regangan dasar:

$$\varepsilon_v = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3) \quad (2.23)$$

Regangan *volumetric* diartikan negatif bila dalam kondisi padat (*compaction*) dan positif bila dalam keadaan renggang atau tidak padat (*dilatancy*).

Untuk model yang bersifat elastoplastis, yang dipakai dalam PLAXIS regangan atau *strain* diuraikan menjadi dua komponen yaitu komponen elastis dan plastis:

$$\varepsilon = \varepsilon^e + \varepsilon^p \quad (2.24)$$

dimana :

ε^e = regangan elastis

ε^p = regangan plastis

(sumber : Brinkgreve.R.B.J. dkk. *Plaxis Version 8 Manual*, 2002)

2.4. Teori Deformasi

Pada bagian ini persamaan dasar untuk *static deformation* dari tanah telah diformulasikan sedemikian rupa dalam suatu kerangka kerja yang terdiri dan mekanisme yang kontinu. Batasan yang dipakai adalah bahwa deformasi yang terjadi dianggap kecil. Hal ini dapat dipakai untuk menformulasikan keadaan dan geometri yang dibuat mula-mula. Perhitungan yang dipakai berdasarkan *metode finite elemen*.

2.4.1. Persamaan Dasar Dari Deformasi

Persamaan stasis yang kontinu dapat diformulasikan menjadi:

$$\underline{\underline{L}}^T \underline{\underline{\sigma}} + \underline{\underline{p}} = \underline{\underline{0}} \quad (2.25)$$

Persamaan (2.25) terkait dengan turunan dari enam komponen dari tegangan, yang tergabung dalam vektor $\underline{\underline{\sigma}}$ dan dalam tiga komponen dari gaya yang tergabung dalam vektor $\underline{\underline{p}}$. $\underline{\underline{L}}^T$ adalah matriks transpose dari operator turunan yang dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$\underline{\underline{L}}^T = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 & \frac{\partial}{\partial z} \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 & \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial z} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} & 0 & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix} \quad (2.26)$$

Sebagai tambahan dari persamaan tersebut, hubungan dan kinematik dapat diformulakan dalam persamaan, yaitu:

$$\underline{\underline{\varepsilon}} = \underline{\underline{L}} \underline{\underline{u}} \quad (2.27)$$

Persamaan (2.3) menunjukkan enam komponen regangan, yang tergabung dalam vektor $\underline{\underline{\varepsilon}}$ sebagai bagian dari tiga komponen dari penurunan, tergabung dalam vektor $\underline{\underline{u}}$ dengan memakai operator $\underline{\underline{L}}$ pada persamaan sebelumnya. Hubungan antara persamaan (2.25) dan (2.27) dibentuk oleh relasi *constitutive* yang menunjukkan keadaan material. Relasi *constitutive* adalah hubungan antara kenaikan antara tegangan dan regangan, relasi tersebut dapat ditunjukkan dalam persamaan berikut:

$$\underline{\underline{\sigma}}' = \underline{\underline{M}} \underline{\underline{\varepsilon}}' \quad (2.28)$$

Konibinasi dan persamaan (2.25), (2.27) dan (2.28) akan dipakai dalam persamaan untuk mencari penurunan $\underline{\underline{u}}$. Persamaan-persamaan tersebut dapat diformulakan menjadi satu persamaan yang lebih sederhana berdasarkan variasi dan prinsip Galerkin (1967).

$$\int \delta \underline{u}^T (\underline{L}^T \underline{\sigma} + \underline{p}) dV = 0 \quad (2.29)$$

Dalam persamaan (2.29) $\delta \underline{u}$ merepresentasikan variasi dan penurunan secara kenematik. Berdasarkan teori dari Green untuk integrasi secara parsial dan persamaan (2.5) mengacu kepada:

$$\int \delta \underline{\epsilon}^T \underline{\sigma} dV = \int \delta \underline{u}^T \underline{p} dV + \int \delta \underline{u}^T \underline{t} dS \quad (2.30)$$

Hal ini dapat digunakan sebagai dasar dari integral yang menunjukkan batas dari kekuatan yang timbul. Tiga komponen dari keadaan dasar tersebut ditunjukkan dalam vektor \underline{t} . Persamaan (2.30) dapat menunjukkan persamaan kerja yang terjadi.

Perkembangan dari keadaan tegangan dapat diperhatikan sebagai proses penambahan dan tegangan.

$$\underline{\sigma}^i = \underline{\sigma}^{i-1} + \Delta \underline{\sigma} \quad \Delta \underline{\sigma} = \int \underline{\dot{\sigma}} dt \quad (2.31)$$

Dalam persamaan si menunjukkan keadaan sebenarnya dan tegangan yang tidak diketahui dan $\underline{\sigma}^{i-1}$ menunjukkan keadaan sebelumnya dari tegangan yang sudah diketahui. Penambahan dari tegangan adalah kenaikan tegangan yang seiring dengan penambahan waktu yang kecil.

Jika persamaan (2.30) menunjukkan keadaan sebenarnya dan i , tegangan yang tidak diketahui $\underline{\sigma}^i$ dapat dihilangkan dengan menggunakan persamaan (2.31):

$$\int \delta \underline{\epsilon}^T \Delta \underline{\sigma} dV = \int \delta \underline{u}^T \underline{p}^i dV + \int \delta \underline{u}^T \underline{t}^i dS - \int \delta \underline{\epsilon}^T \underline{\sigma}^{i-1} dV \quad (2.32)$$

Hal ini harus diperhatikan bahwa semua hal yang ditunjukkan mulai dari persamaan (2.25) hingga (2.32) adalah persamaan yang diperhitungkan secara tiga dimensi.

(sumber : Brinkgreve.R.B.J. dkk. *Plaxis Version 8*, 2002)

2.4.2. Finite Elemen Secara Diskrit

Berdasarkan metode finite elemen maka elemen- elemen yang ada dari titik-titik yang disebut *node*, Tiap node mempunyai derajat kebebasan yang berhubungan dengan angka-angka yang tidak diketahui dalam keadaan dasar sehingga persamaan-persamaan tersebut dapat diselesaikan. Sekarang kasus mengenai teori konsolidasi, derajat kebebasan berhubungan dengan komponen-komponen penurunan. Elemen dari penurunan berasal dari nodal diskrit dalam vektor \underline{v} dengan menggunakan fungsi interpolasi yang terdapat dalam matriks \underline{N} :

$$\underline{u} = \underline{N} \underline{v} \quad (2.33)$$

Persamaan interpolasi dalam matriks \underline{N} seringkali disebut sebagai bagian dari persamaan. Substitusi dari persamaan (2.33) ke dalam relasi kinematik (2.27) menghasilkan:

$$\underline{\epsilon} = \underline{L} \underline{N} \underline{v} = \underline{B} \underline{v} \quad (2.34)$$

Dalam persamaan (2.34). \underline{B} adalah matriks interpolasi regangan, yang terdiri dari turunan persamaan interpolasi. Persamaan (2.33) dan (2.34) dapat digunakan dalam berbagai macam variasi, penambahan dan penjumlahan.

Persamaan (2.32) dapat diformulakan kembali secara diskrit seperti yang terlihat di bawah ini:

$$\int (\underline{B} \delta \underline{v})^T \Delta \underline{\sigma} dV = \int (\underline{N} \delta \underline{v})^T \underline{p}^i dV + \int (\underline{N} \delta \underline{v})^T \underline{t}^i dS - \int (\underline{B} \delta \underline{v})^T \underline{\sigma}^{i-1} dV \quad (2.35)$$

Penurunan secara diskrit dapat dihitung di luar dari perhitungan integral:

$$\delta \underline{v}^T \int \underline{B}^T \Delta \underline{\sigma} dV = \delta \underline{v}^T \int \underline{N}^T \underline{p}^i dV + \delta \underline{v}^T \int \underline{N}^T \underline{t}^i dS - \delta \underline{v}^T \int \underline{B}^T \underline{\sigma}^{i-1} dV \quad (2.36)$$

Persamaan (2.12) dapat dipakai dalam segala permasalahan variasi kinematik $\delta \underline{v}^T$, persamaan tersebut dapat ditulis juga sebagai berikut:

$$\int \underline{B}^T \Delta \underline{\sigma} dV = \int \underline{N}^T \underline{p}^i dV + \int \underline{N}^T \underline{t}^i dS - \int \underline{B}^T \underline{\sigma}^{i-1} dV \quad (2.37)$$

Persamaan di atas adalah kondisi ekuilibrium yang diuraikan dalam bentuk diskrit. Istilah pertama di sisi kanan bersama dengan istilah kedua mewakili vektor gaya luar saat ini dan istilah terakhir merupakan vektor reaksi internal dari langkah sebelumnya. Perbedaan antara vektor gaya eksternal dan vektor reaksi internal harus diimbangi dengan peningkatan stres $\Delta \sigma$.

Hubungan antara stres dan peningkatan bertahap tegangan biasanya non-linear. Sebagai akibatnya, kenaikan regangan umumnya tidak dapat dihitung secara langsung, dan global iteratif prosedur yang diperlukan untuk memenuhi kondisi ekuilibrium (2.37) untuk semua titik materi.

(sumber : Brinkgreve.R.B.J. dkk. Plaxis Version 8, 2002)

2.5. Tekanan Tanah Lateral

Dalam buku *Mekanika Tanah Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknika*, Braja M. Das (1996) dijelaskan bahwa konsep tekanan tanah lateral sangat penting untuk masalah-masalah stabilitas tanah, pemasangan batang batang penguat pada galian, desain dinding penahan tanah, dan pembentukan tahanan tarik dengan memakai berbagai jenis peralatan angkur.

Agar dapat merencanakan konstruksi penahan tanah dengan benar, maka kita perlu mengetahui gaya horizontal yang bekerja antara konstruksi penahan tanah dan massa tanah yang ditahan.

2.5.1. Tekanan Tanah Dalam Keadaan Diam (*At Rest*)

Bila suatu konstruksi dinding penahan tanah dalam keadaan diam, yaitu bila dinding tidak bergerak ke salah satu arah baik ke kanan maupun ke kiri dari posisi awal, maka massa tanah akan berada dalam keadaan *keseimbangan elastic (elastic equilibrium)*. Rasio tekanan arah horizontal dan tekanan arah vertikal dinamakan "koefisien tekanan tanah dalam keadaan diam (*coefficient of earth pressure at rest*), K_0 ", atau

$$K_0 = \frac{\sigma_h}{\sigma_v} \quad (2.38)$$

Karena $\sigma_v = \gamma z$, maka

$$\sigma_h = K_0 (\gamma z) \quad (2.39)$$

Untuk tanah berbutir, koefisien tekanan tanah dalam keadaan diam dapat diwakili oleh hubungan empiris yang diperkenalkan oleh Jaky (1944).

$$K_0 = 1 - \sin \phi \quad (2.40)$$

Brooker dan Ireland (1965) menyarankan agar kita menggunakan persamaan berikut ini untuk menghitung harga K_0 dari tanah lempung yang terkonsolidasi normal (*normally consolidated*):

$$K_0 = 0,95 - \sin \phi \quad (2.41)$$

Untuk tanah lempung yang terkonsolidasi normal, persamaan empiris yang lain untuk K_0 telah diperkenalkan oleh Alpan (1967):

$$K_0 = 0,19 + 0,223 \log (PI) \quad (2.41)$$

dengan: $PI =$ indeks plastis

2.5.2. Tekanan Tanah Aktif Menurut Rankine

Yang dimaksud dengan keseimbangan plastis (*plastic equilibrium*) di dalam tanah adalah suatu keadaan yang menyebabkan tiap-tiap titik di dalam massa tanah menuju proses ke suatu keadaan runtuh. Rankine (1857) menyelidiki keadaan tegangan di dalam tanah yang berada pada kondisi keseimbangan plastis.

Suatu dinding penahan tanah dalam keseimbangan menahan tekanan tanah horisontal tekanan dapat dievaluasi dengan menggunakan koefisien tanah K_a Jadi bila berat suatu tanah sampai kedalaman H maka tekanan tanahnya adalah γH dengan γ adalah berat volume tanah, dan arah dari tekanan tersebut adalah arahnya vertikal ke atas. Sedangkan untuk mendapatkan tekanan horisontal maka K_a adalah konstanta yang fungsinya mengubah tekanan vertikal tersebut menjadi tekanan horisontal. Oleh karena itu tekanan horisontal dapat dituliskan sebagai

$$Pa = Ka \gamma H \quad (N/M) \quad (2.42)$$

dimana harga K_a

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad (2.43)$$

Kohesi adalah lekatan antara burir-butir tanah, sehingga kohesi mempunyai pengaruh mengurangi tekanan aktif tanah sebesar $2c\sqrt{K_a}$. Untuk tanah yang memiliki nilai kohesi, maka tekanan horizontal sebesar

$$P_a = K_a \gamma H - 2c\sqrt{K_a} \quad (2.44)$$

dimana c Kohesi dalam N/m^2

2.5.3. Tekanan Tanah Pasif Menurut Rankine

Dalam hal tertentu suatu dinding penahan tanah dapat terdorong kearah tanah yang di tahan. Dan arah dan tekanan pasif ini berlawanan dengan arah tekanan aktif. K_p adalah koefisien tekanan pasif yang besarnya:

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (2.45)$$

Maka tahanan pasif suatu tanah datar tanpa kohesi ($c = 0$)

$$P_p = K_p \gamma H \quad (2.46)$$

Dan untuk tahanan pasif suatu tanah datar dengan kohesi

$$P_p = K_p \gamma H - 2c\sqrt{K_p} \quad (2.47)$$

2.6. Standard Penetration Test (SPT)

Uji penetrasi standar (*SPT = Standard penetration test*) adalah uji yang dilaksanakan bersamaan dengan pengeboran untuk mengetahui baik perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh terganggu dengan teknik penumbukan.

Standard Penetration Test (SPT) sering digunakan untuk mendapatkan daya dukung tanah secara langsung dilokasi. Metode SPT merupakan percobaan dinamis yang dilakukan dalam suatu lobang bor dengan memasukkan tabung sample yang berdiameter dalam 35 mm sedalam 305 mm dengan menggunakan massa pendorong (palu) seberat 63.5 kg yang jatuh bebas dari ketinggian 760 mm. Banyaknya pukulan palu tersebut untuk memasukkan tabung sample sedalam 305 mm dinyatakan sebagai nilai N (<http://repository.usu.ac.id>).

Tujuan dari percobaan *Standard Penetration Test* (SPT) ini adalah untuk menentukan kepadatan relatif lapisan tanah dari pengambilan contoh tanah dengan tabung sehingga jenis tanah dan ketebalan tiap-tiap lapisan kedalaman tanah dan untuk memperoleh data yang kualitatif pada perlawanan penetrasi tanah serta menetapkan kepadatan tanah dari tanah yang tidak berkoheesi yang biasa sulit diambil sampelnya. Percobaan *Standard Penetration Test* (SPT) ini dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Siapkan peralatan SPT yang dipergunakan seperti : mesin bor, batang bor, split spoon sampler, hammer dan lain – lain;
2. Letakkan dengan baik penyanggah (*tripod*), tempat bergantungnya beban penumbuk;
3. Lakukan pengeboran sampai kedalaman testing, lobang dibersihkan dari kotoran hasil pengeboran dari tabung segera dipasangkan pada bagian dasar lobang bor
4. Berikan tanda pada batang peluncur setiap 15 cm, dengan total 45 cm.

5. Dengan pertolongan mesin bor, tumbuklah batang bor ini dengan pukulan palu seberat 63.5 kg dan ketinggian jatuh 76 cm hingga kedalaman tersebut dicatat jumlah pukulan untuk memasukkan penetrasi setiap 15 cm (N Value);

Contoh:

$$N1 = 10 \text{ pukulan/ } 15 \text{ cm}$$

$$N2 = 5 \text{ pukulan/ } 15 \text{ cm}$$

$$N3 = 8 \text{ pukulan/ } 15 \text{ cm}$$

Maka total jumlah pukulan adalah jumlah N2 dengan N3 adalah $5 + 8 = 13$ pukulan = nilai N. N1 tidak diperhitungkan karena dianggap 15 cm pukulan pertama merupakan sisa kotoran pengeboran yang tertinggal pada dasar lubang bor sehingga perlu dibersihkan untuk memperkecil efiseinsi gangguan;

6. Hasil pengambilan contoh dari tabung tersebut dibawa ke permukaan dan dibuka. Gambarkan contoh jenis – jenis tanah yang meliputi komposisi, struktur, konsistensi, warna, dan kemudian masukkan ke dalam botol tanpa dipadatkan atau kedalam plastik, lalu ke cover box;
7. Gambarkan grafik hasil percobaan SPT:

Catatan : Pengujian dihentikan bila nilai N SPT ≥ 50 untuk 4x interval pengambilan dimana interval pengambilan SPT = 2m

Berdasarkan pengalaman yang cukup lama, berbagai korelasi empiris dengan parameter tanah telah dipadatkan. Harga N dari pasir yang diperoleh dari pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) dan hubungan antara kepadatan relatif dengan sudut geser dalam dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.9 Hubungan D_r , ϕ dan N dari Pasir

Nilai N	Kepadatan Relatif		Sudut Geser Dalam	
			Peck	Meyerhoff
0 - 4	Sangat Lepas	0.0 - 0.2	< 28.5	< 30
4 - 10	Lepas	0.2 - 0.4	28.5 - 30	30 - 35
10 - 30	Sedang	0.4 - 0.6	30 - 36	35 - 40
30 - 50	Padat	0.6 - 0.8	36 - 41	40 - 45
>50	Sangat Padat	0.8 - 1.0	> 41	> 45

Sumber : Suyono Sudarsono (1983) dalam "Mekanika Tanah & Teknik Pondasi"

Menghitung Kapasitas Daya Dukung Tiang dari Data SPT

A. Daya Dukung Ujung Pondasi Tiang pada tanah non kohesif

$$Q_p = 40 \cdot N \cdot SPT \cdot L_b / D \cdot A_p \quad (2.48)$$

Dimana :

Q_p = Tahanan Ujung Ultimate (kN)

A_p = Luas Penampang Tiang (m)

$N \cdot SPT$: $(N_1 + N_2) / 2$ (meyerhoff)

N_1 = Harga rata-rata dari dasar ke 10D ke atas

N_2 = Harga rata-rata dari dasar ke 4D ke bawah

- Tahanan Geser Selimut Tiang

$$Q_s = 2 \cdot N \cdot SPT \cdot p \cdot L_i \quad (2.49)$$

Dimana : L_i = Panjang lapisan tanah

P = keliling tiang

B. Daya Dukung Pondasi Tiang pada tanah kohesif

$$Q_p = 9 \cdot c_u \cdot A_p \quad (2.50)$$

Dimana : A_p = Luas Penampang Tiang

c_u = Kohesi Undrained

$$: N\text{-SPT} \cdot 2.3 \cdot 10$$

- Tahanan Geser Selimut Tiang Pancang pada Tanah Kohesif Cu

$$Q_s = \alpha \cdot c_u \cdot p \cdot L_i \quad (2.53)$$

Dimana : α = Koefien adhesi antara tanah dan tiang

c_u = Kohesi *undrained*

$$: N\text{-SPT} \cdot 2.3 \cdot 10$$

L_i = Panjang lapisan tanah

P = Keliling tiang

- Skin Friction (Q_s) = $c \cdot c_u \cdot \text{parimeter} \cdot L$ -----(c-soil)

$$= 2 \cdot N \cdot \text{parimeter} \cdot L \text{ -----}(\Phi\text{-soil})$$

- End Bearing (Q_p) = $9 \cdot c_u \cdot A_{\text{pile}}$ -----(c-soil)

$$= 40 \cdot N \cdot L / D \cdot A_{\text{pile}} \text{ -----}(\Phi\text{-soil})$$

$$\leq 400 \cdot N \cdot A_{\text{pile}}$$

$$Q_{ult} = Q_s + Q_p \quad (2.54)$$

$$Q_{izin} = Q_{ult} / SF \quad (2.55)$$

SF = Faktor Keamanan (2.5) untuk metode ini

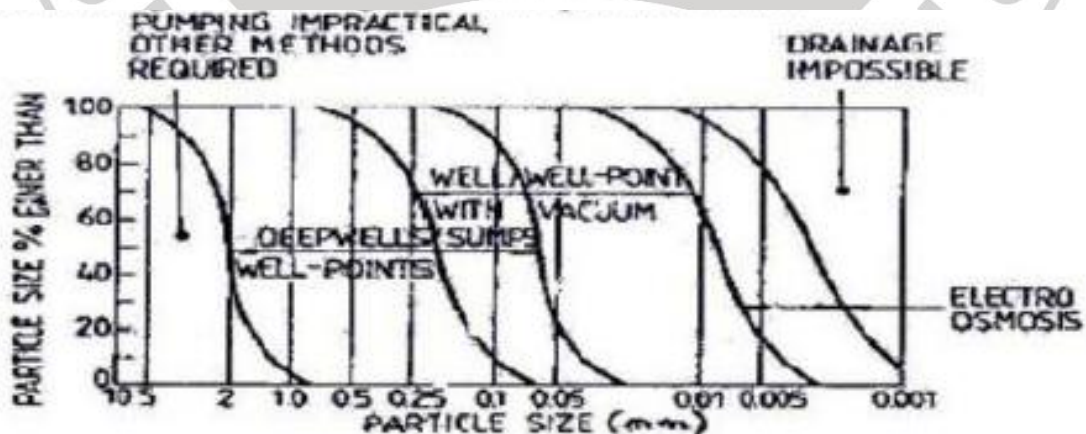
2.7. Dewatering

Dewatering adalah proses penurunan muka air tanah selama konstruksi berlangsung selain itu juga diperuntukkan pencegahan kelongsoran akibat adanya

aliran tanah pada galian atau bisa dipaparkan sebagai proses pemisahan antara cairan dengan padatan (<http://matakuliahteknik.blogspot.com>). Tingginya permukaan air tanah sering menjadi penyebab terganggunya pekerjaan penggalian tanah. Untuk menjaga lingkungan pekerjaan penggalian tanah bebas dari genangan air, maka diperlukan penanganan aliran air tanah disekitar galian. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam menentukan pemilihan metode perlakuan terhadap aliran air tanah pada pekerjaan penggalian tanah yaitu:

1. Jenis tanah.
2. Tinggi permukaan air tanah.
3. Kedalaman dan bentuk galian

Beberapa metode penanganan aliran air tanah yang sering digunakan antara lain: penggunaan pompa untuk memindahkan genangan air disekitar pekerjaan penggalian, pembuatan sumur-sumur pompa disekitar pekerjaan penggalian, penginjeksian material tertentu untuk menutup pori-pori tanah serta penggunaan tekanan udara. Berikut ini adalah grafik penentuan metode *dewatering* sesuai dengan ukuran partikel tanah.



Gambar 2.7 Grafik Pemilihan Metode *dewatering*

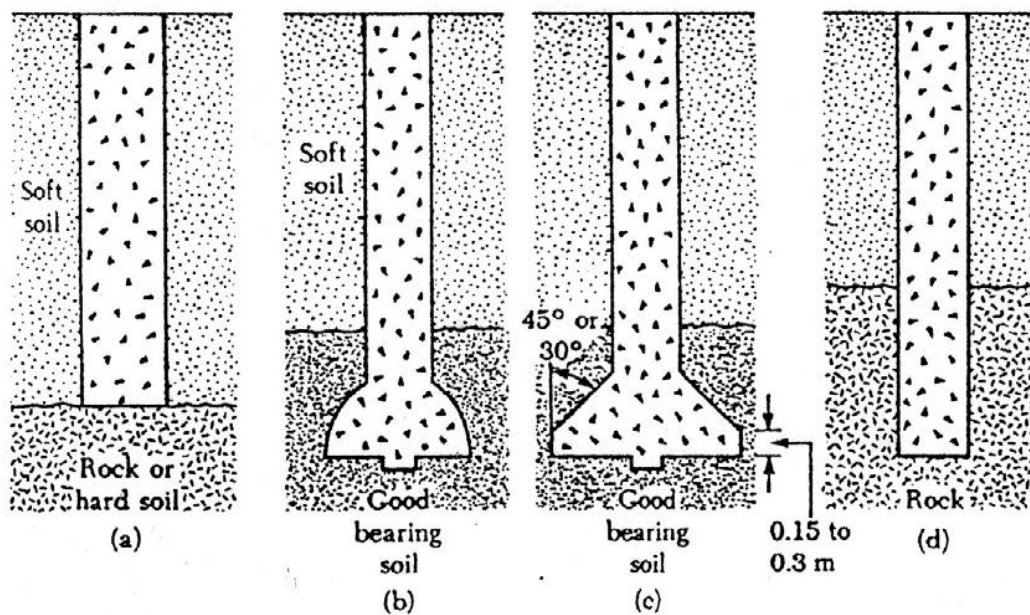
sesuai dengan ukuran partikel tanah

2.8. Pondasi *Boredpile*

Boredpile adalah pondasi dengan kedalaman lebih dari 2 meter yang digunakan untuk bangunan-bangunan tinggi yang pemasangannya dilakukan dahulu pengeboran permukaan tanah dengan menggunakan mesin bor. Tiang ini biasanya, dipakai pada tanah yang stabil dan kaku, sehingga memungkinkan untuk membentuk lubang yang stabil dengan alat bor. Jika tanah mengandung air, pipa besi dibutuhkan untuk menahan dinding lubang dan pipa ini ditarik ke atas pada waktu pengecoran beton. Pada tanah yang keras atau batuan lunak, dasar tiang dapat diperbesar untuk menambah tahanan dukung ujung tiang (Gambar 2.12).

Ada berbagai jenis pondasi *boredpile* yaitu:

- Boredpile* lurus untuk tanah keras;
- Boredpile* yang ujungnya diperbesar berbentuk bel;
- Boredpile* yang ujungnya diperbesar berbentuk trapesium;
- Boredpile* lurus untuk tanah berbatu-batuan.

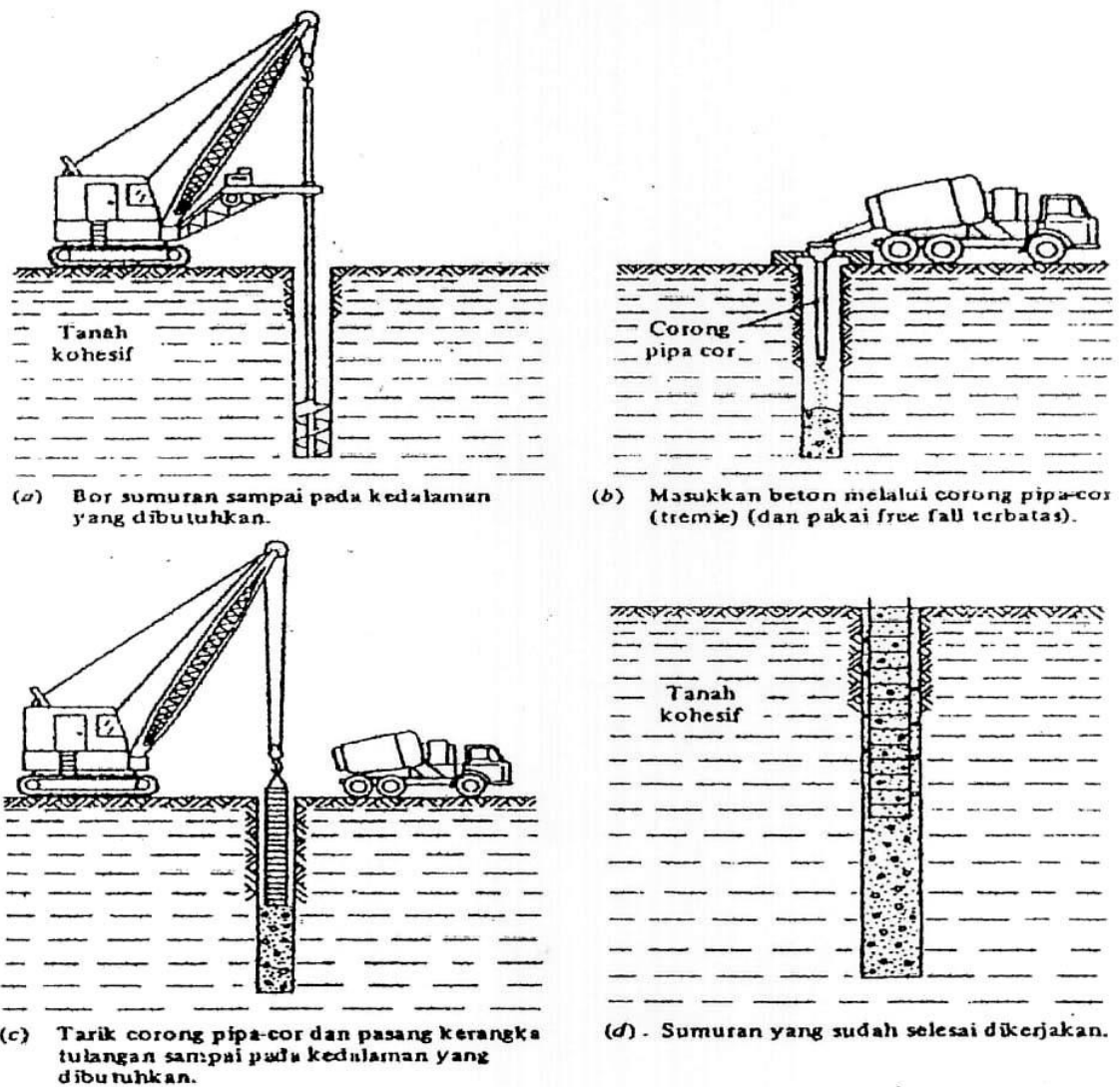


Gambar 2.8 Jenis-jenis *Boredpile* (Braja M. Das, 1941)

Pada saat ini ada tiga metode dasar pengeboran (Girsang P; 2009, hal.13), yaitu:

1. Metode Kering

Pada metode kering yang pertama dilakukan adalah sumuran digali (dan dasarnya dibentuk lonceng jika perlu). Kemudian sumuran diisi sebagian dengan beton dan kerangka tulangan dipasang dan setelah itu sumuran telah selesai dikerjakan. Harap diingat bahwa kerangka tulangan tidak boleh dimasukkan sampai mencapai dasar sumuran karena diperlukan pelindung beton minimum, tetapi kerangka tulangan boleh diperpanjang sampai akhir mendekati kedalaman penuh dari pada hanya mencapai kira – kira setengahnya saja. Metode ini membutuhkan tanah tempat proyek yang tak berlekuk (kohesif) dan permukaan air di bawah dasar sumuran atau jika permeabilitasnya cukup rendah, sumuran bisa digali (mungkin juga dipompa) dan dibeton sebelum sumuran terisi air cukup banyak sehingga bisa mempengaruhi kekuatan beton. Rangkaian pembuatannya seperti pada (Gambar 2.13)



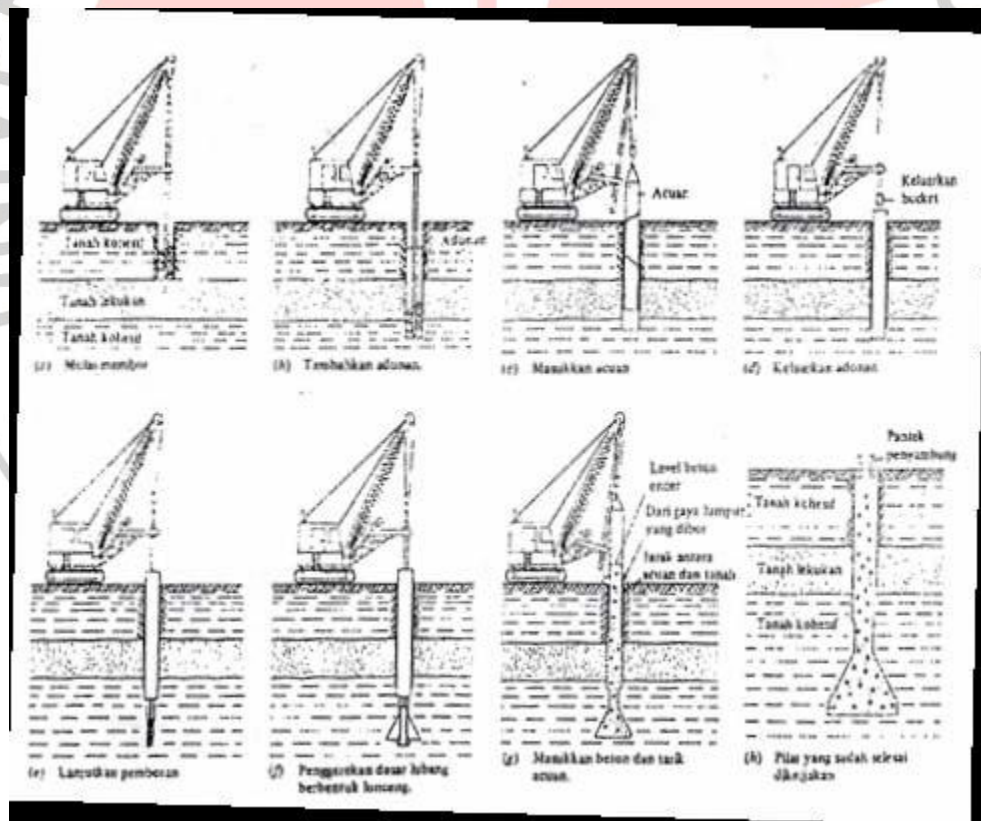
Gambar 2.9 Metode kering konstruksi pilar yang dibor

2. Metode Acuan

Metode ini diuraikan seperti pada (Gambar 2.14). Pada metode ini, acuan dipakai pada tempat-tempat proyek yang mungkin terjadi lekukan atau deformasi lateral yang berlebihan terhadap rongga sumur (*sharf cavity*). Metode ini juga dipakai sebagai sambungan-perapat (*seal*) lubang terhadap masuknya air tanah tetapi hal ini membutuhkan lapisan tanah yang tak bisa ditembus (kedap) air di bawah daerah lekukan tempat acuan bisa dipasang (disok). Perlu kita ingat bahwa sebelum casing dimasukkan, suatu adonan spesi encer (*slurry*) digunakan untuk

mempertahankan lubang. Setelah acuan dipasang, adonan dikeluarkan dan sumur diperdalam hingga pada kedalaman yang diperlukan dalam keadaan kering. Bergantung pada kebutuhan site dan proyek, sumuran di bawah acuan akan dikurangi paling tidak sampai ID acuan kadang-kadang 25 sampai 50 mm kurangnya untuk jarak ruang bor tanah (*auger*) yang lebih baik.

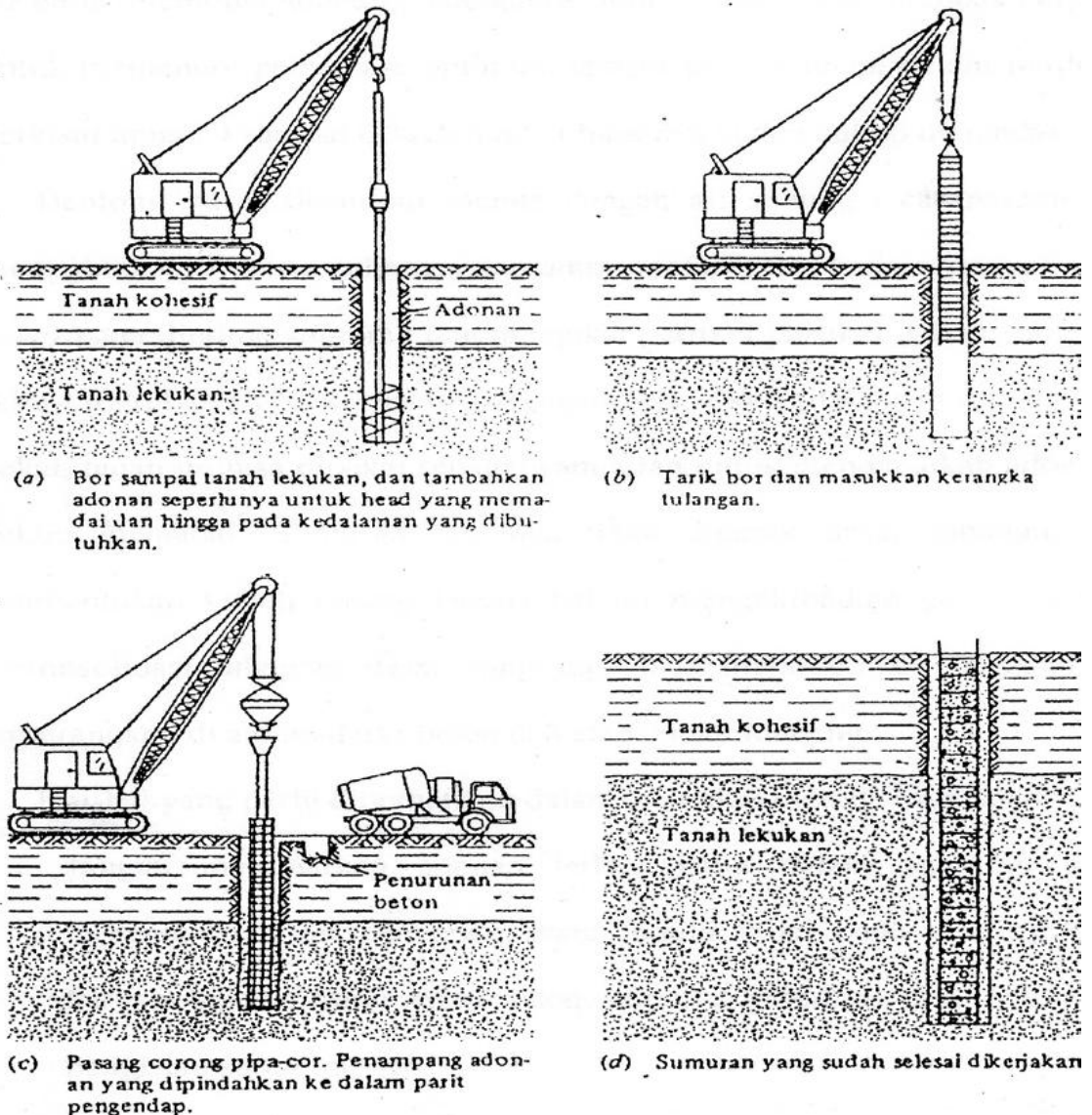
Acuan bisa saja ditinggalkan dalam sumuran atau bisa juga dikeluarkan jika dibiarkan ditempat, maka ruangan melingkar antara OD acuan dan tanah (yang diisi dengan adonan atau lumpur hasil pengeboran) diganti dengan adukan encer (*grout*) maka adonan akan dipindahkan keatas puncak sehingga rongga tersebut diisi dengan adukan encer.



Gambar 2.10 Metode acuan konstruksi pilar yang dibor

3. Metode Adonan

Metode ini bisa diterapkan pada semua keadaan yang membutuhkan acuan. Hal ini diperlukan jika tidak mungkin mendapatkan penahan air (*water seal*) yang sesuai dengan acuan untuk menjaga agar air tidak masuk ke dalam rongga sumuran (*shaft cavity*). Langkah-langkah metode ini diuraikan dalam (Gambar 2.15).



Gambar 2.11 Metode adonan konstruksi pilar yang dibor

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam metode ini adalah:

- a. Jangan membiarkan adonan terlalu lama dalam sumuran sehingga terbentuk lapisan penyaring yang terlalu tebal pada dinding sumuran karena lapisan yang tebal sukar untuk digeserkan oleh beton selama pengisian sumuran;
- b. Memompa adonan keluar dan partikel-partikel yang lebih besar dalam suspensi dipisahkan dengan memakai adonan ‘*conditioned*’ yang dikembalikan lagi ke dalam sumuran sebelum beton;
- c. Hati-hati sewaktu menggali lempung melalui adonan, sehingga penarikan kepingan yang besar tidak menyebabkan tekanan atau pengisapan pori negatif yang bisa meruntuhkan sebagian dari sumuran.

Setelah sumuran selesai digali, tulangan kerangka dimasukkan ke dalam sumuran dan corong pipa-cor (*treme*) dipasang. Urutan ini perlu diperhatikan sehingga corong pipa-cor tidak perlu ditarik sewaktu akan memasang kerangka (*cage*) dan lalu dipasang kembali yang pasti akan mengakibatkan terputusnya pembentukan lapisan adonan dalam sumuran. Beton dipompa dengan hati-hati sehingga corong pipa-cor selalu terendam dalam beton sehingga hanya ada sedikit daerah permukaan yang terbuka dan yang terkontaminasi oleh adonan.

2.9. *Secant Pile*

Secant pile atau bisa disebut juga *contiguous pile* adalah dinding penahan tanah yang konstruksinya terdiri dari *bored-pile* yang terbuat dari beton bertulang yang diselingi *bored-pile* yang terbuat dari beton tanpa tulangan yang terbuat dari beton bertulang yang diselingi *bored-pile* yang terbuat dari beton tanpa tulangan.

Dinding *secant pile* dimanfaatkan untuk mentransferkan beban lateral, vertikal maupun kombinasi keduanya melalui lapisan tanah lemah untuk lapisan dasar yang cocok. Mereka dapat dibor di semua jenis konfigurasi untuk membentuk sebuah dinding kedap air yang saling terkait, atau menyediakan dinding *secant pile* struktural. Mereka digunakan dalam tanah berbasis struktur, atas-bawah terowongan, *cofferdams* dan struktur kereta bawah tanah di mana lapisan permukaan tanah tidak dapat menyediakan kapasitas dukung beban diperlukan. Mereka juga digunakan dalam struktur berbasis kelautan dan bendungan.

Secant pile adalah salah satu metode yang paling ekonomis untuk membuat penghalang air yang efektif serta dinding struktural, atas-bawah terowongan dan bendungan, ketika dewatering sulit dilakukan. Berbagai metode pengeboran digunakan untuk membangun *overlapping* silinder beton melalui tanah jenuh, *rock*, memperpanjang elevasi rembesan air. Pengeboran yang berurutan dan perkerasan dari masing-masing silinder individu yang membentuk suatu penghalang yang memastikan ikatan yang ketat antara silinder untuk mencegah masuknya air.

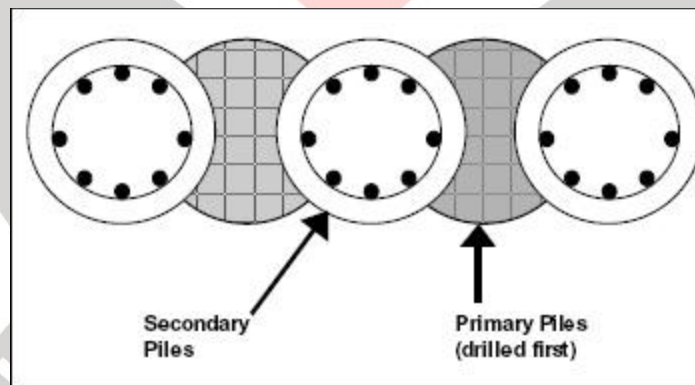
Aplikasi yang umum untuk dinding garis potong meliputi:

- Hambatan Air Tanah
- Retaining walls
- Pondasi

Secant pile dapat dibangun baik dengan metode pengeboran konvensional atau melalui penggunaan teknik CFA. *Secant pile* biasanya mencakup tumpukan

diperkuat primer, sekunder dan pondasi tanpa perkuatan. Tiang sekunder dibangun dengan overlap pada tiang primer, dengan tiang primer yang bertindak sebagai lagging beton. Penguatan dalam tumpukan sekunder umumnya terdiri dari tulangan atau balok baja. Diameter normal dari tumpukan garis potong adalah 36 "in/1,0 m dan jarak pusat pusat antara tiang adalah 30" in/0.8 m.

Dinding *secant pile* dibentuk oleh tiang primer (*Female Pile*) dan sekunder (*Male Pile*) dengan pengeboran tiang dengan diameter tertentu dan kedalaman yang diperlukan. Dinding *Secant pile* dibangun dalam dua tahap. Tiang primer akan dibangun pada Tahap 1 dengan kekuatan tertentu dari beton massa dan tumpukan sekunder akan dibangun pada tahap 2 dengan kekuatan beton yang. Tiang sekunder diposisikan antara Tiang primer dan garis potong dengan Tiang utama untuk membentuk sendi saling.



Gambar 2.12 Skema Rencana Tampak Dinding *Secant Pile*

Primary Pile (Female Pile)

- *Female Pile* akan dibangun sebagai Tiang primer untuk dinding *secant pile*. Tiang primer akan diisi dengan kekuatan tertentu dari beton massa tanpa tulangan baja.

Secondary Pile (Male Pile)

- *Male Pile* akan dibangun di antara Tiang primer dan tumpang tindih dengan Tiang utama dengan kekuatan tertentu dari beton setelah casing penguatan diturunkan ke dalam lubang bor. Tiang sekunder dibentuk dengan memotong ke dalam tumpukan utama untuk membentuk ikatan dengan menggunakan alat coring tertentu. Proses pemboran bagi tiang sekunder hanya akan dimulai setelah set awal tiang primer.

Langkah pembuatan dinding *secant pile* adalah terdiri dari beberapa langkah:

1. Langkah awal adalah untuk membangun sebuah dinding panduan untuk menyiapkan posisi dari dinding *secant pile*,
2. Bor dan pemasangan *casing* sementara 1 meter,
3. Pengeboran kolom primer, 1,3,5,7, dll dll,
4. Perkerasan dari kolom utama,
5. Pengeboran dari kolom sekunder tumpang tindih (*reinforced*), 2,4,6. Dll, dll,
6. Instal cage baja atau I-beam,
7. Perkerasan kolom sekunder,
8. Mengulangi langkah di atas.

(sumber : <http://www.secantpile.com>)

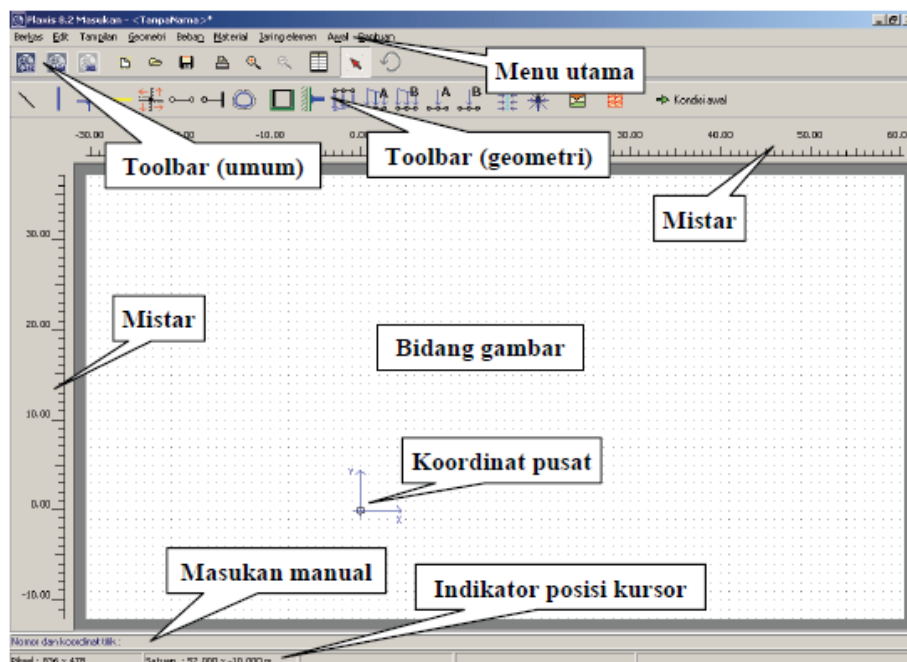
2.10. Program Plaxis 8.2

PLAXIS adalah program komputer berdasarkan metode elemen hingga dua-dimensi yang digunakan secara khusus untuk melakukan analisis deformasi

dan stabilitas untuk berbagai aplikasi dalam bidang geoteknik. Kondisi sesungguhnya dapat dimodelkan dalam regangan bidang maupun secara aksi-simetri. Program ini menerapkan metode antarmuka grafis yang mudah digunakan sehingga pengguna dapat dengan cepat membuat model geometri dan jaringan elemen berdasarkan penampang melintang dari kondisi yang ingin dianalisis. Program ini terdiri dari empat buah sub-program (Masukan, Perhitungan, Keluaran dan Kurva).

2.10.1. Input (Pre-Processing)

Program ini terdiri dari dua mode yang berbeda: Model dan Perhitungan. Modus Model berisi semua fasilitas untuk membuat dan memodifikasi model geometri dan untuk menghasilkan mesh elemen hingga 2D. Modus Perhitungan berisi semua fasilitas untuk mendefinisikan tahapan perhitungan yang mewakili berbagai tahap loading atau konstruksi, termasuk situasi awal.



Gambar 2.13 Jendela utama dari program Masukan (modus Model)

Geometri

Pembuatan sebuah model elemen hingga dimulai dengan pembuatan geometri dari model, yang merupakan representasi dari masalah yang ingin dianalisis. Sebuah model geometri terdiri dari titik-titik, garis-garis dan klaster-klaster. Titik dan garis dimasukkan oleh pengguna, sedangkan klaster dibentuk oleh program. Selain komponen-komponen dasar tersebut, obyek-obyek struktural atau kondisi khusus dapat diterapkan pada model geometri untuk memodelkan dinding terowongan, dinding, pelat, interaksi tanah-struktur dan pembebanan.

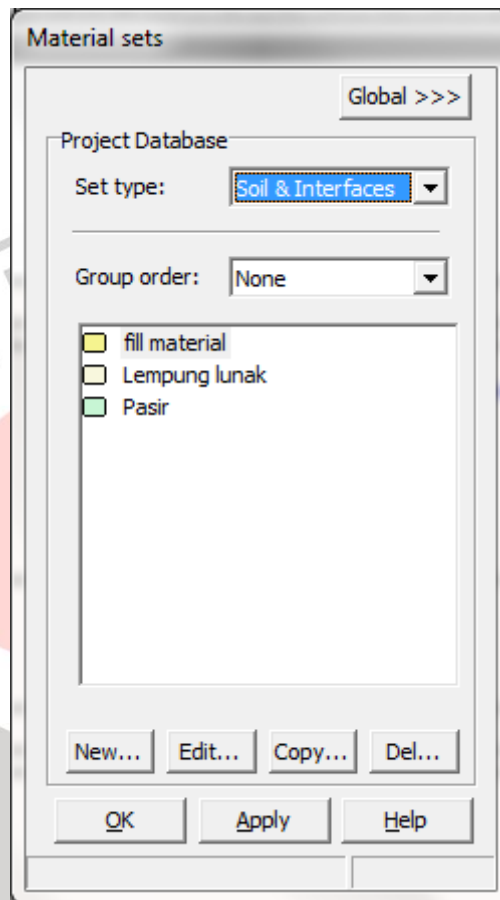
Disarankan untuk selalu memulai pembuatan model geometri dengan menggambarkan kontur geometri secara menyeluruh. Pengguna kemudian dapat menentukan material untuk tiap lapisan, obyek struktural, garis-garis yang digunakan untuk tahapan konstruksi, pembebanan serta kondisi batas. Model geometri tidak hanya menggambarkan kondisi awal saja, tetapi juga memuat situasi yang terjadi pada seluruh tahapan perhitungan.

Setelah seluruh komponen dalam model geometri terbentuk, pengguna harus memasukkan parameter-parameter untuk setiap data material dan menetapkan data tersebut pada seluruh komponen geometri. Saat model geometri secara keseluruhan telah terdefinisi secara lengkap dan tiap komponen geometri telah memiliki sifat awal, maka jaring elemen hingga dapat disusun.

Material Properties

Dalam PLAXIS, tanah properti dan sifat material struktur disimpan dalam set data material. Ada lima jenis bahan set: data set untuk tanah & *interface*, plat, dinding, lantai dan mata air. Semua set data yang disimpan dalam database materi. Dari

database, set data dapat ditugaskan untuk kelompok tanah atau ke objek struktural yang sesuai dalam model geometri.



Gambar 2.14 Jendela set Bahan menunjukkan proyek dan database global

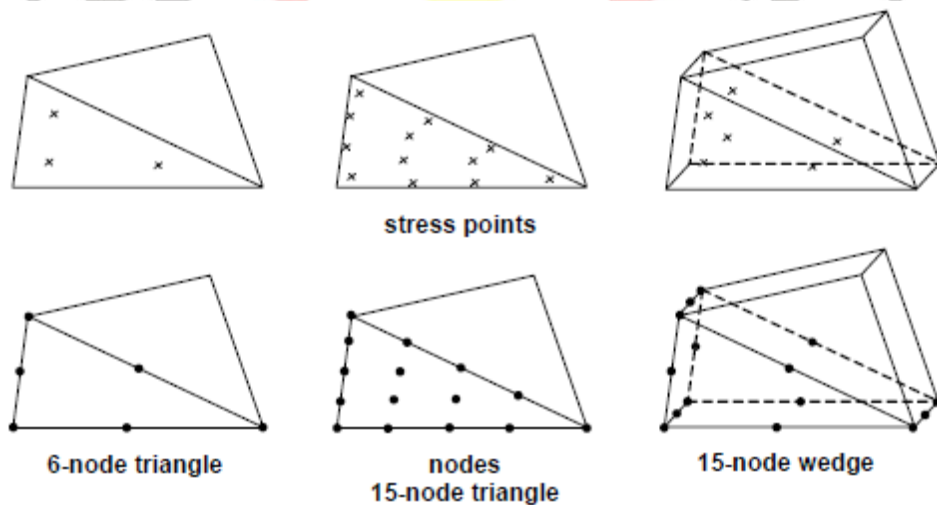
Mesh Generation

Untuk melakukan perhitungan elemen hingga, geometri harus dibagi menjadi elemen. Sebuah komposisi elemen hingga disebut mesh elemen hingga. Ketika model geometri sepenuhnya didefinisikan dan sifat material telah ditugaskan untuk semua lapisan tanah dan benda-benda struktural.

Masukan yang diperlukan untuk pembentuk jaring elemen adalah sebuah model geometri yang terdiri dari titik, garis dan klaster, dimana klaster (bidang yang tertutup oleh garis-garis) secara otomatis dibentuk dalam pembuatan model

geometri. Garis dan titik geometri juga dapat digunakan untuk mempengaruhi posisi dan distribusi dari elemen-elemen.

Penyusunan jaring elemen dimulai dengan meng-klik tombol penyusunan jaring elemen pada toolbar atau dengan memilih Susun dari sub-menu Jaring elemen. Penyusunan jaring elemen juga langsung dimulai setelah memilih penghalusan elemen dari submenu Jaring elemen.



Gambar 2.15 Perbandingan unsur-unsur tanah 2D dan 3D

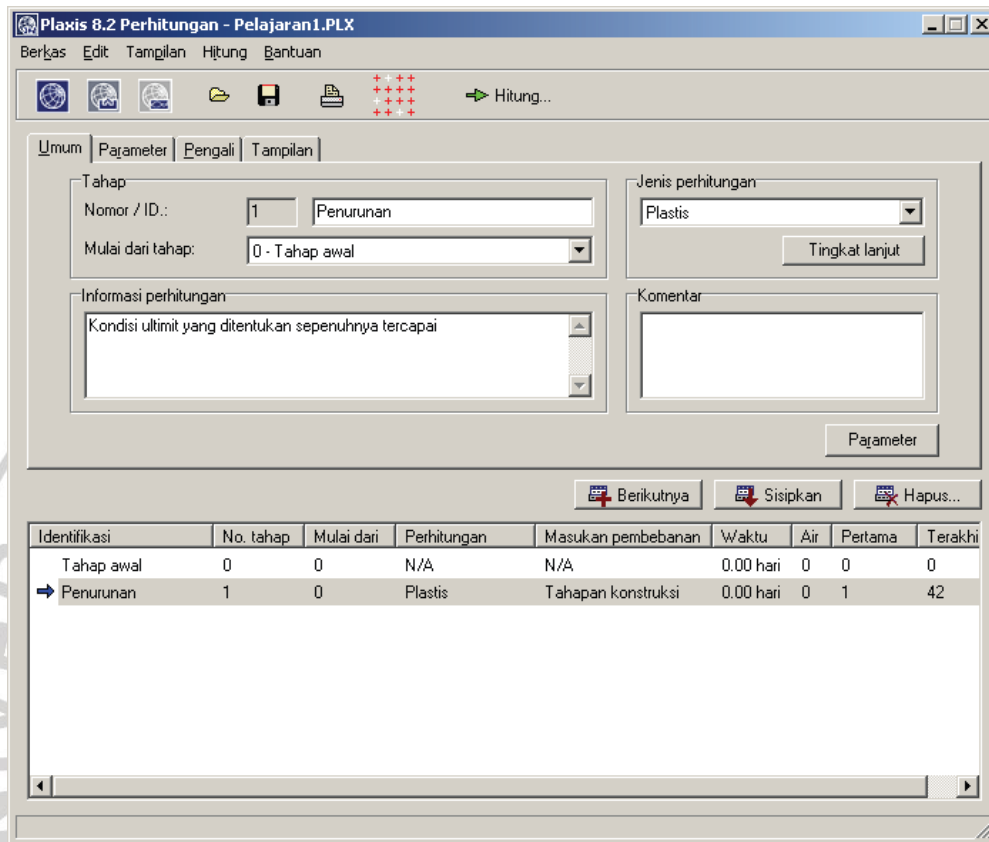
2.10.2. Perhitungan

Setelah penyusunan model elemen hingga, perhitungan elemen hingga sesungguhnya dapat dilakukan. Karena itu, perlu untuk mendefinisikan jenis perhitungan yang akan dilakukan dan jenis pembebanan atau tahapan konstruksi mana saja yang akan diaktifkan dalam perhitungan. Hal ini dilakukan dalam program Perhitungan.

Di dalam PLAXIS dapat dilakukan beberapa jenis perhitungan elemen hingga yang berbeda. Aliran air dalam tanah telah dibahas dalam subbab sebelumnya mengenai program Masukan, karena perhitungan aliran air dalam tanah umumnya digunakan untuk membentuk distribusi tekanan air yang digunakan sebagai data masukan untuk analisis deformasi. Program Perhitungan hanya akan melakukan analisis deformasi dan membedakan antara perhitungan *Plastis*, analisis *Konsolidasi*, *Reduksi phi-c* (analisis keamanan) dan perhitungan *Analisis dinamik*. Pilihan terakhir tersebut membutuhkan manual Dinamik dari PLAXIS yang merupakan manual tambahan dari Versi 8 dan tersedia secara terpisah. Tiga jenis perhitungan yang pertama (*Plastis*, *Konsolidasi* dan *Reduksi phi-c*) dapat mengikutsertakan efek dari perpindahan yang besar. Perhitungan ini disebut sebagai *Jaring elemen yang diperbaharui*, yang merupakan pilihan tingkat lanjut.

Dalam praktek, sebuah proyek dibagi-bagi menjadi beberapa tahapan proyek. Serupa dengan hal ini, suatu proses perhitungan dalam PLAXIS juga dibagi menjadi beberapa tahapan perhitungan. Contoh dari tahapan perhitungan adalah aktivasi dari suatu pembebanan pada waktu tertentu, simulasi tahapan konstruksi, suatu rentang waktu konsolidasi, perhitungan faktor keamanan, dan lain-lain. Setiap tahap perhitungan umumnya dibagi lagi menjadi beberapa langkah perhitungan. Hal ini diperlukan karena perilaku non-linier dari tanah akan membutuhkan peningkatan pembebanan dalam proporsi yang kecil (disebut sebagai langkah pembebanan). Namun demikian, dalam kebanyakan kasus umumnya cukup dengan mendefinisikan situasi yang harus tercapai pada akhir dari

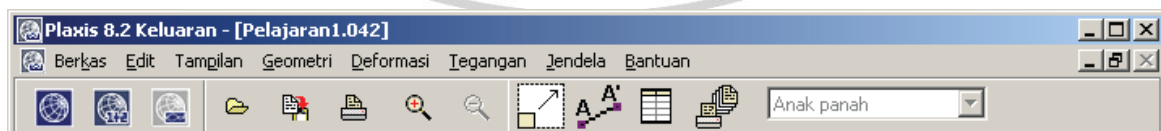
suatu tahap perhitungan. Prosedur otomatis yang handal dalam PLAXIS akan membagi tahapan tersebut menjadi langkah-langkah pembebanan yang sesuai.



Gambar 2.16 Jendela utama dari program Perhitungan

2.10.3. OUTPUT

Data output merupakan hasil dari analisis program Plaxis ini berupa hasil dari perhitungan elemen hingga terdiri dari deformasi dan tegangan yang dapat ditampilkan dalam bentuk tabel maupun kurva.



Gambar 2.17 *Toolbar* dalam jendela utama dari program Keluaran
(sumber : Brinkgreve.R.B.J. dkk. *Plaxis Version 8 Manual*, 2002)