BAB II
LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian yang dilakukan oleh Ryan Hendraning Risdianta, Dr. Ir. Harimurti, MT, Ir. Wahyu P. Kuswanda (2018) dalam jurnalnya yang berjudul " Perencanaan Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Preloading Dengan Kombinasi Prefabricated Vertical Drain (PVD) Dan Prefabricated Horizontal Drain (PHD) Pada Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung Area Amanda Dan Btari " Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah lama waktu yang dibutuhkan penurunan alami untuk mencapai konsolidasi 90% adalah 125 tahun. Sedangkan setelah dilakukan perbaikan tanah waktu yang dibutuhkan untuk mencapai konsolidasi 90% adalah 25 minggu menggunakan metode perbaikan tanah dengan PVD pola segitiga dengan jarak 1.3 m.

Penelitian yang dilakukan oleh Ohoimas Yanuar (2015) dalam jurnalnya yang berjudul "Analisis Konsolidasi dengan Menggunakan Metode preloading dan vertikal drain pada Areal Reklamasi Proyek Pengembangan Pelabuhan Belawan Tahap II " hasil yang di dapatkan dari penelitian ini adalah penurunan yang terjadi adalah 0,83 m dengan lama waktu untuk perbaikan tanah dengan menggunakan preloading adalah 17800 hari , sedangkan untuk perbaikan tanah dengan menggunakan metode preloading dan vertikal drain adalah 120 hari hingga 135 hari.

Penelitian yang dilakukan oleh Iskandar Maricar , Ardy Arsyad , Muhammad Risal (2017) dalam jurnalnya yang berjudul "Studi Penurunan Tanah Di Atas Tanah Lunak (Studi Kasus Jalan Nasional Tikke – Baras, Sulawesi Barat) " hasil yang di dapatkan dari penelitian ini adalah Berdasarkan hasil simulasi penurunan tanah dengan menggunakan Plaxis V 8.2 diperoleh penurunan total badan jalan pada Jalan Nasional Tikke – Baras sebesar 25,1 cm yang terdiri dari penurunan segera (*immediate settlement*) sebesar 8,6 cm dan penurunan konsolidasi sebesar 16,5 cm dengan waktu konsolidasi sebesar

3,62 tahun. Penurunan tersebut melebihi batas penurunan maksimum yang diizinikan (penurunan izin maksimum 6,5 cm – 10 cm *Skempton and Mac Donald 19,55*) sehingga sangat perlu untuk dilakukan metode perbaikan tanah. Setelah dilakukan metode perbaikan tanah hasil yang didapat adalah penurunan dengan metode preloading 0,12 cm selama 0,003 tahun , metode PVD 0,12 cm selama 0 003 tahun , metode geotekstil 25,10 cm selama 16,08 tahun , metode cerucuk kayu 23,89 cm selama 0,77 tahun dan minipile 6,29 cm selama 1,19 tahun.

Penelitian yang dilakukan oleh Jurniarso (2010) dalam jurnalnya yang berjudul" Analisa Waktu Penurunan Tanah Dengan Kombinasi Metode Preloading Dan Prefabricated Vertikal Drain (PVD) Antara Pola Segitiga Dan Persegi Pada Perbaikan Tanah (Studi Kasus Landas Pacu Bandar Udara Juwata Tarakan) "hasil yang didapat dalam penelitian ini adalah Perbaikan tanah dengan menggunakan Prefabricated vertical Drain adalah penanganan yang paling efektif dengan cara memberikan pre-loading pada tanah dasar yang akan membuat air pori terdrain melalui PVD. Sehingga dapat dianalisa waktu dan penurunan tanah secara konvensional maupun dengan menggunakan PVD. Hasil penelitian menunjukkan adanya percepatan waktu penurunan dengan menggunakan metode PVD dan secara cepat dapat meningkatkan daya dukung tanah dasar. Pola yang digunakan untuk pemasangan adalah pola segitiga dan persegi dengan diameter 1 – 2 m dan dengan kedalaman 18 m.

Penelitian yang dilakukan oleh Yusnia Widastuti (2017) dalam jurnalnya yang berjudul "Aplikasi Program Plaxis Dalam Analisis Numerik Penurunan Tanah Lunak Pada Jalan Poncosari - Greges Yogyakarta " hasil yang didapat dalam penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan penurunan tanah. Hasil analisis deformasi akibat beban perkerasan adalah sebesar 3,87 cm, akibat beban lau lintas sebesar 3,88 cm, dan akibat beban gempa sebesar 4,69 cm. Faktor aman didapatkan hasil sebesar 1,6 > 1,4, sehingga dapat disimpulkan bahwa lapis fondasi tersebut tergolong kedalam jenis lapis fondasi yang aman untuk pembangunan Jalan Poncosari-Greges Yogyakarta.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pengertian Tanah

Tanah merupakan material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral – mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan – bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang – ruang kosong diantara partikel – partikel padat tersebut (Das, 1995).

Seiring dengan berkembangnya teknologi di bidang kontruksi, banyak kegiatan kontruksi yang semakin fokus pada perilaku tanah. Tanah merupakan salah satu komponen yang menunjang stabilitas suatu struktur. Tanah sangat erat kaitannya dengan beban, sehingga jika suatu struktur dibangun di atas tanah tersebut, diharapkan tidak terjadi kerusakan dikemudian hari. Tanah selalu mempunyai peranan yang penting pada suatu lokasi pekerjaan kontruksi. Tanah berfungsi sebagai pondasi pendukung suatu kontruksi atau bahan dari suatu kontruksi itu sendiri seperti jalan raya, jembatan, bangunan gedung, dan yang lainnya. Jadi tanah itu selalu berperan pada setiap pekerjaan teknik sipil. Namun, pada kenyataannya pembangunan suatu kontruksi tidak selalu berada di atas tanah dasar yang relatif baik. Ada kalanya pembangunan suatu kontruksi dibangun di atas tanah yang kurang baik atau biasa disebut tanah lunak (soft soil). Oleh karena itu, sifat – sifat dan perilaku tanah menjadi hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan dan pelaksanaan suatu pekerjaan kontruksi.

2.2.2 Tanah lunak

Dalam Panduan Geoteknik penggunaan istilah “tanah lunak” berkaitan dengan tanah-tanah yang jika tidak dikenali dan diselidiki secara berhati-hati dapat menyebabkan masalah ketidakstabilan dan penurunan jangka panjang yang tidak dapat ditolerir, tanah tersebut mempunyai kuat geser yang rendah dan kompresibilitas yang tinggi. Pengertian tanah lunak menurut Rachlan (1986) dan Bina Marga (1999) adalah tanah yang

umumnya terdiri dari tanah lempung termasuk material pondasi yang sangat jelek karena kadar airnya yang tinggi, permeabilitas rendah dan sangat compressible dan tanah yang secara visual dapat ditembus dengan ibu jari minimum sedalam ± 25 mm, atau mempunyai kuat geser 40 kpa berdasakan uji geser baling lapangan. Sedangkan menurut Pedoman Konstruksi dan Bangunan (2005) dan dua orang peneliti yaitu: Soetjiono (2008) dan Pasaribu (2008) tanah lunak adalah tanah yang bersifat lemah, secara alamiah terbentuk dari proses pengendapan sebagai lapisan aluvial, biasanya terdapat di dataran aluvial, rawa dan danau; dan ditinjau secara mekanisme kejadian adalah tanah deposit yang sangat kompresif dan kuat gesernya rendah, yang mana kuat geser undrained lapangan kurang dari 40 kPa dan kompresibilitas tinggi.

Berbeda pula dengan Holtz dan Kovacs (1981), mereka mendefinisikan tanah lunak adalah sebagai tanah yang mempunyai sebagian besar ukuran butirnya sangat halus atau lolos ayakan No. 200. Sedangkan Bina Marga (2010) mendefenisikan tanah lunak dari sisi kekuatan tanah yaitu sebagai setiap jenis tanah yang mempunyai CBR lapangan kurang dari 2% . dari pendapat beberapa orang peneliti dan bina marga pada dasarnya , yang disebut tanah lunak adalah tanah yang mempunyai karakteristik buruk untuk dijadikan material pondasi. Tanah lunak mempunyai daya dukung yang rendah dan penurunan yang tinggi. Sehingga jika dijadikan sebagai pondasi bangunan atau jalan, maka harus dilakukan terlebih dahulu stabilisasi atau perbaikan tanah lunak tersebut sehingga layak dan memenuhi persyaratan sebagai lapis pondasi atau lapisan tanah dasar untuk pembuatan jalan raya. Tanah lunak juga dapat diartikan sebagai tanah lempung (clay) atau lanau (silt) yang mempunyai harga pengujian standar (Standart Penetration Test) N yang lebih kecil dari 4 atau tanah organis seperti gambut yang mempunyai kadar air alamiah yang sangat tinggi. Demikian pula lapisan tanah berpasir dalam keadaan lepas yang mempunyai harga N kurang dari 10, diklasifikasikan sebagai tanah lunak. Tanah lunak umumnya terdiri dari tanah yang

sebagian besar terdiri dari butir-butir yang sangat kecil seperti lempung atau lanau.

Sifat Tanah Lunak

Sifat-sifat tanah lunak kurang menguntungkan untuk dijadikan lapisan tanah dasar. Dimana tanah lunak banyak dipengaruhi oleh air. Semakin rendah kadar air maka daya dukung tanah semakin besar (Sepriawan, 2012). Dengan demikian, salah satu cara untuk menstabilisasi tanah lunak adalah mengeluarkan air pori dari tanah tersebut. Menurut Suyono (1986); Yelvi dan Adibroto (2007), berikut ini beberapa sifat tanah lunak adalah:

1. Gaya gesernya kecil
2. Kemampatan yang besar
3. Permeabilitas tinggi
4. Tanah lunak memiliki sifat kompresibilitas yang sangat tinggi. Salah satu faktor yang menyebabkan tingginya tingkat kompresibilitas pada tanah lunak adalah karena tanah jenis ini memiliki angka pori yang tinggi.
5. Memiliki kadar air yang tinggi sehingga menyebabkan tanah lunak memiliki daya dukung yang sangat rendah dan memiliki masalah penurunan yang besar selama dan setelah konstruksi dibangun. Kadar air tanah lempung bervariasi tergantung pada kenaikan dari tingkat plastisitas lempung dan struktur tanah lempung. Tanah lempung lunak dipengaruhi oleh prosentase kadar air (Holtz, 2000).

Berikut ini adalah tabel Hubungan antara kepadatan, relative density, nilai N, qc dan Ø

Tabel 2.1 Hubungan antara kepadatan, relative density, nilai N, qc dan Ø

Kepadatan	Relatife Density (Dr)	Nilai N	Tekanan Konus qc (kg/cm^2)	Sudut geser dalam (ϕ^0)
Very Loose	<0,2	<4	<20	<30
Loose	0,2-0,4	4-10	20-40	30-35
Medium Dense	0,4-0,6	10-30	40-120	35-40
Dense	0,6-0,8	30-50	120-200	40-45
Very Dense	0,8-1,0	>50	>200	>45

(Sumber : Begemann, 1965)

2.2.3 Teori Penurunan Tanah

Ketika suatu lapisan tanah diberikan beban diatasnya, maka partikel tanah akan mengalami penambahan tegangan, sehingga pada tanah terjadi penurunan (settlement). Penurunan tersebut disebabkan oleh adanya deformasi partikel tanah, keluarnya air atau udara dari dalam pori, dan yang lainnya. Terzaghi (1943) dalam Maspanji (2016), mengasumsikan bahwa beban yang bekerja atau deformasi tanah terjadi pada satu arah vertikal saja, hal ini tentu saja berpengaruh terhadap hasil perhitungan penurunan. Pada kondisi sebenarnya, deformasi dapat terjadi ke segala arah, sehingga deformasi yang terjadi akan terdistribusi ke segala arah dan menyebabkan nilai penurunan akan lebih kecil.

Teori konsolidasi satu dimensi Terzaghi (1943) telah lama dipergunakan untuk memprediksi penurunan serta waktu konsolidasi. Teori ini sudah sangat lazim dipergunakan dan dianggap dapat menjelaskan penurunan akibat kompresi dan drainase satu dimensi pada tanah dengan baik (Maspanji, 2016). Akan tetapi, estimasi penurunan konsolidasi dengan teori Terzaghi memberikan hasil yang jauh lebih besar daripada penurunan aktual di lapangan (Maspanji, 2016). Hal ini

dikarenakan adanya pengabaian dari beberapa faktor terkait dengan metode pelaksanaan penimbunan.

Faktor – faktor tersebut ialah perkuatan tanah yang terjadi akibat proses penimbunan bertahap, perubahan tingkat kejenuhan, dan rangkak. Pada umumnya penurunan berlangsung dalam satu arah saja yaitu arah vertikal, karena lapisan yang mengalami tambahan beban itu tidak dapat bergerak secara horizontal akibat ditahan oleh tanah disekitarnya (lateral pressure) (Santoso, 2010). Secara umum, penurunan pada tanah yang disebabkan oleh pembebanan dapat dibagi menjadi tiga komponen, yaitu :

1. Penurunan Seketika (*Immediate Settlement*)

   Penurunan seketika merupakan penurunan yang terjadi seketika saat beban diberikan. Pada tanah jenuh air dan permeabilitas rendah, beban yang bekerja diterima sepenuhnya oleh tegangan air pori. Pada tanah dengan permeabilitas tinggi, tegangan air pori yang terjadi muncul hanya sebentar karena tegangan air pori ini terdisipasi dengan cepat. Deformasi yang terjadi pada tanah tidak disertai perubahan volume.

2. Penurunan Konsolidasi/Primer (*Consolidation Settlement*)

   Penurunan konsolidasi adalah penurunan pada tanah kohesif yang diakibatkan terdisipasinya tegangan air berlebih di dalam tanah, dan akhirnya menghasilkan perubahan dari segi volume. Jenis penurunan ini terjadi bersama dengan waktu yang berlalu. Tegangan air pori berlebih di transfer menuju partikel tanah menjadi tegangan efektif. Saat tegangan air pori berlebih ini = 0, penurunan konsolidasi sudah selesai.

3. Penurunan Rangkak/Sekunder (*Creep/Secondary Settlement*)

Penurunan sekunder merupakan penurunan yang terjadi setelah penurunan konsolidasi. Penurunan ini terjadi seiring dengan waktu berlalu dan biasanya terjadi sangat lama setelah beban mulai bekerja. Penurunan ini terjadi saat semua tegangan air pori berlebih di dalam tanah telah terdisipasi dan saat tegangan efektif yang terjadi berada dalam keadaan konstan.

Dengan demikian, penurunan total dari suatu tanah yang dibebani adalah :

$ST = Si + Sc + Ss$ .....(2.1)

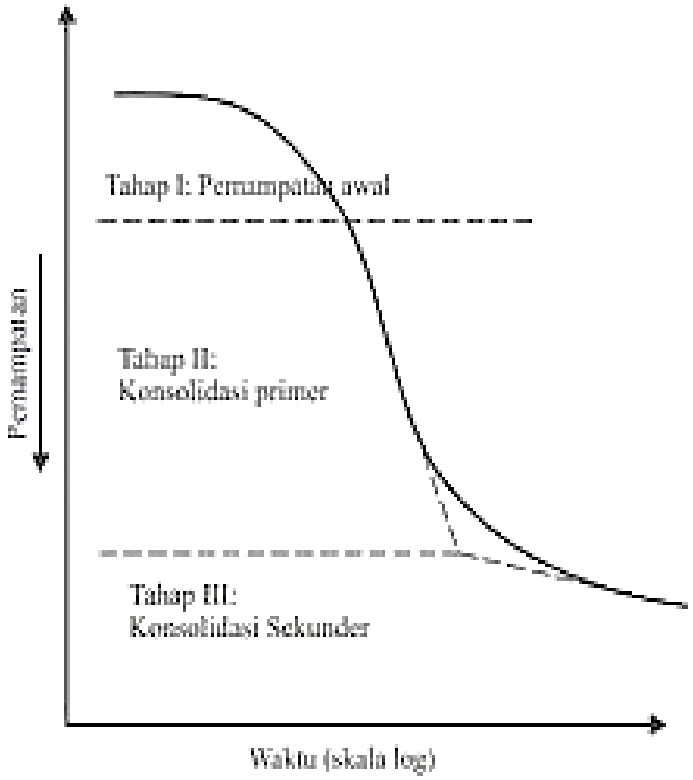
dimana :

ST = Penurunan Total (cm)

Si = Penurunan Seketika (*Immediate Settlement*) (cm)

Sc = Penurunan Konsolidasi/Primer (*Consolidation Settlement*) (cm)

Ss = Penurunan Rangkak/Sekunder (*Secondary Settlement*) (cm)



Gambar 2.1 Grafik waktu-pemampatan selama konsolidasi untuk suatu penambahan beban yang diberikan

Sumber : Das (1995)

Penurunan Konsolidasi Primer (*Primary Consolidation*)

Penurunan konsolidasi primer merupakan proses keluarnya air dan udara dari dalam tanah akibat bekerjanya beban luar yang dipengaruhi oleh waktu. Besar pemampatan konsolidasi primer pada lapisan tanah lunak setebal H dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Das, 1995) :

1. Normally Consolidated Soil

$$S_{c_i} = \frac{H_i}{1+e_o}\left[C_c \log\left[\frac{\sigma_o' + \Delta\sigma}{\sigma_o'}\right]\right] \quad \text{.....(2.2)}$$

2. Overconsolidated Soil
   Bila ($\sigma_o' + \Delta\sigma$) $\leq \sigma_c'$

$$S_{c_i} = \frac{H_i}{1+e_o}\left[C_s \, log\left(\frac{\sigma_o'}{\sigma_o'}\right)\right]$$ .....(2.3)

Bila ($\sigma_o' + \Delta\sigma$) ≥ σ_c'

$$S_{c_i} = \frac{H_i}{1+e_o}\left[\left[C_s \, log\left(\frac{\sigma_c'}{\sigma_o'}\right)\right] + \left[C_C \log\left(\frac{\sigma_o'+\Delta\sigma}{\sigma_c'}\right)\right]\right]$$ .....(2.4)

dimana :

S_{c_i} = besar pemampatan konsolidasi lapisan tanah ke-i

Hi = tebal lapisan tanah ke-i

e_o = angka pori awal lapisan tanah ke-i

C_c = koefisien kompresi tanah lapisan ke-i (*compression index*)

C_s = koefisien mengembang tanah lapisan ke-i (*swelling index*)

σ_o' = tegangan tanah vertikal efektif di titik tengah-tengah lapisan tanah ke-i

σ_c' = tegangan prakonsolidasi efektif

$\Delta\sigma$ = penambahan tegangan vertikal di titik yang ditinjau akibat beban luar

Parameter untuk Perhitungan Penurunan

Dalam menghitung besarnya penurunan suatu lapisan tanah, maka diperlukan parameter – parameternya. Adapun parameter – parameternya ialah sebagai berikut :

1. Tebal Lapisan *Compressible*

   Tebal lapisan *compressible* yang diperhitungkan adalah yang memiliki nilai N- SPT < 10 (Winner, 2017).

2. Tegangan *Overburden* Efektif (σ_o')

   Dalam Winner (2017), tegangan *overburden* efektif adalah tegangan vertikal efektif dari tanah asli akibat beban atau lapisan tanah di atas

titik tanah asli yang ditinjau. Tegangan *overburden* efektif dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini :

σ_o' = γ'. H .....(2.5)

dimana :

γ' = berat volume tanah efektif (γsat - γw) (t/m³)

H = tebal lapisan tanah yang terkonsolidasi (m)

3. Distribusi Tegangan Tanah ($\Delta\sigma$)

$\Delta\sigma$ merupakan tambahan tegangan akibat pengaruh beban timbunan yang ditinjau di tengah-tengah lapisan. Menurut Braja M. Das (1986)*".* diagram tegangan tanah akibat timbunan adalah sebagai berikut :

$$\Delta\sigma = \frac{q_o}{\pi}\left[\left(\frac{B_1+B_2}{B_2}\right)(\propto_1 + \propto_2) - \frac{B_1}{B_2} \propto 2\right] \text{.....(2.6)}$$

Dimana :

q_o = beban timbunan (γ_{timbunan} X h_{timbunan})

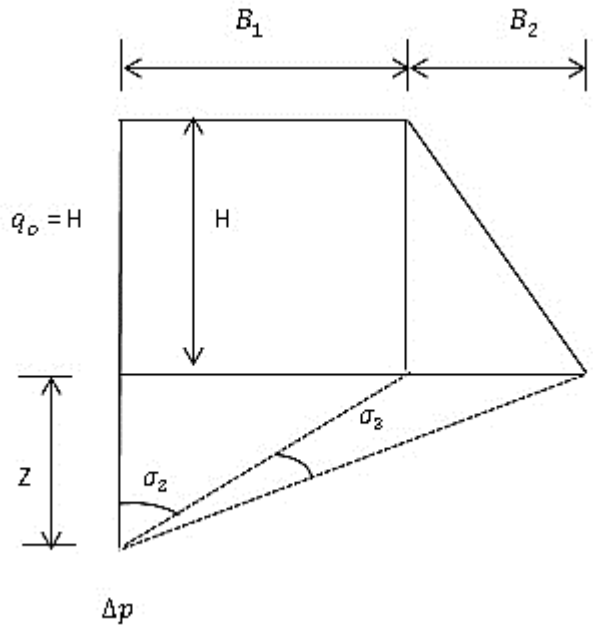
Δσ = besarnya tegangan akibat pengaruh beban timbunan yang ditinjau di tengah-tengah lapisan

$$\alpha_1 = tan^{-1}\left(\frac{B_1+B_2}{z} rad\right) - tan^{-1}\left(\frac{B_1}{z} rad\right) \text{.....(2.7)}$$

$$\alpha_2 = tan^{-1}\left(\frac{B_1}{z} rad\right) \text{.....(2.8)}$$

B_1= setelah lebar timbunan

B_2= panjang proyeksi horizontal kemiringan timbunan.



Gambar 2.2 Visualisasi dan Notasi $\Delta\sigma$

Sumber : Das (1995)

Harga $\Delta\sigma$ yang diperoleh akibat beban setengah timbunan seperti yang divisualisasikan pada Gambar 2.2, sehingga untuk timbunan yang simetris, nilai $\Delta\sigma$ harus dikalikan 2

Waktu Pemampatan Tanah Dasar

Proses konsolidasi tanah lempung yang tebal berlangsung dalam waktu yang sangat lama. Perbandingan antara pemampatan tanah pada saat t dengan pemampatan total yang terjadi disebut derajat konsolidasi. Nilai derajat konsolidasi adalah antara 0% sampai 100%. Derajat konsolidasi 0-60% dirumuskan dengan :

$$U = \left(2\sqrt{\frac{T}{\pi}}\right)100\% \quad \text{.....(2.9)}$$

Derajat konsolidasi > 60% dirumuskan dengan :

U = (100 – a)% .....(2.10)

Dimana :

U = derajat konsolidasi

T = faktor waktu

$$a = 10\left(\frac{1.781-T}{0.933}\right)$$

Dengan menggunakan Persamaan 2.9 dan Persamaan 2.10, variasi faktor waktu terhadap derajat konsolidasi dapat ditunjukkan pada **Tabel 2.2**

Tabel 2.2 Variasi Faktor Waktu terhadap Derajat Konsolidasi

Derajat Konsolidasi U%	Faktor Waktu T
0	0.000
10	0.008
20	0.031
30	0.071
40	0.126
50	0.196
60	0.283
70	0.403
80	0.567
90	0.848
100	-

sumber : Mochtar, 2012 dalam skripsi Muhammad Faisal

Pemampatan konsolidasi lapisan tanah dasar yang terjadi karena keluarnya air pori ke lapisan yang lebih porous, yaitu ke atas atau ke bawah saja (*single drainage*) atau ke atas dan ke bawah (*double drainage*). Waktu konsolidasi untuk *single drainage* dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$t = \frac{T\,(H_{dr})^2}{C_v} \times 100\% \quad \text{.....(2.11)}$$

$$t = \frac{T\left(\frac{H_{(dr)}}{2}\right)^2}{C_v} \times 100\% \quad \text{.....(2.12)}$$

Dimana :

t = waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pemampatan konsolidasi.

T = faktor waktu.

H_{dr} = jarak air pori di lapisan tanah untuk mengalir keluar.

C_v = koefisien konsolidasi akibat aliran air pori arah vertical.

Untuk tanah yang berlapis-lapis dengan ketebalan yang berbeda-beda, harga Cv gabungan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$C_{v\,\text{gabungan}} = \frac{(H_1+H_2+\cdots+H_n)^2}{\left(\frac{H_1}{\sqrt{C_{v_1}}}+\frac{H_2}{\sqrt{C_{v_2}}}+\cdots+\frac{H_n}{\sqrt{C_{v_n}}}\right)^2} \quad \text{.....(2.13)}$$

dimana:

$H_1, H_2, H_3,,..., H_n,$ = tebal lapisan tanah 1, 2, 3, ..., n

C_{v_1} , C_{v_2} , C_{v_3}, ..., C_{v_n} = besar koefisien konsolidasi lapisan tanah 1, 2, 3, …, n

2.2.4 Metode Perbaikan Tanah Lunak

Stabilisasi tanah adalah suatu cara yang digunakan untuk mengubah atau memperbaiki sifat tanah dasar sehingga diharapkan tanah dasar tersebut mutunya dapat lebih baik dan dapat meningkatkan kemampuan daya dukung tanah dasar terhadap konstruksi yang akan dibangun diatasnya. Pada umumnya, yang disebut dengan lapisan tanah yang lunak adalah lempung atau lanau yang mempunyai harga pengujian standart penetration test lebih kecil dari 4 atau tanah organis seperti

gambut yang mempunyai kadar air alamiah yang sangat tinggi. Dilihat dari mineral pembentuknya, tanah lempung dapat dibagi menjadi lempung ekspansif dan lempung non ekspansif. Tanah lempung ekspansif tersusun dari mineral lempung yang mempunyai karakter kembang dan susut yang besar apabila terjadi perubahan kadar air. Hal ini dikarenakan tanah ekspansif mengandung jenis-jenis material tertentu yang mengakibatkan tanah ekspansif mempunyai luas permukaan cukup besar dan sangat mudah menyerap air dalam jumlah besar. Bila suatu konstruksi dibangun diatas tanah ekspansif maka kerusakan yang dapat terjadi antara lain retakan *(cracking)* pada perkerasan jalan dan jembatan, terangkatnya struktur pelat, kerusakan jaringan pipa, jembulan tanah *(soil heaving),* longsoran, dan sebagainya. Sehingga perlu untuk mengetahui sifat-sifat dasar tanah seperti penyebaran ukuran butiran, kemampuan mengalirkan air, sifat pemampatan bila dibebani *(compressibility),* kekuatan geser, kapasitas daya dukung tanah terhadap beban dan lain-lain. Untuk mengatasi kerusakan yang disebabkan oleh tanah ekspansif adalah dengan beberapa metode yaitu antara lain dengan penggantian material atau mencampur tanah, pemakaian cerucuk bambu, pengubahan sifat kimiawi, dan penggunaan geosintesis.

Seperti yang telah di jelaskan pada poin sebelumnya, salah satu permasalahan yang dapat terjadi pada tanah lunak adalah penurunan yang sangat besar dalam waktu yang lama. Untuk menanggulangi masalah tersebut, maka perlu diperlukan suatu solusi berupa perbaikan tanah lunak. Variasi metode perbaikan tanah sudah sangat berkembang belakangan ini. Setiap metode perbaikan tanah tersebut tentunya harus bertujuan untuk meningkatkan kekuatan dari tanah dan mencegah penurunan yang besar serta kemungkinan kerusakan pada suatu struktur. Pemilihan metode perbaikan tanah tersebut sangat bergantung dari kondisi geologis tanah, karakteristik tanah, biaya yang dikeluarkan untuk perbaikan, pengadaan bahan perbaikan tanah dan pengalaman dalam hal pelaksanaan di lapangan. Terdapat beberapa metode untuk melakukan perbaikan tanah lunak, tetapi pada proyek jalan tol Kunciran –

Cengkareng segmen dua ini, metode yang digunakan ialah metode *preloading* pada penelitian ini , akan menganalisis perbandingan metode perbaikan tanah lunak dengan metode Geotekstil , PVD , Cerucuk kayu , dan Minipile yang di simulasikan dengan software Plaxis .

2.2.4.1 Pra-pembebanan (*Preloading*)

Pada tanah yang lunak, mudah mampat dan tebal, biasanya diperlukan suatu metode pembebanan sebelum pelaksanaan kontruksi itu sendiri. Metode itulah yang selama ini dikenal dengan metode pra-pembebanan atau *preloading*. Metode ini berupa tanah yang ditimbun di atas permukaan tanah yang lunak sebagai pengganti beban lalu lintas. Metode preloading ini dimaksudkan untuk mereduksi penurunan konsolidasi primer, yaitu dengan membebani tanah terlebih dahulu sebelum pelaksanaan pekerjaan kontruksi. Setelah total penurunan konsolidasi primer selesai atau sangat kecil, barulah beban tanah dikupas atau dibongkar *(unloading)* dan struktur dibangun di atas tanah tersebut. Gambar metode *preloading* dapat dilihat pada Gambar 2.2. Keuntungan dari metode preloading ini ialah menambah kuat geser tanah dan mengurangi penurunan. Pada pekerjaan timbunan untuk jalan raya, metode *preloading* dapat dilakukan dengan melebihkan tinggi timbunan. Setelah penurunan konsolidasi sangat kecil atau selesai, kemudian kelebihan tinggi timbunan dibongkar (Hardiyatmo, 2008). Untuk tinggi timbunan kritis beban preloading dapat dihitung berdasarkan daya dukung tanah lempung mula – mula. Kekuatan geser tanah lempung, dalam hal ini kohesi tanah akan mempengaruhi tinggi timbunan yang akan dipergunakan. Daya dukung tanah lempung dalam perencanaan beban preloading dihitung sebagai berikut :

$q_u = 2 \; x \; C_u$ ..... (2.14)

$q_u = \gamma$ timbunan $x \; H_{cr}$ .....(2.15)

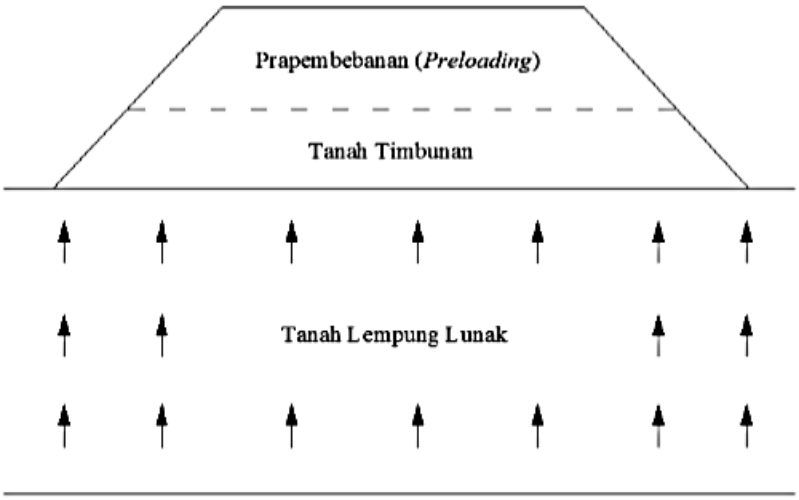
$$\text{Hcr} = \frac{2\ x\ Cu}{\gamma\ \text{timbunan}} \quad \text{.....(2.16)}$$

dimana :

C_u = kohesi tanah dasar (t/m²)

$\gamma_{timbunan}$ = berat volume tanah timbunan (t/m³)

H_{cr} = tinggi timbunan kritis (m)



Gambar 2.3 Pra-Pembebanan (*preloading*)

Sumber : Hardiyatmo (2008)

Tinggi Timbunan Pelaksanaan (H_R) dan Tinggi Timbunan Rencana (H)

Tinggi timbunan pelaksanaan (H_R) merupakan tinggi dimana tanah ditimbun saat pelaksanaan untuk mencapai tinggi timbunan rencana (H) sesuai dengan waktu yang direncanakan. Besarnya tinggi timbunan pelaksanaan tergantung dari besarnya pemampatan yang terjadi pada tanah dasar. H_R dan H dimodelkan pada Gambar 2.3 . Tinggi timbunan pelaksanaan dapat dicari dengan menggunakan cara grafis dengan mencari titik perpotongan Antara kurva *Sc* vs H_R dan H_R -H dan H_R sehingga berlaku persamaan :

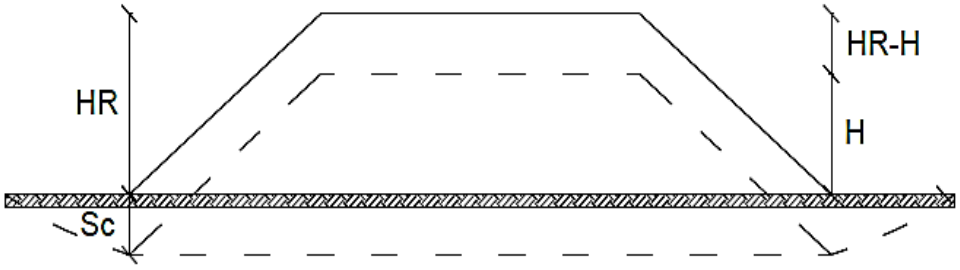
$S_c = H_R - H$ ……..(2.17)

dimana:

S_c = besarnya pemampatan tanah dasar sesuai tinggi timbunan (H_R) (variabel)

H_R = tinggi timbunan pelaksanaan (variabel)

H = tinggi timbunan rencana (*fixed*)



Gambar 2.4 Permodelan HR dan H timbunan

Sumber : Muhammad Faisal Haq (2017)

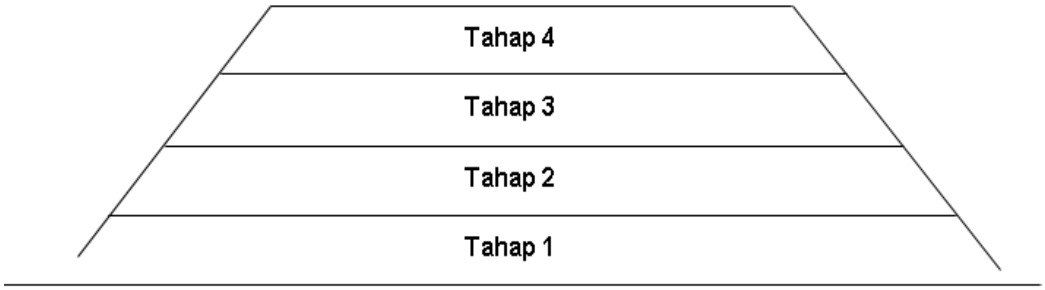
Tinggi Timbunan Kritis (H cr)

Tinggi timbunan kritis adalah tinggi dimana stabilitas timbunan memiliki angka kemanan 1 atau saat timbunan akan mengalami kegagalan. H cr dapat dicari dengan menggunakan software analisis geoteknik dengan tujuan mencari tinggi timbunan ketika SF (*Safety Factor*) = 1.

Timbunan Bertahap

Pelaksanaan timbunan dilakukan secara bertahap dalam jangka waktu tertentu dengan tinggi timbunan per tahapnya direncanakan. Setiap tahap ditimbun lalu dipantau perubahan stabilitas tanah dasarnya. Proses penahapan timbunan mempertimbangkan tinggi timbunan kritis (H cr)

untuk mencegah terjadinya kelongsoran. Pelaksanaan timbunan bertahap dapat dilaksanaan pada **Gambar 2.5**

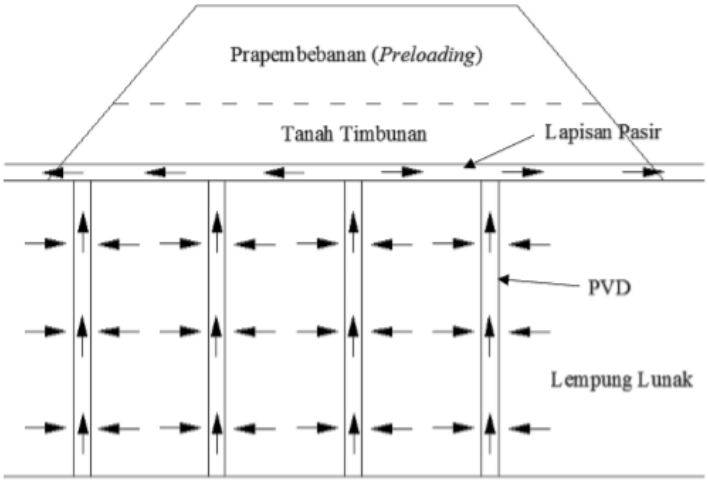


Gambar 2.5 timbunan bertahap

Sumber : Muhammad Faisal Haq (2017)

2.2.4.2 *Prefabricated Vertical Drain* (PVD)

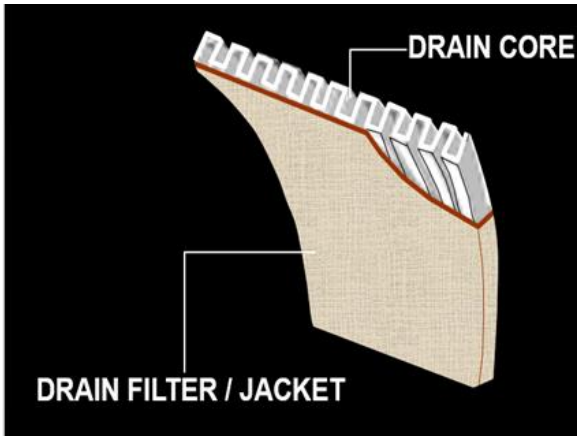
Sering ditemui dalam pekerjaan kontruksi bahwa metode preloading masih membutuhkan waktu yang cukup lama (umumnya lebih dari satu tahun) padahal proyek tidak dapat menunggu selama itu. Untuk mempercepat proses konsolidasi, dilakukan perbaikan tanah dengan menggunakan prefabricated vertical drain (PVD). Cara ini biasa diterapkan pada tanah dimana pemampatan terjadi sebagian besar akibat konsolidasi primer. Prefabricated vertical drain (PVD) merupakan sistem drainase buatan yang dipasang secara vertikal ke dalam lapisan tanah lunak. Sistem drainase vertikal ini mempunyai bentuk berupa sabuk berpenampang persegi panjang, terdiri dari bagian luar berupa filter yang terbuat dari bahan synthetic atau geotextile. PVD berperan besar dalam proses konsolidasi. Dengan menggunakan PVD, maka proses konsolidasi dapat berjalan lebih cepat. Preloading dengan PVD dapat dilihat pada **Gambar 2.6** di bawah ini :



Gambar 2.6 Preloading dengan PVD

Sumber : Hardiyatmo (2008)

Kecepatan konsolidasi tanah-tanah berbutir halus yang mudah mampat dapat dipercepat dengan drainase vertikal / *vertical drain*. Drainase vertikal ini memberikan lintasan air pori yang lebih pendek ke arah horisontal. Jarak drainase arah horisontal yang lebih pendek menambah kecepatan proses konsolidasi beberapa kali lebih cepat. Disamping itu permeabilitas tanah ke arah horisontal yang beberapa kali lebih besar, juga mempercepat laju proses konsolidasi. Proses konsolidasi yang dipercepat ini mempercpat pula kenaikan kuat geser tanah aslinya. (Hary Christady). Drainase vertikal dapat berupa kolom pasir / *sand drain* atau drainase vertikal pracetak / *PVD.* Drainase vertikal pracetak (*Prefabricated Vertical Drained*)berbentuk pita dengan tampang empat persegi panjang dengan lebar sekitar 100 mm dan tebal 4 mm dan dibuat dari geosintetis yang menyelubungi inti plastik. Selubung luar umumnya dibuat dari geotekstil nir-anyam (*non-woven*) yang terbuat dari polyester atau polypropylene. Inti plastik berfungsi sebagai penahan selubung filter, dan untuk memberikan aliran longitudinal di sepanjang *PVD.*



Gambar 2.7 material PVD

Sumber : *Geosistem (2013)*

Untuk analisa penurunan tanah dengan prefabricated vertical drain (PVD) dapat menggunakan metode yang diperkenalkan oleh Hansbo (1981) dalam Pasaribu (2012). Adapun parameter untuk menganalisa penurunan konsolidasi dengan PVD adalah sebagai berikut :

Pola Pemasangan PVD

Untuk penentuan titik pemasangan PVD, biasanya digunakan pola-pola tertentu untuk memudahkan pelaksanaan. Pada umumnya, PVD dipasang dengan pola segiempat atau segitiga. Pola pemasangan PVD dapat dilihat pada Gambar 2.5 dan 2.6. Untuk mengetahui daerah pengaruh kerja PVD, maka dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini :

1. untuk pola segiempat

$$R = 0{,}546 \cdot S \text{ atau } D = 1{,}13 \cdot S \quad \text{..... (2.18)}$$

2. untuk pola segitiga

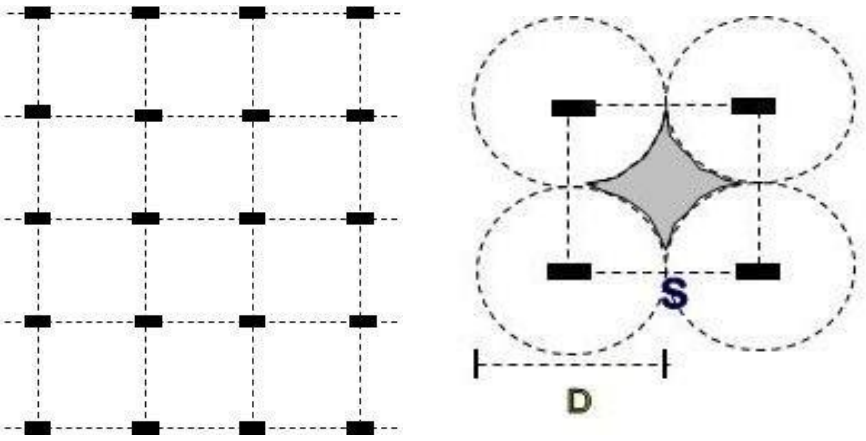
$$R = 0{,}525 \cdot S \text{ atau } D = 1{,}05 \cdot S \quad \text{..... (2.19)}$$

dimana :

R = jari-jari (m)

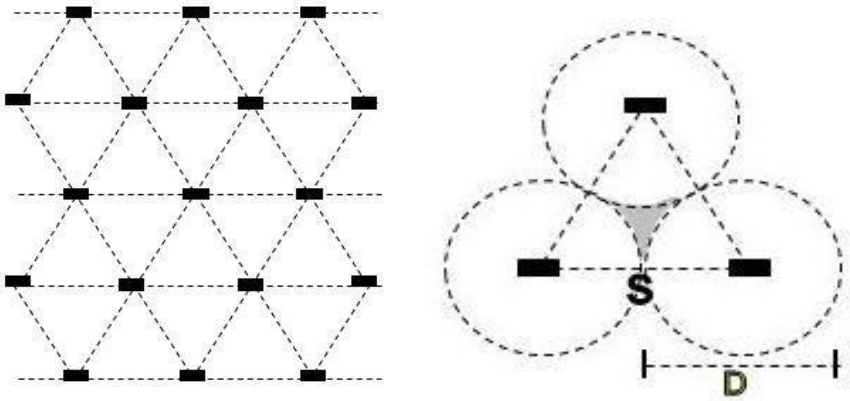
D = diameter jangkauan kerja PVD (m)

S = Spacing atau jarak antar PVD (m)



Gambar 2.8 PVD pola susunan segiempat

Sumber : Craig (1989)



Gambar 2.9 PVD pola susunan segitiga

Sumber : Craig (1989)

Jarak Pemasangan PVD dan Kedalaman PVD

Jarak pemasangan PVD umumnya lebih dari 1 m, akan tetapi menurut Fellenius (2006) dalam Hardiyatmo (2008), jarak pemasangan PVD berkisar diantara :

- untuk lempung homogen : 1 s/d 1,6 m

- untuk lempung berlanau : 1,2 s/d 1,8 m

- untuk tanah – tanah yang lebih kasar : 1,5 s/d 2 m

Kedalaman PVD adalah sepanjang lapisan tanah yang mengalami konsolidasi. PVD dipasang sepanjang lapisan tanah yang compressible (N-SPT < 10) atau sedalam lapisan tanah yang masih mengalami pengaruh akibat distribusi tegangan dari beban di atasnya (Winner, 2017)

2.2.5 Metode Elemen Hingga (FEM)

Analisa dan prediksi penurunan konsolidasi/primer juga dapat dilakukan dengan metode elemen hingga (finite element method). Metode elemen hingga merupakan suatu metode perhitungan berdasarkan konsep diskretisasi, yaitu menyederhanakan sebuah elemen kontinyu menjadi elemen – elemen yang lebih kecil. Dengan begini, sebuah sistem yang mempunyai derajat kebebasan tak terhingga dapat didekatkan dengan sejumlah elemen yang mempunyai derajat kebebasan berhingga. Dengan kata lain, metode elemen hingga ini merupakan suatu cara pendekatan analisa struktur kondisi asli dengan profil tanah yang telah dibuat sebelumya. Untuk memperoleh hasil yang cukup akurat, maka elemen kontinyu harus disederhanakan menjadi elemen – elemen hingga yang kecil sehingga setiap elemen bias bekerja secara simultan. Metode ini dapat digunakan untuk mengetahui deformasi ataupun tegangan yang terjadi pada suatu elemen yang disebabkan oleh distribusi beban atau

gaya (Julius, 2013). Adapun program dari metode elemen hingga yang digunakan dalam kasus ini ialah PLAXIS 2D.

Analisis Pemodelan Pada Plaxis

PLAXIS menyajikan beberapa permodelan untuk mensimulasikan beberapa tingkah laku dari tanah. Permodelan-permodelan tersebut adalah Permodelan *Linear Elastic*, Permodelan *Mohr-Coulomb*, Permodelan *Jointed-Rock*, Permodelan *Hardeing soil*, Permodelan *Soft Soil*, Permodelan *Soft Soil Creep*, Permodelan *User-Defined Soil*. Namun penulis hanya menggunakan permodelan Mohr-Coulomb. Permodelan ini digunakan sebagai perkiraan awal dari tingkah laku tanah secara umum. Permodelan ini meliputi lima parameter, yaitu Young‟s modulus (E), Poisson‟s ratio (υ), kohesi (*c*), sudut geser (θ), dan sudut dilatansi (ψ).

Pada Plaxis terdapat 4 sub-program yaitu: *Input, Calculation, Output*, dan *Curve*.

A. Program Input

Untuk membuat analisis elemen hingga dengan PLAXIS, pengguna harus membuat model elemen hingga dan menentukan *property material* dan kondisi batas. Dalam membuat model elemen hingga, pengguna harus membuat model geometrik dua dimensi pada bidang x-y.
Program input terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut:

1. *General Setting*

   Pada tahap ini terdapat dua lembar kerja (*tab sheet)* yaitu*Project* dan *Dimension*. Lembar *Project* berisi nama proyek dan deskripsi, tipe model dan akselarasi. Lembar *Dimension* berisi satuan panjang, gaya, waktu dan dimensi area untuk menggambar.

2. Pemodelan secara Geometrik

   Tahapan dari permodelan elemen hingga dimulai dengan membuat model geometrik yang akan menggambarkan permasalahan yang

terjadi. Permodelan geometrik terdiri dari titik, garis, dan kelompok (*cluster*). Titik dan garis diinput oleh pengguna, sedangkan *cluster* diolah oleh program. Tambahan dari komponen dasar, objek struktur atau kondisi tertentu dapat digunakan permodelan geometrik mensimulasikan garis terowongan, dinding, plat, interaksi tanah dan semua komponen geometrik telah memiliki property masing-masing, maka struktur elemen hingga dapat diolah.

3. *Load* dan *Boundary Conditions*

   Menu *loads* berisi pilihan yang menjelaskan distribusi beban, apakah beban garis atau beban titik. Kondisi batas menjelaskan *displacement* (perpindahan) yang sama dengan nol. Kondisi dapat diterapkan pada garis geometrik dan pada titik.

4. Material Properti

   Pada PLAXIS, nilai properti tanah dan properti material dari struktur disimpan pada data material. Di mana ada empat macam material, data untuk tanah dan interaksi, plat, geogrid, dan angkur. Semua data disimpan pada data base material. Berdasarkan data base tersebut dapat ditetapkan kumpulan tanah atau objek struktur pada permodelan geometrik.

5. *Mesh Generation*

   Setelah permodelan geometrik semua sudah ditetapkan dan properti material dipilih untuk semua jenis kumpulan tanah dan objek struktur, permodelan geometrik harus dibagi-bagi menjadi elemen-elemen hingga (*mesh*) dengan tujuan untuk membentuk perhitungan elemen hingga. Komposisi untuk elemen hingga disebut "*mesh*".

6. *Initial Condition*

   Setelah permodelan geometrik dibuat dan jarring elemen hingga sudah di-*generate* (diproses), keadaan tegangan awal dan konfigurasi awal yang ditetapkan. Pada *initial Conditions* (kondisi

awal) terdapat dua model yang berbeda, yaitu model pertama untuk memproses tekanan air awal (*water conditions mode)* dan model kedua untuk persyaratan konfigurasi geometrik awal dan untuk memproses tegangan efektif dasar awal (*geometric configurations mode)*.

B. Program Calculation

Setelah memproses permodelan elemen hingga dapat dilaksanakan. Oleh karena itu, perlu ditetapkan tipe dari perhitungan yang akan digunakan dan jenis pembebanan atau tahapan konstruksi yang mana yang harus diaktifkan selama perhitungan. Semua ini dilakukan oleh program „*Calculation'.* Program *Calculation* hanya mempertimbangkan analisis *deformasi* (perpindahan) dan membedakan antara perhitungan Plastic, analisis Consilidations (pemampatan), analisis *Phi-c reduction* (faktor keamanan) dan perhitungan *Dynamic*. Pengertian tipe perhitungan tersebut secara singkat dapat dijelaskan melalui penjelasan berikut:

1. Perhitungan *Plastic*

   Perhitungan tipe ini harus dipilih untuk mendapatkan *elastic-plastic deformation analysis* yang mana tidak diperlukan untuk memasukkan kekurangan dari kelebihan tekanan air pori beserta fungsi waktu kedalam perhitungan. Tipe perhitungan ini sangat cocok pada sebagian besar penerapan di bidang geoteknik.

2. Perhitungan *Consilidation*

   Perhitungan ini harus dipilih ketika cukup penting untuk menganalisis perkembangan dari disipasi dari kelebihan air pori pada tipe tanah yang jenuh air dalam fungsi waktu.

3. Perhitungan *Phi-c reduction*

   Perhitungan ini digunakan pada PLAXIS untuk mendapatkan nilai faktor keamanan dengan mengurangi parameter kekuatan tanah.

4. Perhitungan *Dynamic*

Perhitungan ini digunakan apabila beban yang bekerja bukan beban statis, tetapi beban bergerak, misalnya beban akibat gempa bumi.

Pada prakteknya, suatu proyek akan dibagi menjadi tahapan-tahapan proyek. Sama pada proses yang terjadi pada plaxis. Proses perhitungan dibagi beberapa tahapan antara lain, pengaktifan beban khusus pada waktu tertentu, simulasi dari tahapan konstuksi, pendahuluan dari waktu konsolidasi, perhitungan faktor keamanan, dan lain sebagainya.

C. Program Output

Hasil utama output dari perhitungan elemen hingga adalah *displacement* (perpindahan) pada titik dan perubahan tegangan pada titik yang ditinjau. Beberapa parameter yang dapat diketahui dari hasil program output antara lain; deformasi, perpindahan (total, horizontal, vertikal dan *incremental displacement*), regangan (total, cartecian dan *incremental strain*), tegangan (*effective* dan total *stresses*), *Over Consolidation Ratio* (OCR), titik plastis (*plastic point*), tekanan aktif pori (active pore pressure), tekanan air pori berlebih (*excess pore pressure*), *ground water head*, *flow field* dan derajat kejenuhan (*degree of saturation*).

D. Program Curve

Pada program *curve* dapat digunakan untuk menggambar kurva beban atau waktu terhadap *displacement* (perpindahan), diagram tegangan-regangan dan garis tegangan atau garis regangan dari titik yang sudah dipilih dan dimodelkan secara geometrik. kurva ini menggambarkan perkembangan dari beberapa hitungan selama berbagai tahaan perhitungan dan memberikan tanda secara global atau lokal dari perilaku tanah.

Permodelan dan Input data

Pada skripsi ini akan menggunakan model Mohr-Coulomb Analysis. Model ini paling sering digunakan karena data - data tanah yang digunakan diperoleh dari hasil uji tanah. Sehingga di perlukan tabel korelsi untuk input data ke dalam program plaxis , tabel korelasi yang di perlukan adalah :

Modulus Elastisitas Tanah

Nilai perkiraan modulus elastisitas tanah menurut Bowles dapat dilihat pada **tabel 2.3**

Tabel 2.3 nilai perkiraan modulus elastisitas tanah

Macam tanah	E (kN/m^2)
LEMPUNG	
• Sangat lunak	300-3000
• Lunak	2000-4000
• Sedang	4500-9000
• Keras	7000-20000
• Berpasir	30000-42500
PASIR	
• Berlanau	5000-20000
• Tidak padat	10000-25000
• Padat	50000-100000
PASIR DAN KERIKIL	
• Padat	80000-200000
• Tidak padat	50000-140000
LANAU	2000-20000
LOSES	15000-60000
CADAS	140000-1400000

(Sumber : Bowless,1997)

Poisson ratio

Nilai poisson ratio ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan permuaian lateral. Nilai poisson ratio dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti yang terlihat pada **Tabel 2.4** dibawah ini :

Tabel 2.4 Hubungan Antara Jenis Tanah dan Poisson Ratio

Jenis Tanah	Poisson Ratio (μ)
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 1)

Sudut Geser Dalam

Kekuatan geser dalam memunyai variable kohesi dan sudut geser dalam. Sudut geser dalam bersamaan dengan kohesi menentukan ketahanan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tanah lateral. Nilai ini juga didapatkan dari pengukuran engineering propertis tanah dengan Direct Shear Test. Hubungan Antara sudut geser dalam dan jenis ditunjukkan pada **tabel 2.5**

Tabel 2.5 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam ϕ
Kerikil kepasiran	35^0-40^0
Pasir padat	35^0-40^0
Pasir lepas	30^0
Lempung kelanauan	25^0-35^0
lempung	20^0-25^0

(sumber : Buku Mekanika Tanah , Braja M. Das jilid 1)

Angka pori

Angka pori merupakan perbandingan volume rongga (Vv) dengan volume butiran (Vs) , hubuungan angka pori dengan jenis tanah dapat dilihat pada **tabel 2.6** dibawah ini :

Tabel 2.6 Hubungan angka pori dengan jenis tanah

Jenis tanah	Angka Pori (e)
Pasir lepas seragam	0,80
Pasir padat seragam	0,45
Pasir kelanauan lepas berbutir tajam/bersudut	0,65
Lempung kaku	0,60
Lempung lunak	0,90-1,40
Loses	0,90
Lempung organic lunak	2,50-3,20
Tanah galian	0,30

(sumber : Mekanika Tanah , Djatmiko.Soedarmo jilid 1)

Sudut Dilatansi (*ψ*)

Sudut dilatansi merupakan sudut yang dibentuk bidang horizontal dengan arah pengembangan butiran pada saat butiran menerima tegangan deviatorik. Pada tanah lempung, umumnya tidak terjadi dilatansi (ψ = 0). Sementara untuk tanah pasir, sudut dilatansi tergantung dari kerapatan dan sudut geser (φ) dimana ψ = φ - 30° dan jika φ < 30° maka ψ = 0 (Siregar, 2017).