

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 SHEET PILE

2.1.1 Pengertian Sheet Pile

Sheet Pile merupakan konstruksi dinding vertikal yang relatif tipis, berbentuk lembaran, pipih dan panjang serta berfungsi untuk menahan gaya horizontal/lateral yang bekerja dalam tanah. Konstruksi sheet pile ini membentuk formasi atau susunan menerus vertikal. Sheet pile terdiri dari bagian-bagian yang dicetak terlebih dahulu atau disebut juga dengan *pre-cast*. Sedangkan, penggunaan sheet pile biasanya digunakan untuk konstruksi-konstruksi sebagai berikut:

- 1) *Water Front Construction*, penggunaan sheet pile pada konstruksi yang berhadapan langsung dengan air ini berguna karena sheet pile merupakan salah satu konstruksi yang tidak membutuhkan *dewatering* atau pengeluaran air. Sheet pile dalam *water front construction* dianggap efektif untuk konstruksi tersebut.
- 2) *Temporary Structure* atau konstruksi sementara, penggunaan sheet pile sebagai *temporary structure* merupakan suatu keadaan di mana apabila suatu pembangunan fondasi tidak berada dalam elevasi yang memungkinkan untuk dikerjakan maka diperlukan galian untuk mencapai elevasi yang direncanakan. Penggunaan sheet pile dalam hal ini yaitu digunakan sebagai penahan galian dalam waktu sementara dalam pembuatan fondasi. Sehingga, setelah salah satu pekerjaan fondasi selesai, sheet pile di keadaan ini dapat digunakan (*reuse*) untuk titik fondasi yang lain.
- 3) Konstruksi Ringan, sheet pile digunakan untuk konstruksi ringan seperti pekerjaan dinding penahan tanah yang mana tanah untuk pekerjaan dinding tersebut tidak kuat dalam menahan berat DPT yang memiliki dimensi besar. Hal ini memungkinkan sheet pile digunakan untuk menahan tekanan tanah lateral yang jenis tanahnya lunak.

2.1.2 Jenis Sheet Pile

Sheet pile terdapat beberapa jenis yang penggunaannya tergantung dari kondisi di lapangan serta kebutuhan konstruksi. Berikut ini merupakan jenis-jenis sheet pile berdasarkan konstruksi dan bahan.

2.1.2.1 Jenis Sheet Pile Berdasarkan Konstruksi

Sheet pile merupakan salah satu jenis konstruksi penahan tanah yang berbentuk lembaran tipis. Sama halnya dengan *retaining wall*, sheet pile sendiri terbagi atas sheet pile kantilever dan angkur.

Berdasarkan metode konstruksi dari sheet pile terdapat dua metode yaitu, menempatkan sheet pile di dalam tanah terlebih dahulu, kemudian dilakukan urugan. Jenis tanah pada pekerjaan urugan yang berada di belakang (*backfill*) ini biasanya didominasi oleh jenis tanah granular. Yang kedua adalah dilakukannya pemancangan sheet pile ke dalam tanah kemudian tanah bagian depan dilakukan penggalian. Jenis tanah pada garis galian (*dredged line*) biasanya adalah tanah pasir atau lempung. Penjelasan secara spesifik mengenai metode konstruksi pada sheet pile yaitu,

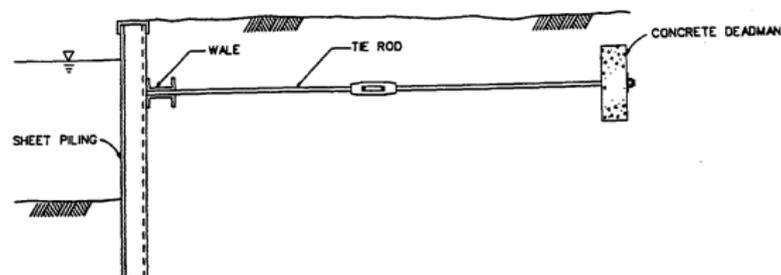
1. *Backfilled Structure*, dimana langkah pekerjaan dari metode konstruksi sheet pile dengan tahap pertama adalah dilakukan penggalian tanah, yang kedua pancang sheet pile ke dalam tanah, yang ketiga lakukan urugan di belakang sheet pile.
2. *Dredged Structure*, dengan langkah pengerjaan yaitu pancang sheet pile ke dalam tanah kemudian lakukan penggalian.

Salah satu jenis cantilever merupakan dinding yang ujungnya tertahan seperti tergantung. Dinding kantilever biasanya terbuat dari material beton yang ekonomis dengan tinggi dinding sekitar 8 meter atau kurang, seperti pada gambar 2.1 berikut.



Gambar 2. 1 Dinding Kantilever saat Konstruksi (Braja M. Das, 2011)

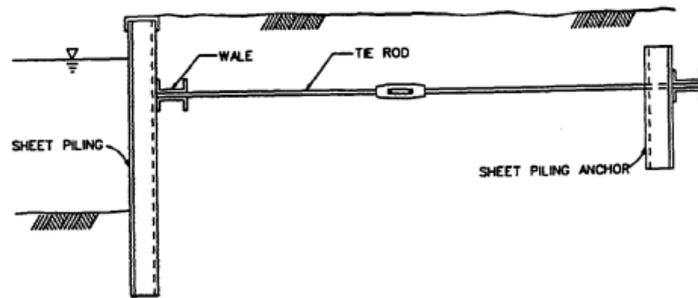
1. Cantilever merupakan salah satu jenis sheet pile yang biasanya digunakan pada ketinggian yang standar (kurang dari 6 meter). Pada dinding ini stabilitasnya tergantung dari penanaman tiang.
2. Anchored merupakan jenis sheet pile yang digunakan untuk memangkas panjang sheet pile yang terbatas. Konsep jangkar atau angkur pada sheet pile jenis ini adalah perkuatan plat jangkar yang berfungsi untuk memberikan gaya tarik (*tensile force*)/gaya angkur yang diperlukan dalam perencanaan sheet pile. Ada beberapa jenis angkur pada sheet pile, diantaranya adalah sebagai berikut:
 - a) *Tie Rod and Dead Man* merupakan salah satu jenis angkur pada sheet pile yang ujungnya terdapat *concrete deadman* serta disambung menggunakan batang pengikat atau *tie rod*.



Gambar 2. 2 Sheet Pile Angkur Tie Rod and Dead Man (Gilbert Gedeon, 1994)

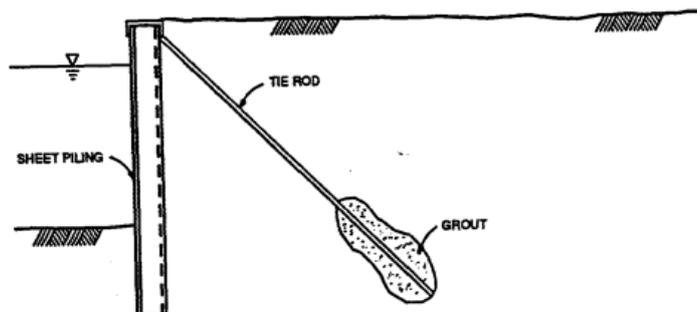
- b) *Tie rod and Anchor Wall* merupakan sheet pile dengan angkur yang disambungkan dengan batang pengikat yang ujungnya terdapat

dinding/batang sheet pile lagi. Namun, biasanya batang sheet pile yang berada di belakang lebih pendek daripada sheet pile utama.



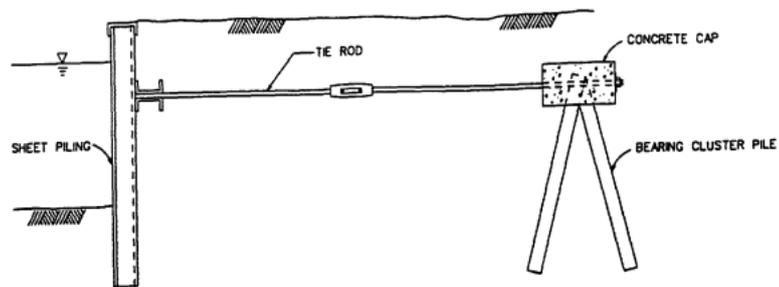
**Gambar 2. 3 Sheet Pile Angkur Tie Rod and Anchor Wall
(Gilbert Gedeon, 1994)**

- c) *Tiebacks with Grout Anchor* merupakan angkur pada sheet pile dengan istilah lain atau disebut juga dengan *ground anchor* atau ada beberapa juga yang menyebutnya dengan *soil nailing*. Pada ujungnya (*grout*) digali serta ditancapkan serta hanya pada bagian ini saja yang dilakukan pengecoran.



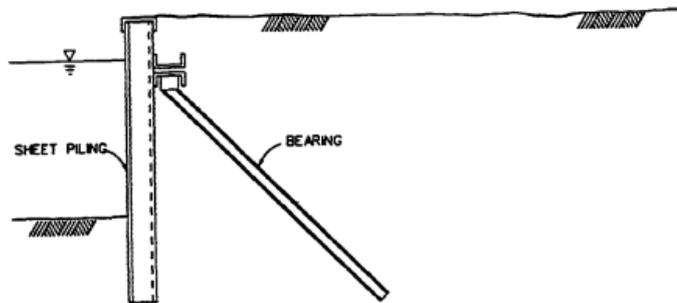
**Gambar 2. 4 Sheet Pile Angkur Tiebacks with Grout
(Gilbert Gedeon,1994)**

- d) *Tie Rods and A-frame* merupakan jenis angkur pada sheet pile yang pengikatnya berupa *concrete cap* atau terdapat blok beton pada bagian atasnya serta diperkuat dengan tiang yang berbentuk seperti bingkai "A". Penggunaan angkur sheet pile jenis ini biasanya *backfill* yang ada merupakan jenis tanah lunak.



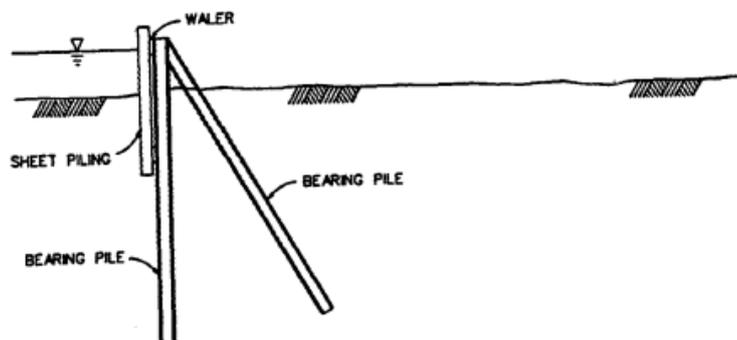
Gambar 2. 5 Sheet Pile Angkur Tie Rod and A-Frame
(Gilbert Gedeon, 1994)

- e) *Steel H-pile Tension Anchor* merupakan jenis angkur pada sheet pile yang terbuat dari baja sehingga bentuk dari sheet pile yang menggunakan angkur jenis ini menyerupai bentuk “H”.



Gambar 2. 6 Sheet Pile Angkur Steel H-Pile Tension
(Gilbert Gedeon, 1994)

- f) *Steel H-pile Anchor* merupakan angkur yang hampir mirip dengan *Steel H-pile Tension Anchor*, akan tetapi pada angkur jenis ini dimensinya lebih panjang.



Gambar 2. 7 Sheet Pile Angkur Steel H-Pile
(Gilbert Gedeon, 1994)

2.1.2.2 Jenis Sheet Pile Berdasarkan Bahan

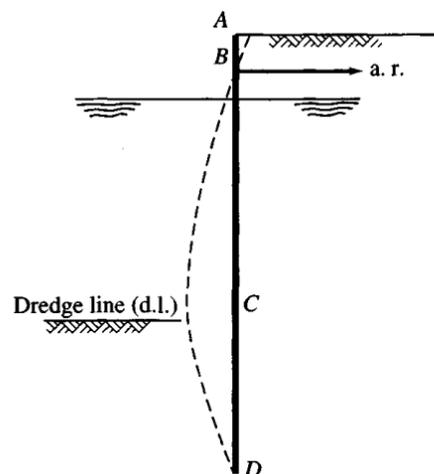
Sheet Pile berdasarkan bahan terbagi dari beberapa jenis diantaranya adalah sheet pile jenis kayu, baja, serta beton.

1. Kayu merupakan salah satu bahan dari sheet pile yang biasanya digunakan untuk konstruksi sementara. Penggunaan sheet pile kayu ini memiliki kelebihan tersendiri, diantaranya adalah bahan yang mudah didapatkan serta praktis untuk digunakan saat pekerjaan konstruksi berlangsung. Akan tetapi, sheet pile bahan kayu ini juga memiliki kekurangan yakni gaya yang ditahan terbilang kecil, tidak tahan lama karena dapat terjadi pelapukan, panjang yang digunakan untuk sheet pile bahan kayu terbatas serta sheet pile jenis ini sulit untuk dipancang. Penggunaan sheet pile bahan kayu ini jarang digunakan di Indonesia, berbeda halnya di luar negeri yang pemakaian sheet pile bahan kayu cenderung digunakan dalam segi artistik.
2. *Steel Sheet Pile (SSP)* atau baja sebagai bahan dari sheet pile digunakan untuk konstruksi yang apabila konstruksi tersebut memerlukan sheet pile sebagai penahan sementara. Sheet pile bahan baja memudahkan pekerjaan konstruksi karena ringan, awet, dapat digunakan berulang (*reuse*). Akan tetapi, sheet pile jenis baja pun memiliki kekurangan diantaranya adalah harga yang cenderung mahal serta sifatnya yang korosif apabila terkena air. Sehingga, sheet pile jenis baja jarang digunakan untuk konstruksi kondisi perairan. Namun, seiring kemajuan zaman, biasanya penggunaan SSP yang dihadapkan dengan air dapat dilakukan pengecatan dengan bahan kimia tertentu atau ion yang digunakan pada bagian SSP kondisi basah-kering sehingga dapat meminimalisir korosif pada sheet pile bahan baja.
3. *Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)* merupakan jenis sheet pile yang banyak digunakan di dunia konstruksi. Hal ini disebabkan oleh bahan beton yang kuat digunakan untuk segala konstruksi. Sheet pile jenis beton ini biasanya digunakan secara permanen untuk konstruksi yang membutuhkan penahan gaya lateral yang relatif besar. Sheet pile jenis ini juga sering digunakan untuk konstruksi daerah perairan, pantai menjadi salah satu tempat penggunaan konstruksi sheet pile bahan beton, karena beton yang tidak akan korosif terhadap air, lain halnya dengan baja.

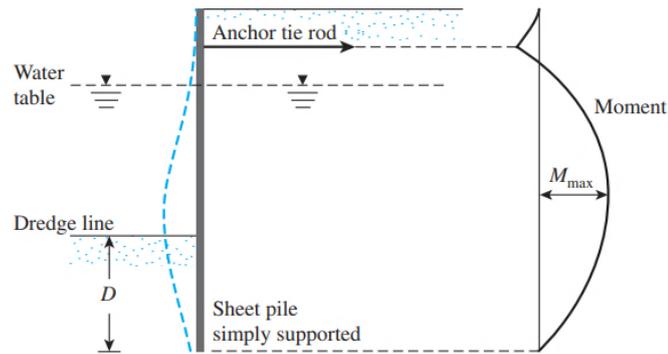
2.1.3 Metode Desain Sheet Pile

Pada desain sheet pile dengan angkur terdapat dua metode yang dapat digunakan diantaranya adalah *Free Earth Support* dan *Fixed Earth Support*. Pada keduanya terdapat perbedaan terhadap deformasi yang terjadi. Berikut uraian mengenai metode-metode pada desain sheet pile,

1. *Free Earth Support* atau Metode Ujung Bebas merupakan salah satu metode desain sheet pile yang paling banyak digunakan. Kedalaman turap atau sheet pile di dasar galian dianggap tidak cukup untuk menahan tekanan tanah yang terjadi pada bagian atas dinding turap, sehingga penetrasi yang dilakukan atau pemancangan yang dilakukan cenderung kecil atau *minimum penetration depth* ($D_{Free\ Earth\ Support} < D_{Fixed\ Earth\ Support}$). Oleh karena itu, keruntuhan yang terjadi diakibatkan oleh rotasi dinding turap terhadap ujung bawahnya diasumsikan *no pivot point* atau suatu titik yang mana tidak ada bending moment yang bernilai nol ($\sum M=0$) dengan momen maksimum bernilai positif.

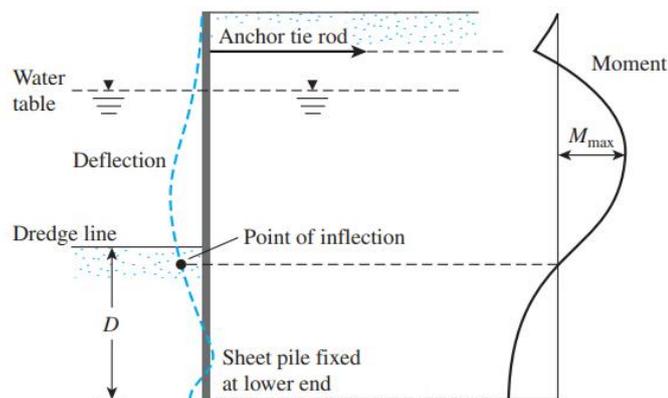


Gambar 2. 8 Free Earth Support Deflection (Bowles, 1996)



Gambar 2. 9 Deflection and Moment from Free Earth Support Method (Das, 2011)

2. *Fixed Earth Support* atau Metode Ujung Tetap merupakan metode desain yang didasari oleh asumsi kedalaman penetrasi (D) yang cukup dalam, sehingga tanah di bawah dasar galian mampu memberikan tekanan pasif yang cukup untuk mencegah ujung bawah sheet pile berotasi serta terjadi deformasi atau perubahan pada bagian bawah yang momen maksimumnya bernilai negatif.

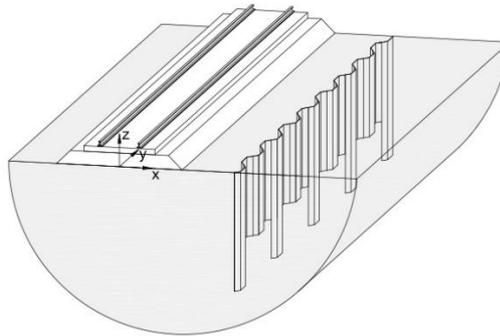


Gambar 2. 10 Deflection and Moment from Fixed Earth Support Method (Das, 2011)

i. Konfigurasi Sisir Sheet Pile

Sisir sheet pile merupakan formasi atau susunan atau biasa disebut dengan konfigurasi sheet pile yang tersusun dan saling mengikat satu sama lain sesuai kebutuhan perencanaan. Dalam penelitian ini sisir sheet pile dapat mempengaruhi efektivitas dari perbandingan jumlah sheet pile pembentuknya serta mempengaruhi kinerja dari sheet pile itu sendiri berdasarkan bahan dan panjang sheet pile, dengan keluaran deformasi, faktor keamanan, penurunan tanah di belakang dinding dan bending moment.

Konfigurasi sisir sheet pile akan digambarkan pada contoh analisis stabilitas sheet pile sebagai penghalang gelombang getaran seperti gambar di bawah ini.



Gambar 2. 11 Konfigurasi Sheet Pile (A. Dijckmans, 2015)

2.2 LONG STORAGE

Long storage merupakan bangunan penampung air yang berfungsi untuk menyimpan air dalam sungai, kanal dan/atau parit pada lahan yang relatif datar (PUPR, 2018). *Long storage* dapat menampung air dari berbagai aliran seperti, sungai, mata air, dan limpasan saluran pembuang irigasi. Air yang ditampung dalam *long storage* dapat digunakan untuk keperluan sehari-hari, khususnya untuk keperluan irigasi.

2.2.1 Kriteria *Long Storage*

Long storage mempunyai kriteria-kriteria tertentu diantaranya adalah sebagai berikut:

- a. Volume tampungan antara 500-3000 m³,
- b. Ketinggian tanggul maksimum setinggi 3 meter,
- c. Kemiringan saluran lebih kecil dari 5%.

2.3 PENETAPAN PARAMETER TANAH/*PROPERTIES OF SOIL*

Parameter tanah merupakan salah satu poin penting yang digunakan untuk desain suatu konstruksi, dalam hal ini untuk desain pondasi, dinding penahan tanah dan lainnya. Selain itu, parameter tanah juga digunakan untuk menentukan kuat tanah sebagai material konstruksi. Penetapan parameter tanah didapatkan dari berbagai uji tanah, diantaranya adalah pengujian tanah di lapangan dan laboratorium.

Penyelidikan tanah dimaksudkan untuk evaluasi kesesuaian umum proyek, perencanaan desain yang memadai dan ekonomis, serta prediksi kesulitan yang akan timbul selama proyek konstruksi berlangsung. Dari penyelidikan tanah kita dapat mengetahui hal-hal yang diperlukan dalam desain konstruksi geoteknik yakni:

1. Mengetahui stratum (lapisan) tanah,
2. Mengetahui sifat-sifat fisis tanah guna *engineering properties*,
3. Mengetahui muka air tanah (MAT),
4. Mengetahui sampel tanah terganggu dan tidak terganggu.

Dengan kita mengetahui hal-hal di atas dari suatu penyelidikan tanah, maka kita dapat mengetahui pula parameter desain yang akan digunakan. Dalam suatu penyelidikan tanah terdapat tiga komponen, yang pertama adalah penyelidikan yang dilakukan sebelum desain, yang kedua adalah penyelidikan selama desain berlangsung, serta yang ketiga merupakan penyelidikan saat proses konstruksi berlangsung. Penyelidikan yang pertama merupakan penyelidikan yang dilakukan sebelum desain, dalam penyelidikan ini terdapat fase-fase tertentu diantaranya:

1. Fase I

Fase ini merupakan fase di mana dibutuhkan banyak informasi mengenai situasi di lapangan seperti kondisi pembebanan di lapangan, laporan geoteknik sebelumnya, kondisi geologi, kontur tanah. Di fase ini dapat dilakukan dengan aplikasi GIS atau *Geotechnical Information System*.

2. Fase II

Pada fase ini dilakukan kunjungan awal untuk melihat kondisi di lapangan, diantaranya adalah kondisi yang berhubungan dengan fase I akan tetapi yang membedakan adalah aspek lainnya seperti sistem drainase, struktur awalan serta layanan yang menunjang seperti air dan listrik.

3. Fase III

Di fase III ini akan dilakukan eksplorasi tanah yang lebih detail. Struktur geologi, menentukan muka air tanah, memperoleh tanah terganggu dan tidak terganggu untuk penelitian lanjutan di laboratorium, serta mengadakan pengujian di lapangan seperti uji SPT atau CPT.

4. Fase IV

Fase IV merupakan fase di mana dilakukan tes laboratorium dari hasil penyelidikan tanah di lapangan. Hasil pada fase ini adalah klasifikasi tanah, penentuan kuat tanah, kegagalan tegangan serta regangan, permeabilitas, pemampatan serta parameter penurunan tanah. Namun, dari semua itu tidak seluruhnya digunakan untuk suatu proyek, akan tetapi tergantung dari kondisi proyek yang akan dilakukan.

5. Fase V

Di fase ini dilakukan pembuatan laporan dari hasil semua penyelidikan guna perencanaan desain suatu konstruksi.

Dari kelima fase tersebut hal-hal atau poin penting dari penyelidikan tanah adalah untuk mengetahui kondisi tanah, stratifikasi tanah, parameter tanah, serta potensi apa saja yang akan terjadi pada tanah saat konstruksi. Maka dengan itu, penyelidikan tanah harus dilakukan sebaik mungkin guna keberlangsungan suatu proyek konstruksi.

2.3.2 Pengujian Tanah di Lapangan/*In-situ Test*

Ada beberapa macam pengujian tanah di lapangan atau *in-situ test*, diantaranya adalah *Vane Shear Test*, *Standard Penetration Test* (SPT), serta *Cone Penetrometer Test* atau CPT.

2.3.2.1 Pengujian *Vane Shear Test*/ VST

Pengujian Geser Baling atau *Vane Shear Test* merupakan salah satu pengujian di lapangan yang mana digunakan untuk uji tanah yang umumnya tanah berjenis lunak (kohesif) serta pengujian ini tidak dapat dilakukan pada jenis tanah berbutir kasar dan tanah lempung konsistensi sangat kaku. Hal ini dikarenakan uji VST memiliki batasan kedalaman dan ketelitian termasuk kalibrasi pengukuran torsi dan gesekan yang berlebihan (Muni Budhu, 2010).

Uji ini dilakukan dengan cara memasukkan alat (baling) pada titik uji dengan kecepatan 6°/menit. Parameter yang didapatkan dari pengujian ini adalah nilai kuat geser kohesif tanah kondisi *undrained* atau C_u (S_u). Dengan persamaan sebagai berikut:

$$C_u = \frac{6T}{7\pi D^3} \quad (2.1)$$

Di mana,

C_u : Kuat geser tanah kondisi undrained

T : Torsi

D : Diameter baling

Pengujian VST ini terbilang sederhana dan ekonomis, akan tetapi kekurangan pada pengujian ini yaitu hanya dapat dilakukan dengan kedalaman tertentu saja dan hasil pengujian tanah tidak selengkap pengujian jenis lainnya.

2.3.2.2 Pengujian *Standard Penetration Test/ SPT*

Standard Penetration Test atau biasa disingkat dengan SPT merupakan salah satu jenis pengujian di lapangan yang biasanya dilangsungkan dengan *bor machine*.

Pada pengujian ini sangat bergantung pada efisiensi tenaga dari alat. Adapun spesifikasi pada alat pengujian SPT adalah sebagai berikut:

1. Hammer

Hammer pada alat SPT memiliki berat 63,5 dengan toleransi sebesar $\pm 0,5$ kg.

2. Tinggi Jatuh Hammer

Tinggi jatuh hammer mempengaruhi hasil pengujian SPT, hal ini dikarenakan akan turut mempengaruhi hasil *sample* pada *split-spoon sampler*. Tinggi jatuh hammer pada pengujian ini yakni setinggi 76 cm atau setara dengan 0,76 m.

3. Interval Pengujian

Dalam pengujian SPT, interval atau jarak pada kedalaman 1,5 meter sampai 2 meter serta dihitung nilai N_{SPT} per 15 cm sedalam 45 cm (N_1 tidak dihitung) Artinya berapa pukulan yang masuk hingga mencapai 15 cm penetrasi dengan total penetrasi per 30 cm.

4. Nilai N_{SPT}

Perhitungan nilai N_{SPT} merupakan pertambahan N_2+N_3 . Tidak adanya penjumlahan N_1 pada nilai N_{SPT} dikarenakan nilai N_1 biasanya merupakan hasil residu tanah dari pengeboran awal.

5. Tanah Keras

Pada pengujian ini, indikasi tanah keras ditandai apabila nilai SPT telah lebih dari (\geq) 50 pukulan. Apabila nilai SPT telah lebih dari 50 pukulan, maka selanjutnya adalah memastikan bahwa tanah tersebut merupakan tanah keras

yang mana pengujian tetap dilanjutkan sedalam 6 meter, jika pada pengujian tersebut mendapatkan nilai SPT ≥ 50 pukulan berturut-turut (dalam 6 meter) dipastikan tanah tersebut merupakan tanah dasar atau tanah keras.

Adapun prosedur pengujian uji SPT sebagai berikut:

1. Mempersiapkan lubang bor,
2. Memasukkan alat *split barrel/spoon sampler* (tempat atau alat pengambil *sample* tanah),
3. Tumbukkan hammer dengan tinggi jatuh 76 cm dan catat pukulan setiap 15 cm. Pencatatan sebanyak 3x (N_1, N_2, N_3) dengan nilai $N_{SPT}=N_2+N_3$,
4. *Split spoon sampler* diangkat ke atas dan dilanjutkan dengan pengujian laboratorium.



Gambar 2. 12 Split Spoon Sampler (Terzaghi and Peck, 1987)

Pada pengujian SPT efisiensi alat sangat diperlukan untuk mendapatkan hasil yang tepat dalam penentuan parameter desain. Hasil dari SPT dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya:

1. Tinggi jatuh *hammer* yang akan mempengaruhi hasil sampel.
2. Energi standar direkomendasikan lebih dari 60% (Seed, 1985), apabila energi standar alat kurang dari nilai tersebut, maka pengujian harus diuji kembali.
3. Lubang bor yang pembersihannya tidak maksimal dapat mempengaruhi nilai N_{SPT} .

Pengujian SPT merupakan salah satu pengujian yang penting, hal ini disebabkan karena nilai SPT yang dihasilkan dapat dikorelasikan dengan parameter-parameter tanah untuk desain konstruksi bidang geoteknik. Berikut merupakan korelasi nilai SPT dengan nilai parameter desain yang dibutuhkan teknisi dalam desain konstruksi geoteknik.

2.3.2.2.1 Korelasi Nilai N_{SPT} Pada Tanah *Cohesionless*

Nilai N_{SPT} dari hasil uji SPT dapat dikorelasikan dengan parameter tanah guna desain konstruksi. Berikut merupakan korelasi nilai N_{SPT} pada tanah non-kohefif:

Tabel 2. 1 Hubungan Kompak Tanah, Nilai q_c , dan Sudut Geser dengan N_{SPT} (Piling Handbook, Arcelor)

Relative Density	SPT 'N' Value	CPT 'qc' (kN/m ²)	Degrees (ϕ)
Very Loose	0-4	2,5	25
Loose	4-10	2,5-7,5	27,5
Medium Dense	10-30	7,5-15	30
Dense	30-50	15-25	35
Very Dense	Over 50	Over 25	40

Tabel 2. 2 Hubungan nilai N_{SPT} dengan Kepadatan Tanah, γ , ϕ , dan q_u (Bowles)

Cohesionless Soil					
N	0-10	11-30	31-50	>50	
Unit weight 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 Soil					
N	<4	4-6	6-15	16-25	>25
Unit weight γ , kN/m ³	14-18	16-18	16-18	16-20	>20
Q_u , kPa	<25	30-60	30-60	40-200	>100
Consistency	Very Soft	Soft	Medium	Stiff	Hard

Sedangkan, Braja M. Das (2010) menyarankan nilai E atau modulus elastisitas tanah pasir dari pengujian N_{SPT} dengan persamaan Schermann (1970) sebagai berikut:

$$E_s = 766 \times N_{SPT} \quad (2.2)$$

Keterangan:

E_s : Modulus Elastisitas Pasir (kN/m²)

N_{SPT} : Jumlah Ketukan SPT

2.3.2.2.1 Korelasi Nilai N_{SPT} Pada Tanah *Cohesive*

Nilai N_{SPT} juga dapat dikorelasikan dengan tanah berbutir halus atau disebut dengan tanah kohesif. Korelasi nilai pada tanah kohesif sebagai berikut:

Tabel 2. 3 Korelasi Nilai N_{SPT} dengan Nilai CI (*Consistency Index*) dan q_u (Braja, 2014)

Standard Penetration Number	Consistency	CI	Unconfined Compression Strength, q_u (kN/m ²)
<2	Very Soft	<0,5	<25
2 to 8	Soft to Medium	0,5 to 0,75	25 to 80
8 to 15	Stiff	0,75 to 1,0	80 to 150
15 to 30	Very Stiff	1,0 to 1,5	150 to 400
>30	Hard	>1,5	>400

Adapun korelasi nilai N_{SPT} terhadap C_u memiliki persamaan sebagai berikut:

$$C_u = 0,6 \times N_{SPT} \quad (2.3)$$

Keterangan:

C_u : Undrained Shear Strength (ton/m³)

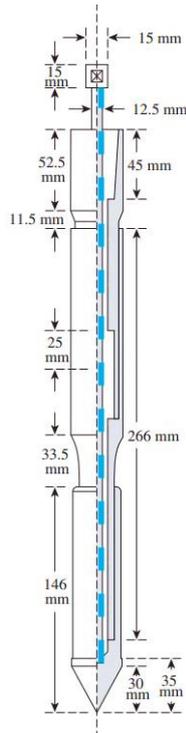
N_{SPT} : Jumlah Ketukan

2.3.2.3 Pengujian *Cone Penetrometer Test/ CPT*

Pengujian CPT atau uji sondir merupakan salah satu uji tanah di lapangan untuk mengetahui nilai C_u atau nilai kuat geser pada kondisi *undrained*, total friksi/gesekan selimut serta rasio friksi (FR) guna mengetahui jenis tanah.

Penggunaan pengujian sondir atau CPT ini memiliki beberapa kelebihan diantaranya ekonomis, sederhana, mobilisasi alat mudah. Di samping itu pengujian ini juga memiliki kelemahan tersendiri yaitu tidak dapat menentukan ketebalan tanah keras, sensitif terhadap batuan kecil yang dapat mempengaruhi hasil uji, serta nilai FS (gesekan selimut) yang tidak dapat digunakan karena dianggap memiliki nilai yang terlalu besar.

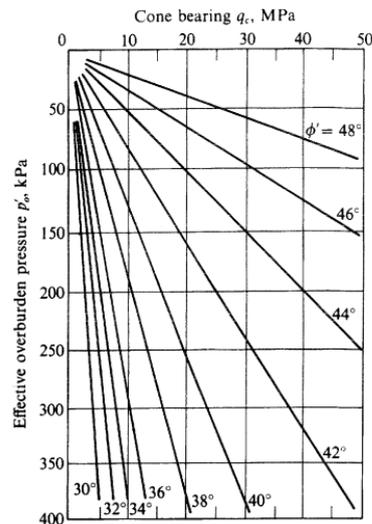
Pada uji sondir ini dilakukan dengan memasukkan alat konus ke dalam tanah dengan kecepatan 20 mm/s atau sebesar 2 cm/s. Pada alat sondir terdapat manometer yang dapat membaca nilai q_c (ujung) serta f_s (selimut). Manometer ini dapat membaca 250 kg/cm² (manometer skala besar) dengan pembacaan awal 60 kg/cm². Pengujian sondir dihentikan apabila nilai tahanan ujung (konus) telah mencapai 150 kg/cm², hal tersebut menandakan bahwa tanah tersebut merupakan tanah keras dan apabila nilai q_c tidak mencapai 150 kg/cm² maka pengujian berhenti di kedalaman 20 meter.



Gambar 2. 13 Cone Penetrometer (Braja M. Das, 2014)

2.3.2.3.1 Korelasi Nilai q_c Pada Tanah *Cohesionless*

Korelasi antara nilai q_c dengan sudut geser efektif pasir (Robertson and Campanella, 1983) sebagai berikut:



Gambar 2. 14 Grafik korelasi hubungan nilai q_c dengan sudut geser efektif

Nilai q_c dapat pula dikorelasikan untuk nilai sudut geser tanah kondisi terdrainase (efektif) jenis tanah pasir dengan tegangan vertikal efektif (Robertson

dan Campanella, 1983). Nilai tersebut dapat diperkirakan dengan persamaan (Kulhawy dan Mayne, 1990) sebagai berikut:

$$\varphi' = \tan^{-1} \left[0,1 + 0,38 \log \left(\frac{q_c}{\sigma'_v} \right) \right] \quad (2.4)$$

Sedangkan, menurut Braja M. Das (2010) nilai q_c dapat dikorelasikan dengan nilai modulus elastisitas (E) untuk jenis tanah pasir dengan persamaan sebagai berikut:

$$E_s = 2q_c \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (2.5)$$

2.3.2.3.2 Korelasi Nilai q_c Pada Tanah *Cohesive*

Selain korelasi nilai q_c di atas, berikut merupakan persamaan korelasi nilai q_c dengan nilai C_u atau kuat geser kondisi *undrained* untuk tanah kohesif,

$$S_u = \frac{q_c - \sigma'_v}{N_{kt}} \quad (2.6)$$

Keterangan:

q_c = Tahanan ujung/konus

σ'_v = Tegangan efektif

N_{kt} = Faktor konus (10-18)

Nilai korelasi modulus elastisitas tanah lempung dipengaruhi juga oleh riwayat pembebanan yaitu OC dan NC. Hal tersebut dapat dikorelasikan dengan nilai C_u pada persamaan berikut:

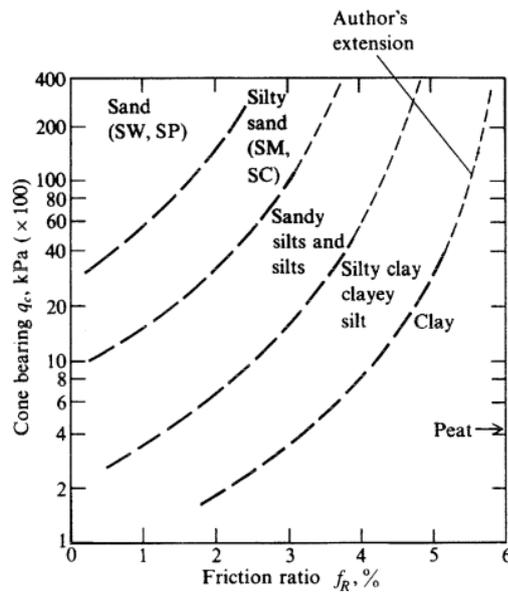
Tanah Lempung NC/Normally Consolidated:

$$E_u = 250C_u - 500C_u \quad (2.7)$$

Tanah Lempung OC/Over-consolidated:

$$E_u = 750C_u - 1000C_u \quad (2.8)$$

Adapun korelasi antara nilai q_c dengan *friction ratio* terhadap jenis tanah digambarkan pada gambar di bawah ini:



Gambar 2. 15 Grafik Korelasi Nilai q_c dengan Friction Ratio terhadap Jenis Tanah (Robertson and Campanella, 1983)

2.3.3 Pengujian Laboratorium

Pengujian laboratorium merupakan pengujian yang bertujuan untuk mendapatkan parameter yang dibutuhkan untuk analisis. Pengujian ini merupakan pengujian lanjutan dari pengujian di lapangan untuk klasifikasi serta sifat fisis tanah.

2.3.3.1 Indeks Properti

Indeks properti tanah merupakan hal yang kompleks dan bervariasi (Wayne C. Teng). Pengujian indeks properti tanah meliputi uji kadar air (w), berat isi tanah (γ), berat jenis tanah (G_s), *plasticity index* (PI) dari uji batas Atterberg. Hasil pengujian ini akan digunakan untuk diambil parameter tanah untuk keperluan desain konstruksi. Hal tersebut didasari oleh hubungan antar fase dalam tanah seperti pada gambar 2.16.

Dalam buku *Principles of Geotechnical Engineering* oleh Braja M. Das terdapat hubungan antar fase dalam tanah yang mana di dalam tanah terdapat beberapa elemen yang terdiri dari 3 fase yaitu, butir tanah (*solid*), air (*water*), dan udara (*air*). Hal tersebut akan dijabarkan pada persamaan di bawah ini dari segi volume (jumlah untuk mengisi sebuah ruang)

$$V = V_s + V_v \quad (2.9)$$

$$V_v = V_w + V_a \quad (2.10)$$

Keterangan:

V = Total volume tanah

V_v = Volume rongga

V_w = Volume air dalam rongga

V_a = Volume udara dalam rongga

Jika tanah jenuh sempurna atau *saturated* maka hanya terdapat 2 (dua) fase saja, hal ini dikarenakan rongga dalam tanah (*void*) diisi oleh air (V_s dan V_w).

Secara berat tanah hubungan antara kadar air (w) dapat merujuk pada berat air/*Weight of Water* (W_w) dan berat butir tanah/*Weight of Solid* (W_s). Hal ini terdapat pada persamaan sebagai berikut:

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} \quad (2.11)$$

Serta secara berat tanah akan didapatkan berat isi tanah per satuan volume atau gamma tanah (γ):

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (2.12)$$

Keterangan:

W = Berat Isi Tanah

V = Volume

Berat ini pula dapat didapatkan nilai berat isi kering γ_{dry} dengan persamaan:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+\omega} \quad (2.13)$$

Sedangkan untuk berat jenis tanah (G_s) dapat diketahui melalui persamaan sebagai berikut:

$$G_s = \frac{W_s}{V_{svw}} \quad (2.14)$$

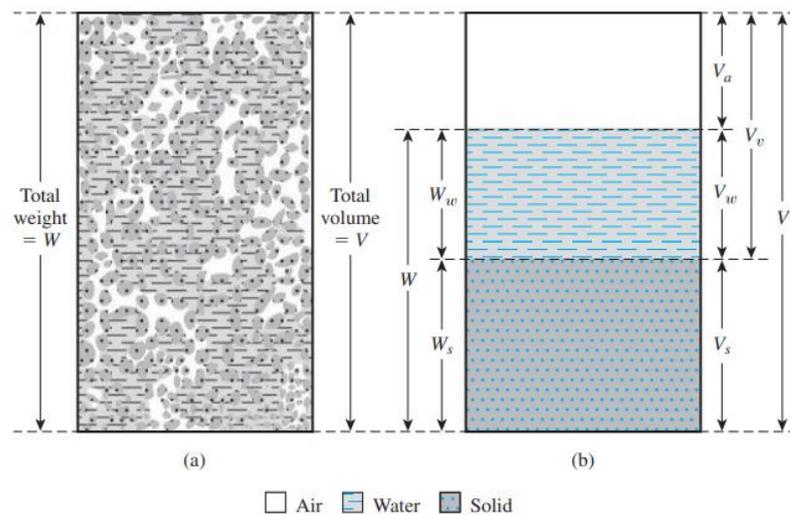
Keterangan:

G_s = Berat jenis tanah/*Specific Gravity of Solid Soil*

W_s = Berat tanah

V_s = Rongga tanah/ Void Solid

γ_w = Berat isi air (kN/m^3)



Gambar 2. 16 Hubungan antarfase Tanah (Braja M. Das, 2014)

Dalam bukunya *Foundation Analysis and Design (5th edition)*, Bowles mengindikasikan nilai G_s dalam bentuk tabel di bawah. Nilai $G_s = 2,67$ biasanya digunakan untuk jenis tanah non-koheusif (pasir/kerikil) dan nilai $G_s = 2,70$ untuk non-organik lempung.

Tabel 2. 4 Nilai G_s terhadap Jenis Tanah (Bowles)

Soil	G_s
Gravel	2,65-2,68
Sand	2,65-2,68
Silt, inorganic	2,62-2,68
Clay, organic	2,58-2,65
Clay, inorganic	2,68-2,75

2.3.3.2 Pengujian Triaxial *Consolidated Undrained* (CU) dan *Unconsolidated Undrained* (UU)

Pengujian triaxial merupakan salah satu pengujian laboratorium untuk mendapatkan nilai kohesi (c) dan kuat geser tanah (ϕ). Pada pengujian triaxial ini terdapat 3 (tiga) kondisi diantaranya adalah kondisi CU atau *Consolidated Undrained*, kondisi UU atau *Unconsolidated Undrained*, serta kondisi CD atau *Consolidated Drained*. Pengujian ini merupakan pengujian yang dikembangkan oleh Cassagrande untuk memperbaiki kelemahan pengujian kuat geser langsung.

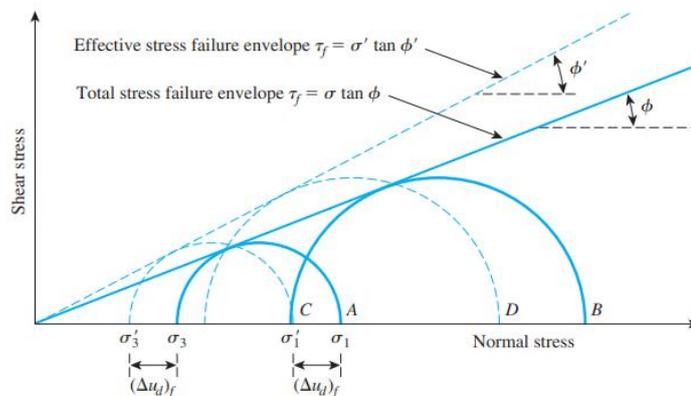
Pengujian triaksial ini dikaitkan dengan Hukum Keruntuhan Mohr Coulomb dan lingkaran Mohr. Yang mana memiliki persamaan sebagai berikut:

ϕ' tidak sama dengan 0. Rata-rata nilai ϕ' untuk lempung *undisturbed* (tak terganggu) $\pm 20^\circ$, untuk lempung terkonsolidasi normal yang memiliki plastisitas tinggi nilai ϕ' , $\pm 30^\circ$. Pengaplikasian pengujian CD biasanya digunakan untuk kasus galian dan lereng alamiah.

2.3.3.2.2 Pengujian *Consolidated Undrained* (CU)

Pengujian CU dilakukan dengan *stage 1*, tanah diperbolehkan terkonsolidasi (katup terbuka) dan dilanjutkan *stage 2* dengan katup tertutup agar tidak adanya aliran air dari dalam tanah keluar dan diberi tegangan deviatorik ($\Delta\sigma_d$) dan ukur tegangan air pori (u) hingga terjadi keruntuhan.

Pengujian ini mensimulasikan untuk kondisi tanah *long-term* (*effective stress*) atau *short-term* (*total stress*). Hal tersebut terjadi karena pada *stage 2* saat katup dibiarkan tertutup, tegangan air pori dapat diukur. Sehingga didapatkan tegangan efektif ditambah tegangan air pori yang menghasilkan tegangan total ($\sigma = \sigma' + u$).



Gambar 2. 18 Garis Keruntuhan pada Tes Triaksial CU (Braja M. Das)

2.3.3.2.3 Pengujian *Unconsolidated Undrained* (UU)

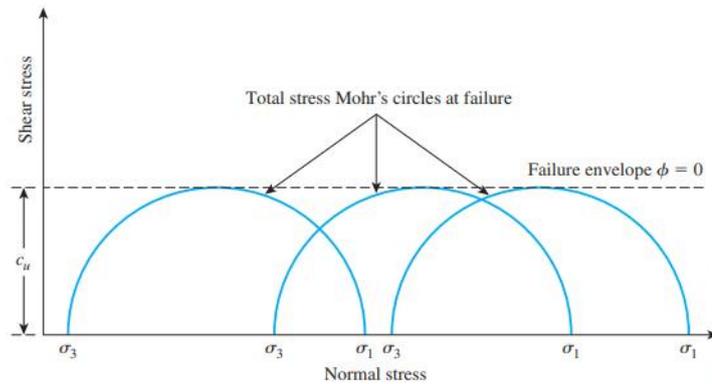
Pengujian UU ini dilakukan dengan *stage 1* air pori tidak diperkenankan untuk keluar (katup ditutup) dan *stage 2* dengan kondisi yang sama katup tertutup ditambah tegangan deviatorik ($\Delta\sigma_d$) yang menyebabkan terjadinya tekanan air pori meningkat.

Pada uji *Unconsolidated Undrained* drainase tidak diperbolehkan di *stage* manapun, maka pengujian ini terbilang cepat (Das) atau Casagrande menyebutnya dengan *Quick Test*. Parameter yang dihasilkan yaitu parameter total di mana kondisi

tanah *saturated* (jenuh air) akan menghasilkan nilai ϕ mendekati 0, sehingga nilai $c \neq 0$ atau didapatkan nilai sebagai berikut:

$$\tau = c = c_u \quad (2.17)$$

Berikut merupakan kurva keruntuhan geser pada uji UU,



Gambar 2. 19 Garis Keruntuhan pada Uji Triaksial UU Tanah Kohesif Jenuh Air (Braja M. das)

2.3.3.3 Pengujian Atterberg *Limit*

Pengujian batas Atterberg merupakan pengujian untuk mendapatkan nilai PI atau *plasticity index* (indeks plastisitas) sifat konsistensi tanah berbutir halus pada kadar air yang bervariasi (Albert Atterberg, 1990). Nilai tersebut didapatkan dari selisih nilai LL (*liquid limit*) dan PL (*plastic limit*).

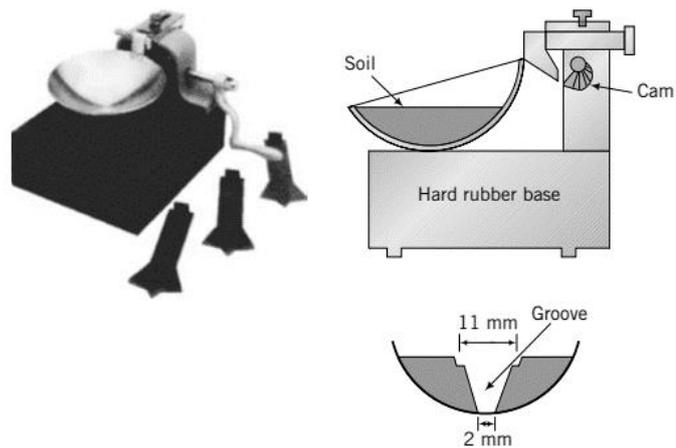
$$PI = LL (\text{liquid limits}) - PL(\text{plastic limits}) \quad (2.18)$$

Keterangan :

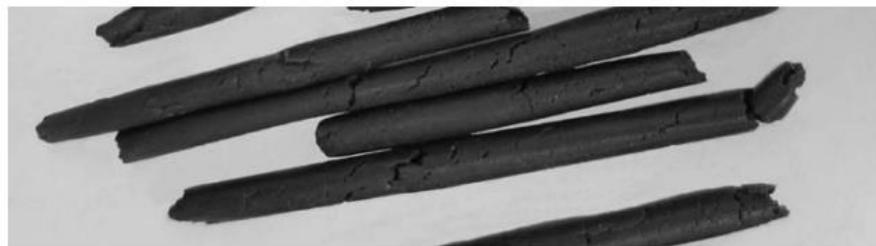
PI = Plasticity Index (%)

Liquid limit atau batas air merupakan uji kadar air tanah dari kondisi plastis ke cair, sedangkan batas plastis adalah kondisi di mana kadar air paling rendah atau semi padat pada tanah ke keadaan plastis.

Alat yang digunakan pada pengujian ini adalah alat cassagrande, untuk uji batas cair dengan dibuat goresan pada tanah dengan spatula akan menutup pada 25 pukulan. Untuk batas plastis ditentukan dengan menggulung sampel tanah dengan diameter 3 mm hingga terlihat retakan pada sampel tersebut.

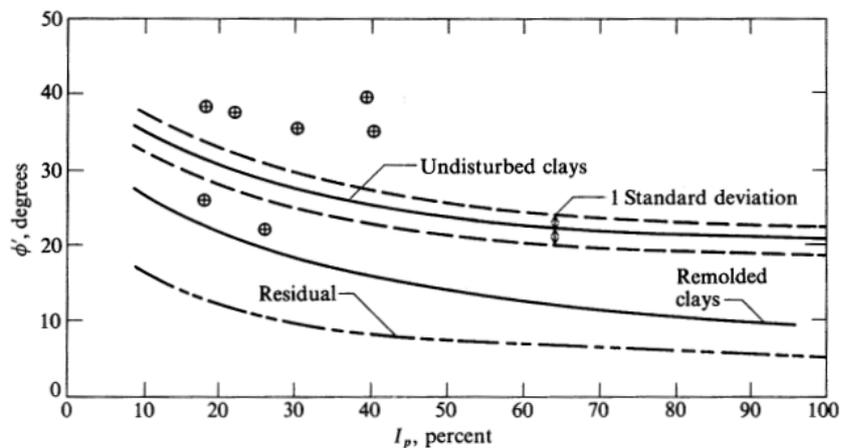


Gambar 2. 20 Cassagrande Tools (Muni Budhu, 2011)



Gambar 2. 21 Sampel Tanah Uji Batas Plastis (M. Budhu, 2011)

Dari pengujian batas Atterberg dengan keluaran nilai indeks plastisitas dapat dikorelasikan dengan parameter sudut geser efektif dalam bentuk grafik Bjerrum and Simmons (1960), Kanja and Wolle (1997) sebagai berikut:



Gambar 2. 22 Grafik Korelasi Nilai PI dengan Sudut Geser Efektif (Bowles, 1996)

Nilai PI juga dapat dikorelasikan dengan sudut geser seperti pada tabel 2.5 dan korelasi nilai PI dengan CU dan E pada gambar 2.23.

Tabel 2. 5 Korelasi Nilai PI dengan Sudut Geser Efektif

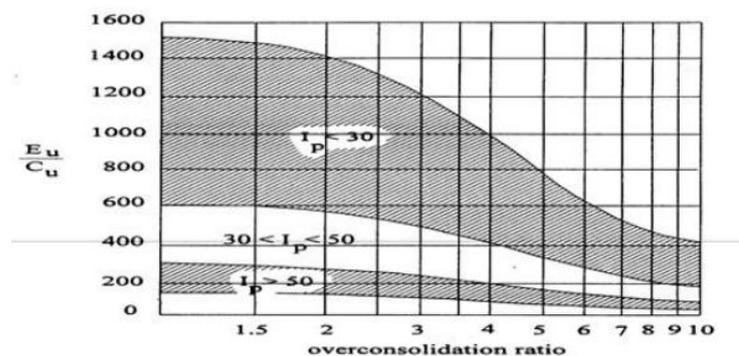
Plasticity Index (%)	Degrees (ϕ')
15	30
30	25
50	20
80	15

Sedangkan untuk nilai modulus elastisitas tanah lempung kondisi total dan efektif/ E_u dan E_d dapat dikorelasikan berdasarkan gambar 2.23 dan dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

Normally Consolidated Clay, $PI > 50$,

$$E_u = 200C_u \quad (2.19)$$

$$E_d = 0,667E_u \quad (2.20)$$



Gambar 2. 23 Korelasi Nilai PI dengan C_u dan E (Termaat, Vermere, 1985)

2.3.3.4 Pengujian Konsolidasi

Tanah memiliki sejarah terhadap beban (*stress history*) yang menyebabkan perubahan dalam struktur tanah itu sendiri (Cassagrande, 1932). Hal tersebut dikaitkan dengan proses konsolidasi. Pada pengujian konsolidasi akan dihasilkan suatu parameter tanah yang berhubungan dengan *stress history* yaitu tekanan prakonsolidasi (P_c') pada tanah. Sedangkan sejarah tegangan ini memiliki dua kondisi yaitu:

1. Terkonsolidasi secara normal (*normally consolidated*), artinya tekanan efektif *overburden* pada saat ini merupakan tekanan maksimum yang pernah dialami oleh tanah itu di mana beban yang dipikul sama dengan beban sekarang ($OCR=1$).

2. Terkonsolidasi secara berlebih (*over-consolidated*), artinya tekanan efektif *overburden* pada saat ini lebih kecil dari tekanan yang pernah diterima oleh tanah itu sebelumnya atau arti lainnya adalah tanah itu pernah menerima beban yang lebih besar dari beban sekarang ($OCR > 1$).

Tekanan efektif *overburden* maksimum yang pernah diterima disebut dengan tekanan prakonsolidasi (P_c'). Nilai tersebut dapat diketahui dengan mencari nilai OCR atau *over-consolidated ratio*.

$$OCR = \frac{P_c'}{P_o} \quad (2.21)$$

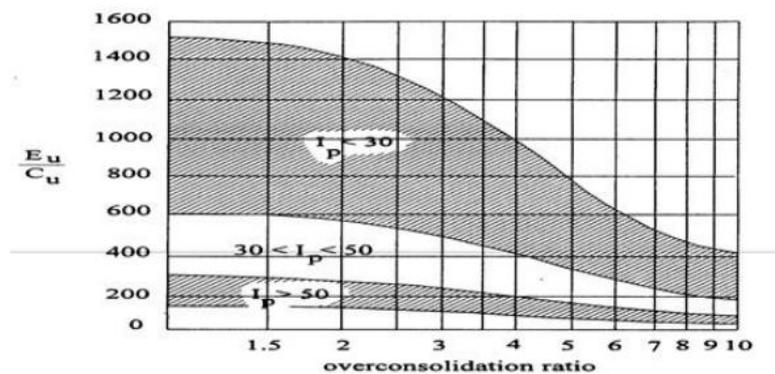
Keterangan:

OCR = Over-consolidated Ratio

P_c' = Tekanan Prakonsolidasi

P_o = Tekanan Efektif Overburden

Nilai OCR dapat dikorelasikan juga dengan C_u , E_u , dan PI seperti pada gambar 2.24.



Gambar 2. 24 Grafik Korelasi Nilai C_u , E_u , PI , OCR (Termaat, Vermer et al, 1985)

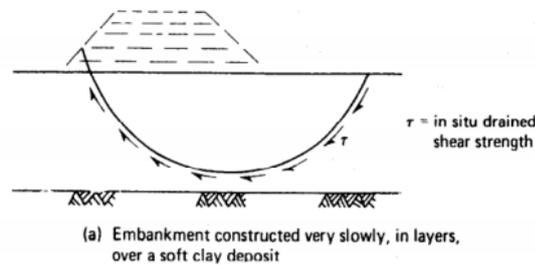
2.4 KONSEP KONDISI KRITIS PADA SHEET PILE KASUS *LONGSTORAGE*

Kondisi kritis merupakan kondisi yang harus diperhatikan pada suatu analisis desain konstruksi. Analisis kondisi kritis ini akan mempengaruhi penggunaan parameter tanah yang berpengaruh pada pelaksanaan suatu desain. Hal tersebut juga berkaitan dengan konsep tegangan tanah khususnya pada sheet pile kasus galian.

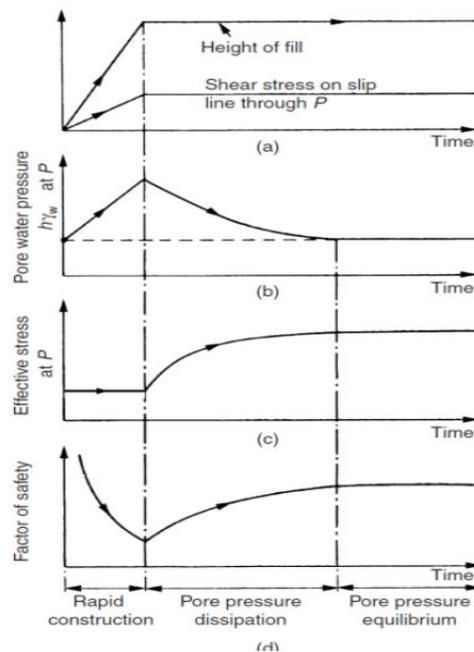
Pada dasarnya kondisi tegangan kritis pada konstruksi terdapat dua pendekatan parameter desain, yaitu pendekatan tegangan total (c_u , ϕ_u , σ) dan pendekatan tegangan efektif. (c' , ϕ' , σ'). Hal tersebut akan dijelaskan pada subbab berikut.

2.4.1 Tegangan Total/ *Total Stress*

Analisis tegangan total disebut juga analisis jangka pendek atau *short-term condition*. Pada kondisi ini pembebanan terjadi lebih cepat daripada keluarnya air pori dari dalam tanah dan pada tanah kohesif proses keluarnya air pori akan sangat lambat karena nilai permeabilitas tanahnya rendah. Parameter kuat geser total pada analisis ini adalah $c_u \neq 0$ dan $\phi = 0$. Contoh penggunaan tegangan total adalah pada kasus timbunan berikut ini.



Gambar 2. 25 Pendekatan Tegangan Total pada Kasus Timbunan

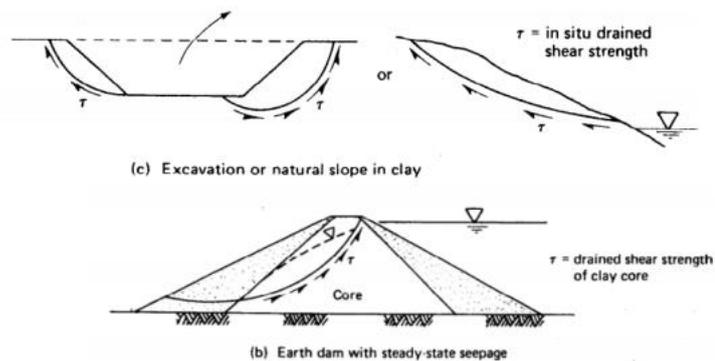


Gambar 2. 26 Variasi SF Tegangan Total dengan Waktu (After Bishop dan Bjerrum, 1960)

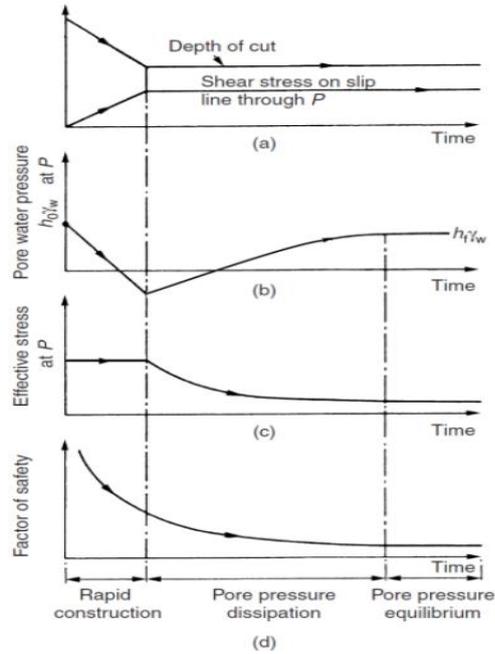
Pada kasus timbunan pendekatan tegangan total biasa digunakan, hal tersebut ditunjang oleh penjelasan pada gambar 2.26 di mana beban bertambah (a) sehingga terjadi perubahan tegangan efektif dan peningkatan air pori (b dan c). Seiring waktu kelebihan tekanan air pori ini hilang karena terdrainase jauh dari daerah tekanan air pori yang meningkat, ke daerah sekitar tekanan air pori yang lebih rendah dan tidak terpengaruh oleh konstruksi. Hal tersebut menimbulkan penurunan dan meningkatnya kuat tanah, sehingga faktor keamanan minimum terjadi pada kondisi *undrained*/jangka pendek (d).

2.4.2 Tegangan Efektif/ *Effective Stress*

Tegangan efektif atau *long-term condition* merupakan kondisi di mana tanah sudah terdrainase (*drained*). Pada kondisi ini pembebanan terjadi lebih lama daripada proses konsolidasi yang terjadi *excess pore pressure*. Analisis tegangan efektif juga disebut dengan *long-term condition*. Parameter kuat geser efektif digunakan pada analisis ini adalah $c_u = 0$ dan $\phi \neq 0$. Pendekatan tegangan efektif ini biasa digunakan pada kasus galian dan stabilitas lereng (gambar 2.27).



Gambar 2. 27 Pendekatan Tegangan Efektif pada Kasus Galian



Gambar 2. 28 Variasi SF Tegangan Efektif dengan Waktu (After Bishop dan Bjerrum, 1960)

Pada kasus galian, terjadi pengurangan beban di mana air dalam tanah mengalami *suction* yang mengakibatkan air dalam pori tersebut bernilai negatif (b), maka kuat geser tanah seolah-olah semakin besar. Akan tetapi pada kondisi jangka panjang tekanan air pori akan kembali dari daerah yang tidak terpengaruh oleh penggalian dan mengurangi kuat geser tanah (c), sehingga faktor keamanan minimum terjadi pada kondisi jangka panjang (d). Apabila hal tersebut diformulasikan ke dalam persamaan maka,

$$\tau = c' + \sigma' \tan \phi' \quad (2.22)$$

$$\sigma' = \sigma - u \quad (2.23)$$

Ketika tegangan air pori terjadi *suction*, maka nilai u menjadi negatif dan diformulasikan sebagai berikut,

$$\sigma' = \sigma - (-u) \quad (2.24)$$

Nilai tegangan efektif akan semakin besar yang berpengaruh terhadap nilai kuat geser atau dalam kata lain nilai τ akan naik. Akan tetapi, kondisi *drained* ini lemah atau kritis saat kondisi *long-term*, hal tersebut dikarenakan tegangan air pori akan kembali muncul sehingga nilainya berubah (+). Oleh karena itu formula akan berubah menjadi,

$$\sigma' = \sigma - (u) \quad (2.25)$$

Keterangan:

σ' : Tegangan Efektif

τ : Kuat Geser Tanah
 c : Kohesi
 u : Tekanan Air Pori

Berdasarkan formulasi 2.25, pada kondisi jangka panjang nilai tegangan efektif akan berkurang, sehingga menurunkan nilai kuat geser tanah.

2.5 PEMODELAN TANAH

Dalam analisis stabilitas sheet pile, pemodelan tanah pada Plaxis direncanakan sesuai konsep-konsep tertentu. Khususnya yang berkaitan dengan perilaku tanah sendiri berdasarkan tegangan dan regangan pada tanah. Model konstitutif dapat dikelompokkan menjadi 5 kategori (Sweiger, 2009), akan tetapi dalam penelitian ini hanya akan menggunakan pemodelan Mohr-Coulomb dan Hardening Soil.

2.5.1 Stawal

Stawal atau *Stability of Wall* merupakan salah satu program untuk perhitungan stabilitas penahan tanah; dinding kantilever, turap/sheet pile, yang mana perhitungan dari analisis desain sheet pile dengan *Free Earth Support* (digunakan angkur sebagai penahan tambahan melalui gaya tarikan) serta *Fixed Earth Support*.

Pada program ini digunakan perhitungan kesetimbangan batas untuk menentukan kedalaman penetrasi yang dibutuhkan untuk menjaga stabilitas dinding sheet pile. Hasil yang diberikan dari program aplikasi stawal adalah panjang dari sheet pile tanpa adanya perilaku deformasi tiang akibat beban.

Program aplikasi stawal dapat memperhitungkan panjang sheet pile yang dibutuhkan, namun perlu digarisbawahi bahwa program ini hanya memperhitungkan nilai D_0 atau D teoritis.

2.5.2 *Finite Element Method* (FEM)

Metode FEM atau *Finite Element Method* atau metode elemen hingga merupakan perhitungan yang digunakan dalam analisis sheet pile. Perhitungan ini menggunakan konsep persamaan integral dalam menghitung suatu nilai *infinite*.

Metode ini dibantu menggunakan aplikasi plaxis dan dalam pengerjaannya langkah yang harus dilakukan adalah penentuan model geometri, model material, penentuan parameter model serta analisis hitungan. Geometri pada pemodelan

dibagi menjadi elemen yang disebut dengan jaringan elemen hingga. Setiap elemen memuat titik node yang berkaitan dengan nilai parameter.

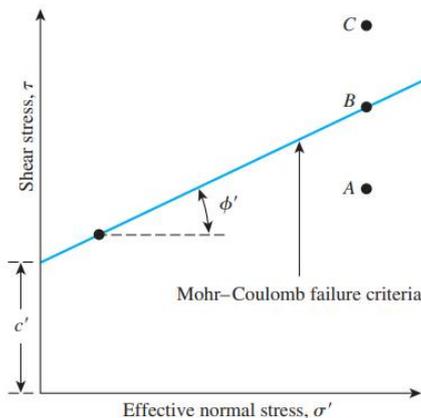
2.5.2.1 Plaxis

Plaxis merupakan program atau aplikasi yang berbasis elemen hingga dalam analisis dan desain bidang geoteknik (Schweiger, 2009).

Menurut Brinkgrave (2007) prosedur dari program plaxis digunakan untuk menentukan judul analisis, model, dan elemen, menuliskan dimensi tanah dari kasus, merangkai bentuk dimensi dari tanah, serta nilai parameter tanah. Pada penelitian ini Plaxis 3 (tiga) dimensi versi 20 digunakan sebagai metode penelitian Analisis Efektivitas Konfigurasi Sisir Sheet Pile Menggunakan Metode *Finite Element* 3 Dimensi Pada Kasus *Long Storage* Kota Jakarta.

2.5.2.1.1 MCM/ *Mohr-Coulomb Model*

Konsep keruntuhan Mohr-Coulomb merupakan konsep keruntuhan yang terjadi dari dalam tanah untuk mencari keadaan tegangan atau regangan pada tanah (Muni Budhu, 2011). Hal tersebut berdasarkan dengan nilai kohesi atau kelekatan (c), nilai sudut geser atau phi (ϕ). Kedua parameter tersebut merupakan parameter model elastoplastis yang dihubungkan dengan tegangan normal efektif dan kuat geser serta dari kurva keruntuhan tersebut dapat diambil nilai sudut geser (Braja M. Das, 1994) seperti pada gambar 2.29 di bawah ini.



Gambar 2. 29 Kriteria Keruntuhan Mohr-Coulomb (Braja M. Das, 1994)

Model Mohr-Coulomb terdapat parameter yang dibutuhkan untuk analisis, diantaranya adalah sebagai berikut,

1. c' (kohesi)

Nilai kohesi atau kelekatan merupakan salah satu parameter kuat geser tanah untuk jenis tanah halus. Akan tetapi dalam analisis menggunakan program plaxis nilai kohesi yang bernilai 0 akan mengalami kegagalan saat komputasi. Oleh karena itu, jenis tanah dengan nilai $c'=0$ disarankan untuk dimasukkan setidaknya $>0,2 \text{ kN/m}^2$.

2. ϕ' (Sudut Geser)

Nilai phi atau sudut geser merupakan nilai parameter yang dihasilkan dari plot kriteria kurva keruntuhan Mohr-Coulomb dari tegangan normal dan tegangan geser.

3. E (Modulus Young)

Modulus young atau modulus kekakuan menunjukkan nilai elastisitas pada tanah yang mana merupakan perbandingan antara tegangan terhadap regangan.

4. ν (Poisson Ratio)

Rasio pergerakan regangan radial (*radial strain*) terhadap arah vertikal atau disebut juga dengan nilai Poisson memiliki nilai kisaran 0,3 s.d. 0,4 pada tanah kondisi terdrainase. Sedangkan, untuk tanah tak terdrainase kisaran 0,5 (Bowles, 1996).

5. Ψ (Dilatancy)

Dilantansy merupakan korelasi antara sudut geser dengan persamaan $\psi=\phi-30^\circ$ untuk tanah kohesif (Bolton, 1986).

2.5.2.1.2 HSM/*Hardening Soil Model*

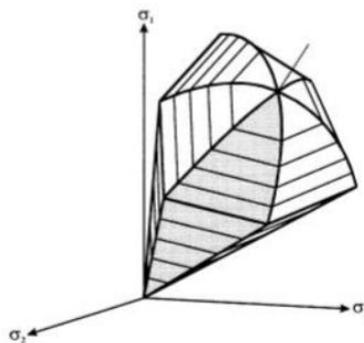
Model hardening soil merupakan lanjutan dari pemodelan Mohr-Coulomb di mana pada model ini memperhitungkan tekanan pra-konsolidasi. Model ini pertama kali diformulasikan oleh Kondner (1963).

Menurut Schanz (1998) model *hardening-soil* ini merupakan tingkat lanjut untuk memodelkan perilaku dari berbagai jenis tanah, baik keras maupun jenis tanah lunak. Model ini terdapat 10 parameter yang digunakan dan tertuang pada tabel di bawah ini:

Tabel 2. 6 Parameter Model Hardening Soil

Parameter	Deskripsi
φ'	Phi
c'	Cohesive
Rf	Rasio Keruntuhan
Ψ	Sudut Dilatasi
E_{50}^{ref}	Kekakuan Sekan (Uji Triaxial Terdrainase)
E_{oed}^{ref}	Kekakuan Tangensial untuk Pembebanan Primer
E_{our}^{ref}	Kekakuan untuk Pengurangan/Pembebanan Kembali
m	Eksponen Ketergantungan terhadap Tegangan
ν_{ur}	Angka Poisson untuk Pengurangan/Pembebanan kembali
$E_{nc}^{K_0}$	Nilai K_0 untuk Tanah Terkonsolidasi Normal

Penggunaan Hardening Soil sebagai model material pada aplikasi Plaxis saat analisis akan menghasilkan waktu yang lebih lama, hal ini dikarenakan pembentukan kekakuan material dilakukan dalam tiap langkah. Untuk bidang keruntuhan HSM dalam tiga dimensi ditunjukkan pada gambar sebagai berikut:



Gambar 2. 30 Bidang Keruntuhan Hardening Soil Model (Schanz et al., 1999)

2.6 LANDASAN PERHITUNGAN SHEET PILE

Sheet pile merupakan salah satu konstruksi penahan tanah, yang mana pada penahan tanah gaya yang bekerja merupakan gaya lateral atau tekanan tanah lateral. Sehingga, perhitungan pada sheet pile akan berbeda dengan gaya aksial (*vertical*), meskipun pada sheet pile juga dapat ditemukan beban secara vertikal.

2.6.1 Tekanan Tanah Lateral/*Lateral Earth Pressure*

Tekanan tanah lateral merupakan tekanan yang bekerja antara struktur penahan dan massa tanah, dalam hal ini struktur penahan seperti Sheet Pile Cantilever dan Sheet Pile dengan Anchored. Besaran tekanan tanah lateral tergantung dari beberapa faktor seperti gaya/kuat geser, kemiringan tanah yang ditahan, panjang dinding penahan, muka air tanah serta gesekan antara tanah dan dinding.

Oleh sebab itu, tekanan tanah lateral sangat berpengaruh terhadap desain dinding penahan yang mana keruntuhan geser atau *shear failure* pada tanah terjadi karena adanya gaya perlawanan atau tegangan pada tanah yang terjadi. Berikut adalah hubungan kuat geser terhadap kondisi tanah dalam konstruksi dinding penahan tanah apabila dalam kondisi total *stress*:

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (2.26)$$

Apabila tanah dalam kondisi jenuh, tegangan normal akan memiliki penjumlahan dari tegangan efektif dan tekanan air pori, sehingga persamaannya menjadi,

$$\sigma = \sigma' + u \quad (2.27)$$

Sedangkan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb dalam kondisi efektif akan menjadi,

$$\tau = c' + \sigma' \tan \phi' \quad (2.28)$$

$$\sigma' = \sigma - u \quad (2.29)$$

Keterangan:

τ : Kuat Geser

c : Kohesi/Lekatan

σ' : Tegangan Efektif

ϕ : Sudut Geser Tanah

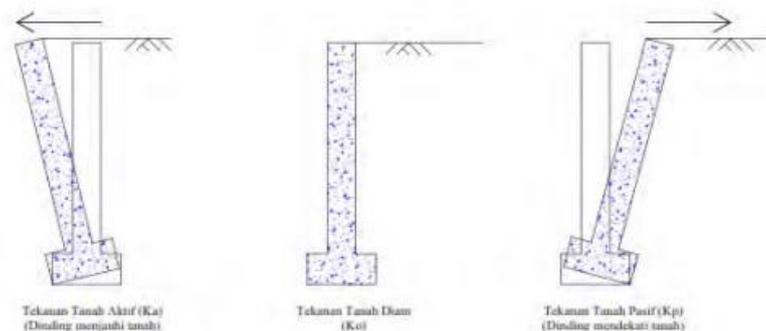
σ : Tegangan Normal Total

u : Tekanan Air Pori

Tekanan tanah lateral terbagi menjadi 3 (tiga) jenis diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Jika dinding tidak bergerak menjadi koefisien tekanan tanah diam (K_0).
2. Jika dinding bergerak menjauhi tanah hingga terjadi keruntuhan maka nilai K disebut tekanan tanah aktif (K_a).
3. Jika dinding bergerak menekan ke arah tanah, maka koefisien K disebut dengan tekanan tanah pasif (K_p).

Pergerakan dari tiga jenis tekanan tersebut dapat dilihat dari gambar berikut:



Gambar 2. 31 Jenis Tekanan Tanah berdasarkan Arah Pergerakan Dinding (Weber, 2010)

Di mana dalam suatu tekanan tanah lateral terhadap koefisien-koefisien tertentu seperti yang telah dijabarkan di atas. Sehingga, persamaan berikut merupakan persamaan umum koefisien dari tekanan tanah lateral:

$$K = \frac{\sigma_h}{\sigma_v} \quad (2.30)$$

Dari rumus di atas dapat diubah menjadi.

$$\sigma_h = K \cdot \sigma_v \quad (2.31)$$

Keterangan:

K : Koefisien Tekanan Tanah

σ_v : Gaya Vertikal

σ_h : Gaya Horizontal

Dari rumusan di atas dapat diketahui bahwa tegangan vertikal efektif memiliki peran yang sangat penting terhadap kekuatan tanah. Dalam tekanan tanah lateral tegangan vertikal efektif menjadi salah satu perhitungan dalam perhitungan tekanan tanah lateral.

Dalam Teori Rankine, ada beberapa yang Rankine asumsikan (1987) yaitu:

1. Tidak ada friksi atau gesekan yang terjadi antar dinding dengan tanah, sehingga Rankine berasumsi bahwa friksi diabaikan.
2. Kelongsoran yang terjadi akibat pergeseran tanah yang ditentukan oleh sudut geser tanah (ϕ).
3. Tekanan tanah terhadap kedalaman dan resultan tekanan yang berada pada sepertiga ($1/3$) tinggi dinding dan diukur dari dasar dinding.

2.6.1.1 Tekanan Tanah Kondisi Diam (Awal)/*Lateral Earth Pressure-At Rest*

Tekanan tanah horizontal terbagi menjadi tiga tekanan, yaitu tekanan tanah kondisi diam atau *at rest* serta kondisi aktif-pasif. Tekanan tanah diam merupakan tekanan yang tidak terdapat pergerakan deformasi atau tidak terjadinya pergerakan yang menyebabkan perubahan bentuk pada suatu konstruksi penahan tanah, yang mana tekanan tanah yang terjadi akibat massa tanah pada dinding penahan dalam keadaan seimbang. Kondisi keseimbangan tersebut terjadi tanpa terjadinya tegangan geser atau didefinisikan sebagai kondisi K_0 . Koefisien tekanan tanah dalam kondisi diam ini dilambangkan dengan K_0 atau Koefisien di saat tidak terjadi deformasi (sama dengan 0).

Rumusan K_0 untuk tanah *Normally Consolidated* (NC) memiliki persamaan sebagai berikut:

$$K_0 = 1 - \sin\phi' \quad (2.32)$$

Sedangkan untuk tanah *Over-Consolidated* didapatkan persamaan,

$$K_0 = (1 - \sin\phi')OCR^{\sin\phi'} \quad (2.33)$$

Dalam perhitungan tekanan tanah lateral harus terlebih dahulu dihitung koefisiennya terlebih dahulu. Adapun langkah-langkah perhitungan tekanan tanah lateral adalah sebagai berikut:

- 1) Hitung K_0 atau nilai koefisien tanah lateral kondisi diam, apabila terdapat nilai OCR maka gunakan persamaan 2.33
- 2) Hitung tegangan tanah yang terjadi di mana,

$$\sigma'v = \gamma \cdot H \quad (2.34)$$

Dalam perhitungan ini akan dicari nilai tegangan horizontal yang memiliki rumusan,

$$\sigma'ho = \sigma'v \times K_0 \quad (2.35)$$

3) Sehingga, didapatkan persamaan untuk mencari tekanan tanah lateral kondisi diam atau *at-rest* adalah,

$$P_0 = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_0 \quad (2.36)$$

Keterangan:

P_0 : Gaya tekanan tanah lateral saat diam (kN.m)

K_0 : Koefisien tekanan tanah lateral saat diam

γ : Gamma tanah (berat tanah per volume (kN/m³))

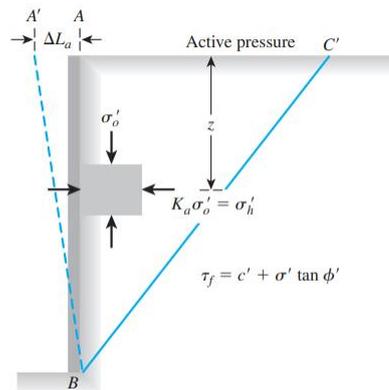
H : Kedalaman (m)

σ'_v : Tegangan vertikal efektif (kN/m²)

σ'_h : Tegangan horizontal efektif (kN/m²)

2.6.1.2 Tekanan Tanah Aktif/*Active Earth Pressure*

Tekanan lateral kondisi aktif merupakan tekanan yang ditandai dengan dinding yang menjauhi massa tanah (ΔL_a) (Gambar 2.32) secara perlahan-lahan, maka tegangan utama arah horizontal akan berkurang dan terjadi perubahan di dalam elemen tanah. Koefisien untuk tekanan tanah lateral aktif ini dilambangkan dengan K_a .



Gambar 2. 32 Tekanan Tanah Lateral Kondisi Aktif (Das, 2014)

Adapun persamaan untuk mencari nilai K_a atau koefisien tanah kondisi aktif adalah sebagai berikut:

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad (2.37)$$

Langkah-langkah perhitungan tekanan lateral tanah aktif sama halnya dengan langkah perhitungan saat kondisi diam. Dengan mengetahui nilai koefisien atau K_a , maka dapat dicari lateral tanah kondisi aktif.

$$\sigma'_{ha} = \sigma'_{v} \times K_a \quad (2.38)$$

Di mana,

$$\sigma'_{v} = \gamma \cdot H \quad (2.39)$$

Sehingga, gaya lateral aktif tanah menjadi,

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a \quad (2.40)$$

Keterangan:

P_a : Gaya tekanan tanah lateral aktif (kN.m)

K_a : Koefisien tekanan tanah lateral aktif

γ : Gamma tanah (berat tanah per volume (kN/m³))

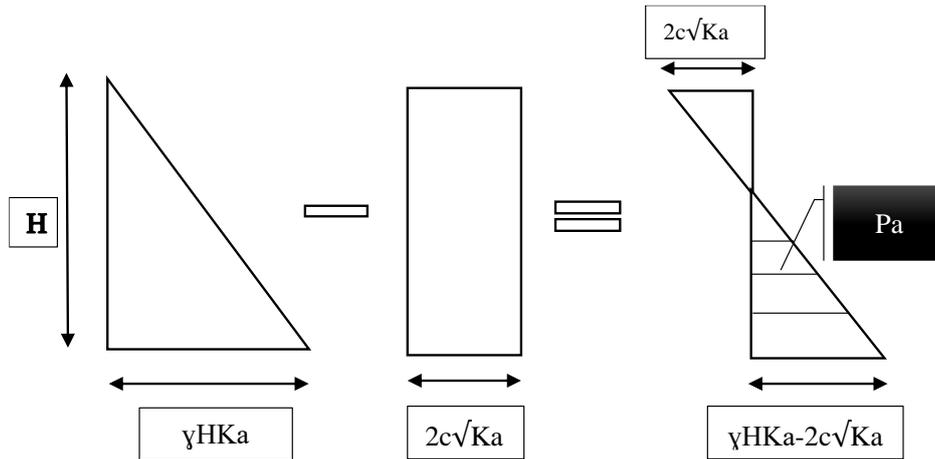
H : Kedalaman (m)

σ'_{v} : Tegangan vertikal efektif (kN/m²)

σ'_{h} : Tegangan horizontal efektif (kN/m²)

Tekanan tanah kondisi aktif terdapat berbagai kondisi, diantaranya adalah saat tekanan terjadi pada tanah yang memiliki lekatan atau kohesi (c) dan pada tanah yang tidak memiliki kohesi atau tanah pasir (*cohesionless soil*).

1. Tanah yang memiliki lekatan atau memiliki kohesi (c) mempunyai nilai tambah pada kuat geser tanah, seperti yang telah dijelaskan pada konsep kuat geser tanah, sehingga hal tersebut berpengaruh terhadap tekanan lateral aktif yang cenderung akan mengurangi tekanan lateral aktif tanah sebesar $2c\sqrt{K_a}$. Sehingga, distribusi tegangannya menjadi seperti di bawah ini:



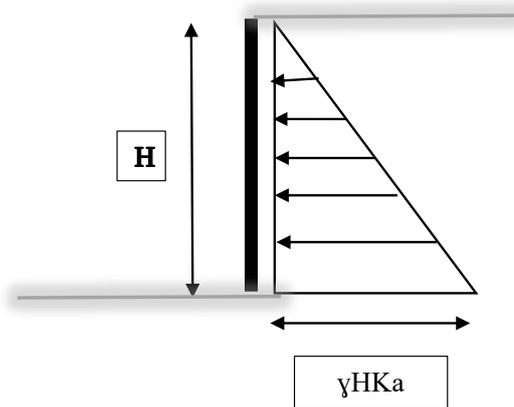
Gambar 2. 33 Diagram Gaya Lateral Aktif pada Tanah Kohesif

Karena terdapat kohesi atau lekatan pada tanah, maka perhitungan untuk tekanan lateral aktif dengan kohesi menjadi sebagai berikut:

1. Hitung nilai K_a dengan persamaan 2.37,
2. Hitung tegangan tanah terjadi dengan persamaan 2.38,
3. Hitung gaya lateral, di mana gaya lateral merupakan luasan dari distribusi tegangan yang terjadi dikalikan tegangan tanah. Dalam hal ini karena terdapat nilai c (kohesi), maka persamaannya menjadi,

$$Pa = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a - 2c\sqrt{K_a} \quad (2.41)$$

2. Pada tanah yang tidak memiliki kohesi atau disebut dengan *cohesionless soil* maka yang berperan besar pada kekuatan geser tanahnya adalah nilai ϕ (phi) atau sudut geser dalam. Distribusi tegangan yang terjadi pada tanah pasir hanya akan dipengaruhi oleh berat tanah itu sendiri, sehingga distribusi tegangan yang terjadi seperti di bawah ini:



Gambar 2. 34 Diagram Gaya Lateral Aktif pada Tanah *Cohesionless*

2.6.1.3 Tekanan Tanah Pasif/*Passive Earth Pressure*

Tekanan tanah pasif merupakan tekanan yang diakibatkan oleh dinding yang bergerak ke arah massa tanah dan cenderung menekan massa tanah, hal ini dapat terlihat pada gambar 2.35. Pada kondisi ini pergerakan dinding yang mendekati massa tanah menyebabkan tegangan horizontal secara pasif (menekan tanah) dan menyebabkan kenaikan pada tekanan tanah lateral, sehingga koefisien pada tekanan tanah ini menjadi K_p .

Sama halnya dengan kondisi diam dan kondisi aktif, tekanan tanah lateral pasif juga memperhitungkan tegangan-tegangan yang terjadi dalam tanah, namun pada kondisi pasif koefisien yang digunakan adalah K_p . Sehingga persamaan yang terjadi adalah sebagai berikut:

$$K_p = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (2.42)$$

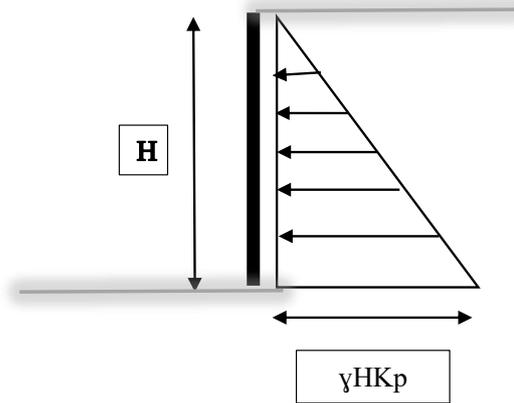
Setelah diketahui koefisien tanah pasif, maka seperti perhitungan pada kondisi diam dan aktif akan dicari tegangan yang terjadi dalam tanah dengan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma' h = \sigma' v \times K_p \quad (2.43)$$

Di mana,

$$\sigma' v = \gamma \cdot H \quad (2.44)$$

Sehingga, gaya lateral tanah pasif dengan distribusi tegangan seperti pada gambar berikut



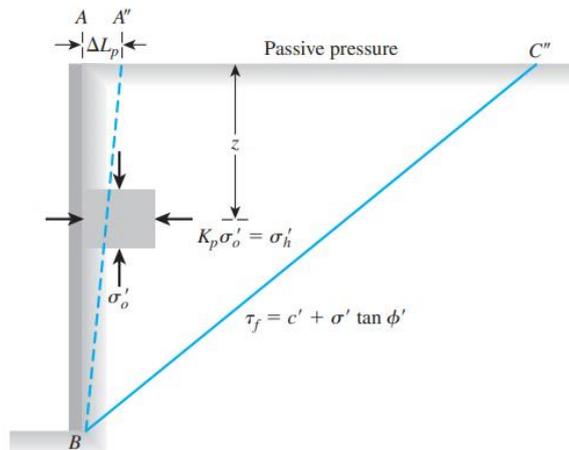
Gambar 2. 35 Diagram Gaya Lateral Pasif

Sehingga, rumusan gaya lateral tanah pasif menjadi sebagai berikut:

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p \quad (2.45)$$

Keterangan:

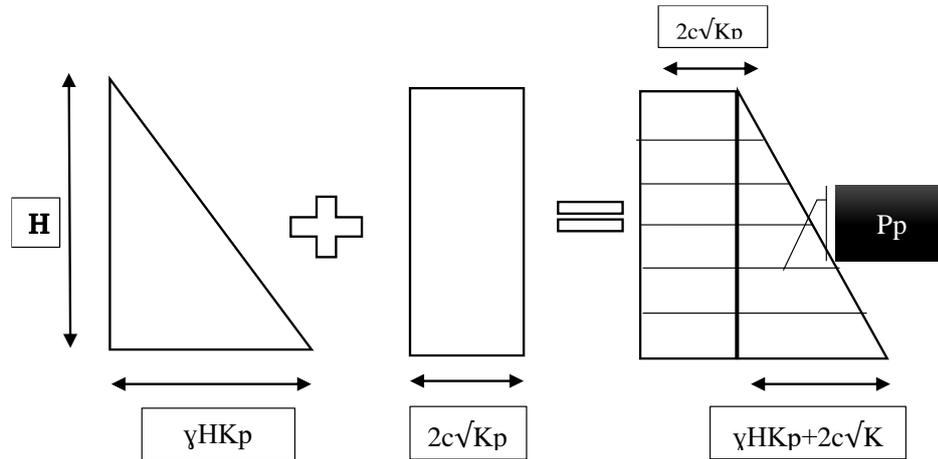
- P_p : Gaya tekanan tanah lateral pasif (kN.m)
- K_p : Koefisien tekanan tanah lateral pasif
- γ : Gamma tanah (berat tanah per volume (kN/m³))
- H : Kedalaman (m)
- σ'_v : Tegangan vertikal efektif (kN/m²)
- σ'_h : Tegangan horizontal efektif (kN/m²)



Gambar 2. 36 Tekanan Lateral Kondisi Pasif (Das, 2014)

Sama halnya dengan tekanan lateral aktif pada kondisi tanah berkohesi, pada tekanan lateral pasif pun terdapat 2 kondisi, yakni kondisi *cohesionless* dan kondisi terdapat kohesi *c*. Kondisi seperti yang dijelaskan sebelumnya merupakan kondisi

cohesionless, lain halnya kondisi tanah yang terdapat nilai c atau kohesi. Diagram distribusi gaya lateral pasif akan dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 2. 37 Diagram Gaya Lateral Pasif pada Tanah Kohesif

Sehingga, persamaan gaya lateral yang digunakan menjadi,

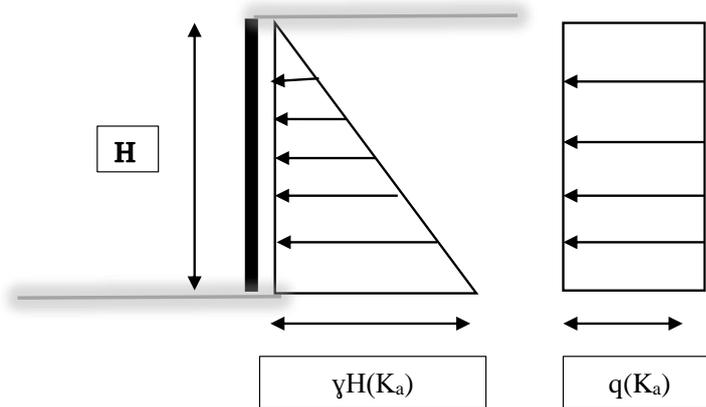
$$P_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p + 2c\sqrt{K_p} H \quad (2.46)$$

Keterangan:

- P_p : Gaya tekan tanah lateral pasif (kN.m)
- K_p : Koefisien tekanan tanah lateral pasif
- γ : Gamma tanah (berat tanah per volume (kN/m³))
- H : Kedalaman (m)
- σ'_v : Tegangan vertikal efektif (kN/m²)
- σ'_h : Tegangan horizontal efektif (kN/m²)
- c : Kohesi

2.6.2 Efek Beban Luar Terhadap Gaya Lateral

Beban luar yang terjadi terhadap gaya lateral merupakan kondisi di mana terdapat beban yang akan mempengaruhi tekanan gaya lateral yang terjadi, khususnya pada dinding penahan tanah maupun pada sheet pile.



Gambar 2. 38 Diagram Gaya Lateral efek Beban Luar

Sehingga persamaannya menjadi sebagai berikut:

$$Pa = \frac{1}{2}\gamma H(Ka) + qH(Ka) \quad (2.47)$$

Keterangan:

P_a : Gaya tekanan tanah lateral aktif (kN.m)

K_a : Koefisien tekanan tanah lateral aktif

γ : Gamma tanah (berat tanah per volume (kN/m³))

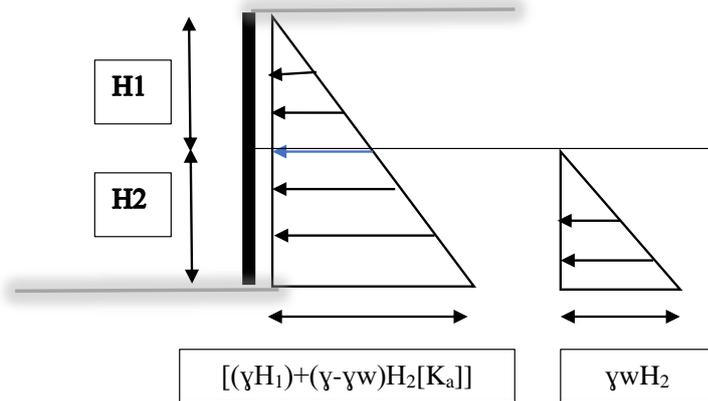
q : Beban (kN/m²)

H : Kedalaman (m)

2.6.3 Efek MAT/ Muka Air Tanah Terhadap Gaya Lateral

Muka air tanah berpengaruh terhadap gaya lateral yang bekerja pada dinding tanah, hal ini disebabkan adanya tekanan air yang bekerja dan dapat menimbulkan gerakan berlebih terhadap dinding penahan. Perbedaan tinggi MAT pada bagian depan atau belakang dinding akan menyebabkan terjadinya penambahan tekanan lateral dan pengurangan berat isi.

Pengaruh muka air tanah yang menyebabkan tekanan air dapat menyebabkan terjadinya *seepage* atau proses mengalirnya air dalam pori tanah. Di bawah ini merupakan distribusi tegangan akibat muka air tanah terhadap gaya lateral,



Gambar 2. 39 Diagram Gaya Lateral Efek Muka Air

Sehingga dapat diperoleh rumusan sebagai berikut:

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H + K_a \gamma H^2 + \frac{1}{2} [(\gamma - \gamma_w) H_2 + \gamma_w H_2] \quad (2.48)$$

Keterangan:

- P_a : Gaya tekanan tanah lateral aktif (kN.m)
- K_a : Koefisien tekanan tanah lateral aktif
- γ : Gamma tanah (berat tanah per volume (kN/m³))
- γ_w : Gamma air (berat air per volume (kN/m³))
- H : Kedalaman (m)

2.7 KRITERIA DESAIN

Pada penelitian ini efektivitas konfigurasi sheet pile diteliti berdasarkan nilai bending moment, deformasi horizontal, faktor keamanan, serta penurunan di belakang dinding.

2.7.1 Faktor Keamanan

Faktor keamanan merupakan nilai perbandingan antara kekuatan sebenarnya terhadap kekuatan minimum agar tercapai suatu keseimbangan. Dalam penelitian ini nilai faktor keamanan mengacu kepada desain dinding penahan tanah yang direkomendasikan oleh Burland et.al. 1981; Valsangkar dan Schiver 1991; Clayton et.al. 1996 dalam buku *Excavation and Foundation in Soft Soils* yaitu, kisaran minimum 1,5-2 yang secara umum digunakan dalam indikator kondisi aman. Adapun, nilai 1,2-1,5 biasa digunakan untuk jenis tanah lempung dalam analisis

long-term (Clayton et.al. 1996). Rentang nilai faktor keamanan tersebut juga sama seperti yang disampaikan oleh Hardiyatmo (2010) mengenai angka aman untuk konstruksi sheet pile. Sedangkan dalam SNI tentang Persyaratan dan Perancangan Geoteknik untuk nilai faktor keamanan ini direkomendasikan 1,5 untuk jenis tanah lunak.

2.7.2 Deformasi Horizontal

Dalam penelitian ini deformasi lateral izin dinding penahan tanah dan/atau *embedded walls* dalam buku *Execution of Geotechnical Works-Sheet Pile Walls*, batas izin maksimum deformasi sebesar 2% dari panjang sheet pile yang digunakan. Hal tersebut berlandaskan jenis atau tipe tanah, dalam hal ini tanah lunak. Adapun, berdasarkan SNI tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik pada tahun 2017 mengenai batas izin maksimum deformasi adalah sebesar 1% dari panjang sheet pile.

2.7.3 Bending Moment

Bending moment atau momen lentur merupakan jumlah aljabar dari semua komponen momen gaya luas yang bekerja pada suatu struktur/elemen tertentu. Nilai bending moment pada penelitian ini termasuk ke dalam kategori efektif apabila bending moment yang dihasilkan tidak melebihi moment crack/ M_{Crack} pada desain awal tipe sheet pile.

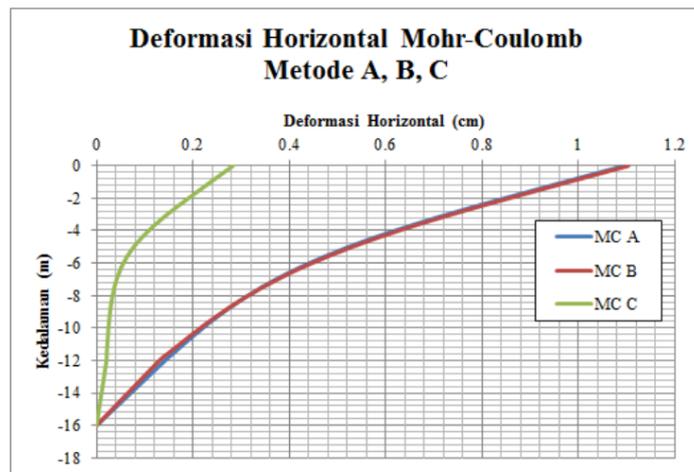
2.8 STUDI TERDAHULU

Studi terdahulu merupakan studi atau penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya pada penelitian ini. Di bawah ini merupakan contoh kasus studi terdahulu.

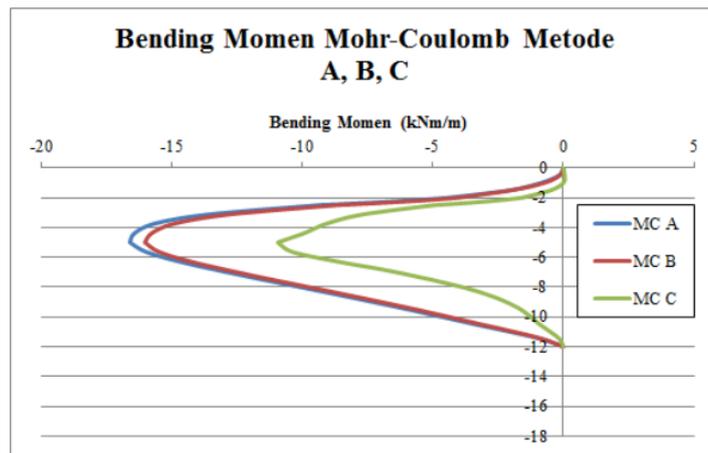
2.8.1 Studi Perilaku Galian Tanah pada Tanah Lunak dengan Perkuatan Sheet Pile pada Kondisi Drained dan Undrained Ditinjau dari Berbagai Pemodelan Tanah

Penelitian ini dilakukan oleh Cegi Herdian K. pada tahun 2013, Universitas Komputer Indonesia dengan studi perilaku galian pada tanah lunak yang ditinjau dari model tanah Mohr Coulomb dengan metode A, B, dan C, model tanah Hardening Soil, serta Soft Soil. Adapun hasil penelitiannya adalah pendekatan total stress menghasilkan panjang sheet pile yang lebih panjang daripada pendekatan effective stress.

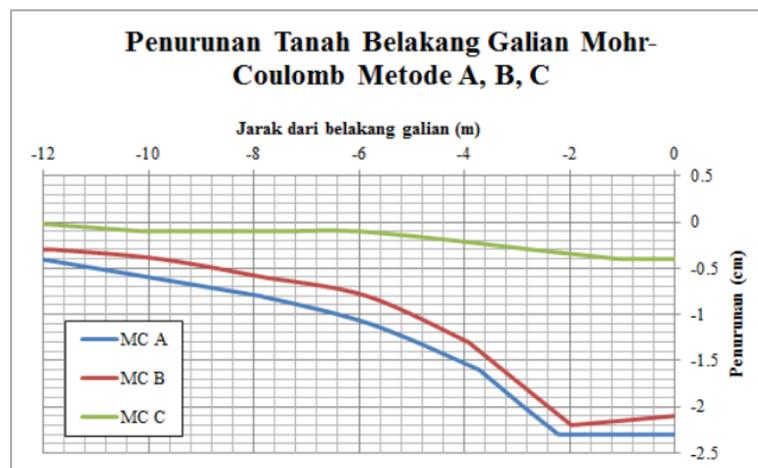
Pendekatan efektif menghasilkan deformasi, bending moment, serta penurunan belakang galian model tanah MC metode A dan B hamper serupa. Akan tetapi metode C menghasilkan deformasi horizontal, bending moment, dan penurunan tanah di belakang galian sheet pile paling kecil. Adapun pemodelan tanah HS kondisi efektif deformasi horizontal, bending moment, dan penurunan tanah belakang galian lebih besar dibanding model MC dan SS.



Gambar 2. 40 Perbandingan Deformasi Horizontal Model Tanah MC A, B, C. (Cegi H., 2013)



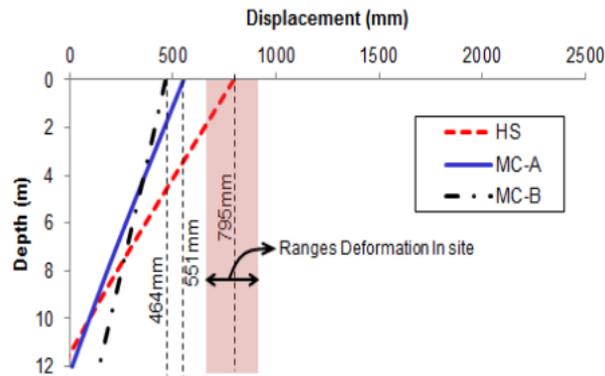
Gambar 2. 41 Perbandingan Bending Moment Model Tanah MC A,B, C. (Cepi H., 2013)



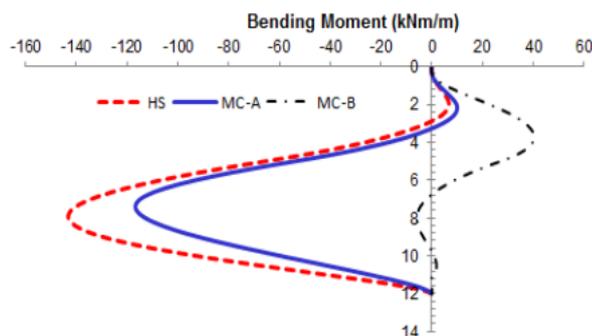
Gambar 2. 42 Perbandingan Penurunan di belakang galian Model Tanah MC A, B, C. (Cepi H., 2013)

2.8.2 Reliabilitas Model Tanah Mohr-Coulomb dan Hardening Soil pada Kasus Kelongsoran Galian Long Storage di Tanah Lunak

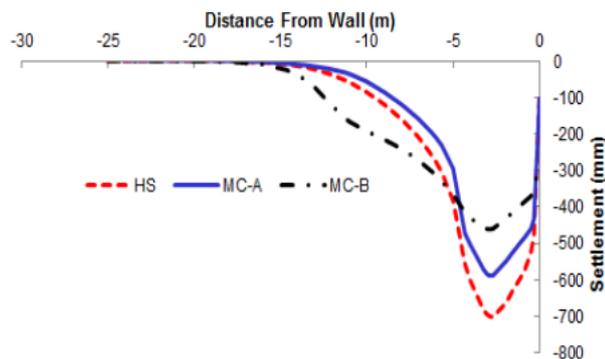
Studi ini dilakukan oleh Muhammad Riza, et.al. pada kasus galian di tanah lunak dengan menggunakan metode finite element 2 dimensi. Pemodelan tanah yang digunakan yakni, MC-A, MC-B, serta HS. Sedangkan, penanganan kelongsoran menggunakan sheet pile panjang 12 meter tipe W-450 A. Hasil yang didapatkan dari studi ini adalah kasus galian dangkal model tanah Hardening Soil lebih reliabel, model HS dan MC memberikan pembuktian yang baik terkait penurunan di belakang galian.



Gambar 2. 43 Variasi Deformasi Sheet Pile pada Model HS, MC-A, dan MC-B (M. Riza H., et. al., 2014)



Gambar 2. 44 Variasi Bending Moment pada Model HS, MC-A, dan MC-B (M. Riza H., et. al., 2014)



Gambar 2. 45 Variasi Penurunan Tanah di Belakang Sheet Pile pada Model HS, MC-A, dan MC-B (M. Riza H., et. al., 2014)

2.8.3 Studi Perencanaan Konstruksi *Sheet Pile Wall* Sebagai Alternatif Pengganti *Gravity Wall*

Studi ini dilakukan oleh Isti Radhista dan Adwiyah A. Universitas Teknologi Yogyakarta dengan melakukan perbandingan antara penggunaan *sheet pile* dan *gravity wall*. Metode yang dilakukan pada studi ini yakni metode numerik atau

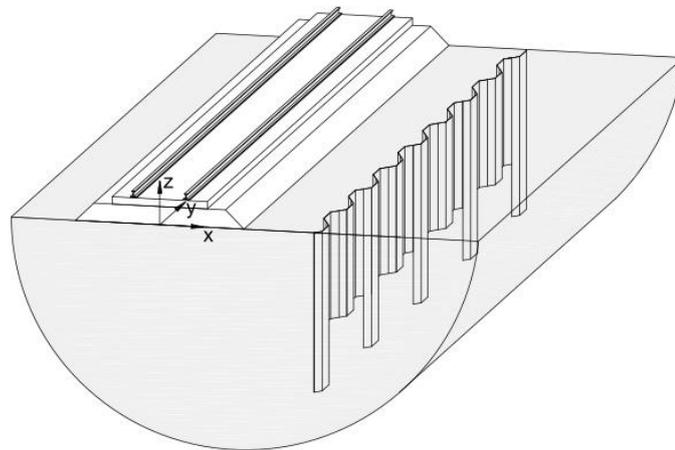
manual dengan mempertimbangkan sheet pile wall jenis *prefabricated concrete* ditambah angkur serta analisis stabilitas *gravity wall*. Adapun hasil pembahasan dari penelitian ini adalah berupa nilai keamanan. Nilai FS atau *factor of safety* pada *gravity wall* terhadap bahaya guling, geser, dan *bearing capacity* dengan hasil aman. Akan tetapi, apabila struktur tersebut menerima beban statis hasil yang ada maka hasilnya akan berbeda.

Hasil analisis menunjukkan sheet pile wall mendapatkan nilai SF 2 dengan panjang 8 meter lebih aman dan efektif.

2.8.4 Studi Efficacy of Sheet Pile Wall as A Wave Barrier for Railway Induced Ground Vibration

Penelitian efisiensi sheet pile sebagai penghalang getaran tanah pada rel kereta api dilakukan oleh Dijckmans et. al. KU Leuven, Belgia. Penelitian tersebut dilakukan di Furet, Swedia pada kasus dinding sheet pile yang dipasang di lokasi jalur kereta api.

Kedalaman sheet pile yang ditanam adalah 12 meter dengan setiap tumpukan keempat diperpanjang hingga 18 meter pada kondisi tanah lunak. Dalam kasus ini dinding sheet pile yang digunakan dengan menggunakan konfigurasi berdasarkan panjang sheet pile dapat mengurangi getaran 4 Hz lebih.



Gambar 2. 46 Design of Sheet Pile Wall (Dijckmans, 2015)

Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa penggunaan sheet pile dengan konfigurasi panjang sheet pile berbeda pada setiap tumpukan keempat dapat

mengurangi getaran kereta api. Efektivitas sheet pile yang digunakan mengurangi getaran dari 4 Hz.

2.8.5 Studi Analisis Angka Keamanan (SF) Lereng Sungai Cigembol Karawang dengan Perkuatan Sheet Pile

Studi mengenai analisis angka keamanan lereng dengan perkuatan sheet pile yang dilakukan oleh Etika Cahyaning Utami, Univeritas Sebelas Maret pada tahun 2016 dilakukan untuk analisis nilai faktor keamanan pada longsoran lereng Sungai Cigembol, Karawang dengan memposisikan kedalaman yang berbeda untuk sheet pile yang ditanam pada setiap lapisan lereng.

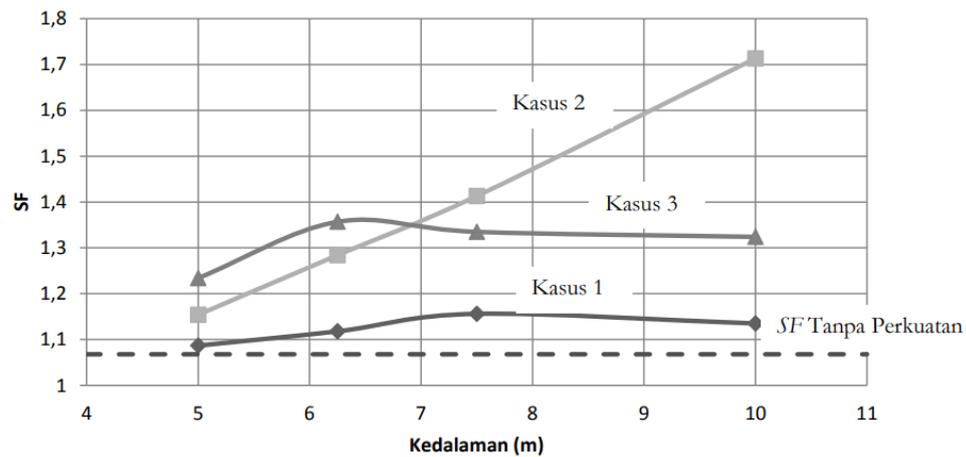
Tabel 2. 7 Variasi Sheet Pile pada Pemodelan

Dimensi (cm)	Posisi Peletakan <i>Sheet Pile</i>	Kedalaman		Keterangan
		$f(b)$	Nilai	
50 × 32	Kasus 1 (Lapisan tanah 1)	b	5	
		$b + 1/4b$	6,25	
		$b + 1/2b$	7,5	
		$2b$	10	
	Kasus 2 (Antara lapisan tanah 1 dan 2)	b	5	
		$b + 1/4b$	6,25	
		$b + 1/2b$	7,5	
		$2b$	10	
	Kasus 3 (Lapisan tanah 2)	b	5	
		$b + 1/4b$	6,25	
		$b + 1/2b$	7,5	
		$2b$	10	

Dari studi tersebut didapatkan hasil analisis dan pembahasan sebagai berikut:

Tabel 2. 8 Hasil Analisis Perkuatan Sheet Pile (Etika C., 2016)

Posisi <i>Sheet Pile</i>	Kedalaman (m)	SF
Kasus 1 (Lapisan tanah 1)	5	1,087
	6,25	1,118
	7,5	1,156
	10	1,135
Kasus 2 (Antara lapisan 1 dan 2)	5	1,162
	6,25	1,303
	7,5	1,438
Kasus 3 (Lapisan tanah 2)	10	1,748
	5	1,236
	6,25	1,356
	7,5	1,346
	10	1,334



Gambar 2. 47 Grafik Hubungan Angka Keamanan (SF) dengan Kedalaman Sheet Pile (Etika C., 2016)

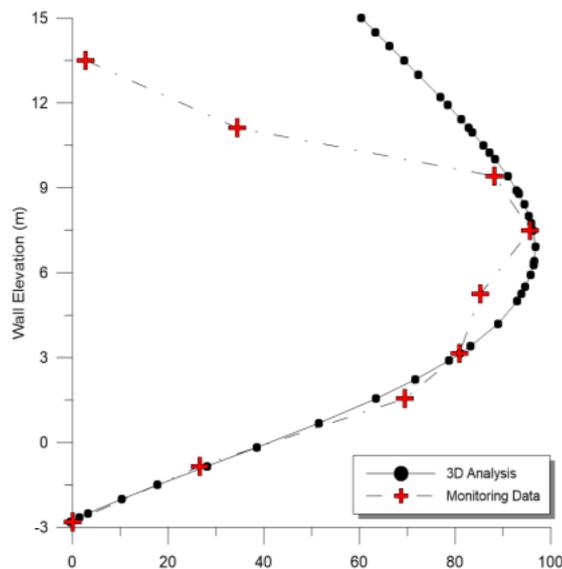
Dari penelitian di atas dapat disimpulkan bahwa nilai SF yang diperkuat dengan sheet pile berkisar antara 1,087 hingga 1,748. Kedalaman dan posisi peletakan sheet pile memiliki pengaruh terhadap nilai faktor keamanan.

2.8.6 Studi Penggunaan Sheet Pile Untuk Perkuatan Lereng di Desa Tambakmerang Kecamatan Girimarto Kabupaten Wonogiri

Studi ini dilakukan oleh Kurniawan D, et. al. Universitas Sebelas Maret dengan variabel bebas ketinggian sheet pile 1/2H, 1/3H, dan 1/4H dari ketinggian lereng. Adapun metode yang digunakan yakni kesetimbangan batas. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah penggunaan sheet pile dengan variasi 1/2H memiliki nilai paling tinggi dengan kisaran 2,109.

2.8.7 Studi 3D FEM Analysis of an Anchored Sheet Pile Wall and Comparison with Monitoring Data

Studi ini dilakukan oleh Dimos G., Alexandros V pada tahun 2017, University of Thrace, Greece. Analisis menggunakan aplikasi Plaxis 3 dimensi dengan angkur. Adapun perbandingan yang digunakan dalam analisis ini adalah antara FEM 3D menggunakan aplikasi Plaxis dan monitoring data. Hasil yang diberikan dari penelitian ini adalah penggunaan FE 3D dapat menghitung secara baik deformasi lateral/horizontal dinding sheet pile.



Gambar 2. 48 Variasi Deformasi Lateral dinding Sheet Pile (Dimos G., et.al., 2017)

2.8.8 Studi Perencanaan Sheet Pile Jalan Tol JORR II Seksi Kunciiran-Serpong STA. 40+000 Menggunakan Program PLAXIS

Penelitian oleh Ilham Akbar, Institut Pertanian Bogor dilakukan guna merencanakan penggunaan sheet pile dengan metode *finite element* menggunakan program aplikasi Plaxis pada objek penelitian yaitu Jalan Tol JORR II pada kasus tanah timbunan.

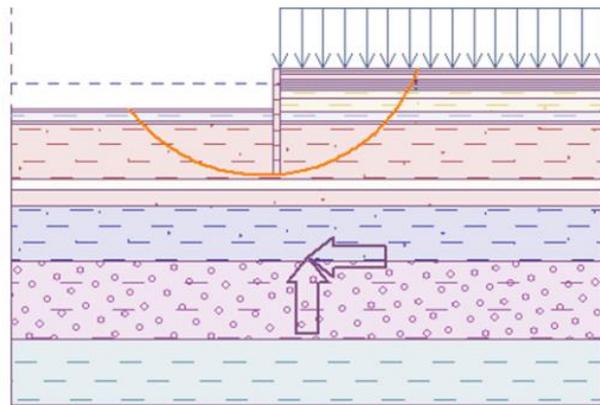
Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah penggunaan sheet pile pada tanah timbunan dapat mencegah terjadinya kelongsoran dengan nilai SF sebesar 6,67.

2.8.9 Studi 3D Finite Element Analysis of Pile Responses to Adjacent Excavation in Soft Clay; Effect of Different Excavation Depth Systems Relative to a Floating Pile

Penelitian ini dilakukan oleh Mukhtiar Ali, et. al. Quaid-e-Awam dan Mehran University of Engineering and Technology pada kasus galian di tanah lunak (kaolin soft clay) dengan menggunakan metode FE. Penelitian ini dilakukan dengan 3 kasus berdasarkan perbandingan *height* dan *length floating pile* ditambah *diaphragm*. Single pile yang digunakan pada model galian yang berbeda menghasilkan deformasi tiang terbesar pada pile kasus H_e/L_p 0,67 dengan bending moment 60% dari kapasitas bending moment tiang sebesar 800 kNm.

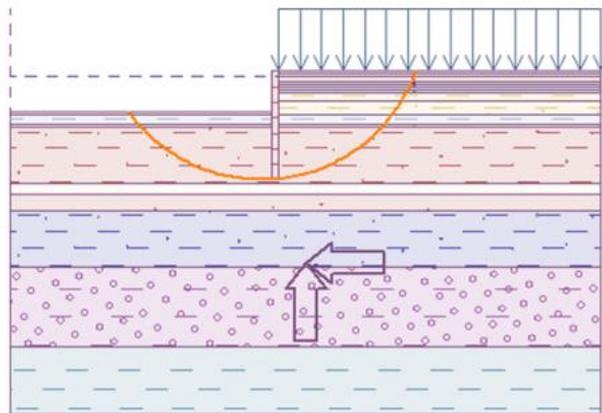
2.8.10 Studi Analisa *Safety Factor* Sheet Pile pada PLTMG Pontianak Peaker dengan Aplikasi Geo5

Studi Analisa FS oleh Muhammad Amar S. et.al dari Universitas Brawijaya pada kasus PLTMG Peaker dengan menggunakan aplikasi Geo5 metode Fellenius ini menggunakan variabel bebas yakni beban gempa dengan jenis sheet pile CCSP. Analisa perhitungan ditinjau berdasarkan keamanan struktur, angkur, kondisi normal-surut, normal-banjir, gempa surut, gempa banjir. Hasil penelitian menunjukkan bahwa analisa sheet pile pada kondisi surut gempa, normal gempa, pasang gempa, surut tanpa gempa, normal tanpa gempa dengan gempa skala ulang yaitu 500 tahun stabilitas lereng aman di kondisi tanpa gempa. Hal ini dikarenakan SF analisis tanpa gempa dihasilkan SF sebesar 2 ($>1,4$).



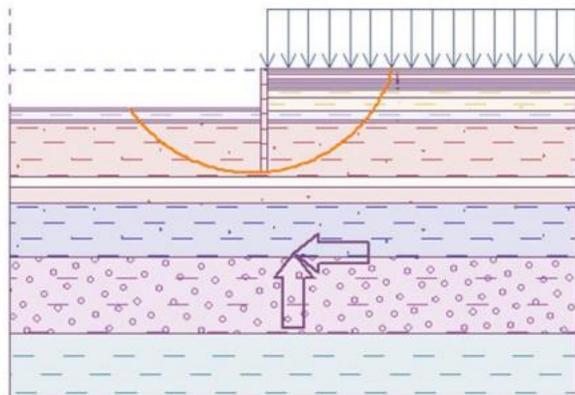
Slope stability verification (Bishop)
Sum of active forces : $F_a = 227.76$ kN/m
Sum of passive forces : $F_p = 849.32$ kN/m
Sliding moment : $M_s = 2778.62$ kNm/m
Resisting moment : $M_p = 10361.76$ kNm/m
Factor of safety = $3.73 > 1.40$
Slope stability ACCEPTABLE

Gambar 2. 49 Lereng kondisi Surut Gempa (M. Amar., et. al., 2019)



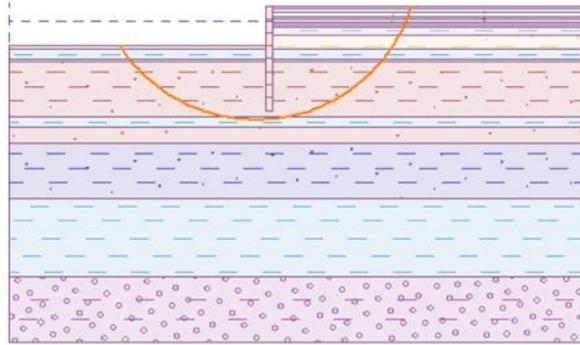
Slope stability verification (Bishop)
 Sum of active forces : $F_a = 201.45 \text{ kN/m}$
 Sum of passive forces : $F_p = 842.36 \text{ kN/m}$
 Sliding moment : $M_a = 2453.71 \text{ kNm/m}$
 Resisting moment : $M_p = 10259.97 \text{ kNm/m}$
 Factor of safety = $4.18 > 1.40$
 Slope stability ACCEPTABLE

Gambar 2. 50 Lereng kondisi Normal Gempa (M. Amar., et. al., 2019)



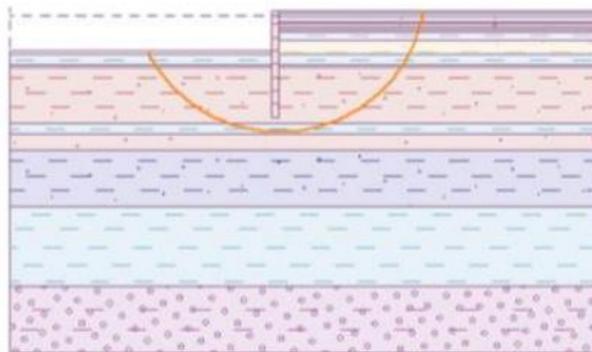
Slope stability verification (Bishop)
 Sum of active forces : $F_a = 188.81 \text{ kN/m}$
 Sum of passive forces : $F_p = 818.03 \text{ kN/m}$
 Sliding moment : $M_a = 2161.90 \text{ kNm/m}$
 Resisting moment : $M_p = 9366.47 \text{ kNm/m}$
 Factor of safety = $4.33 > 1.40$
 Slope stability ACCEPTABLE

Gambar 2. 51 Lereng kondisi Pasang Gempa (M. Amar., et. al., 2019)



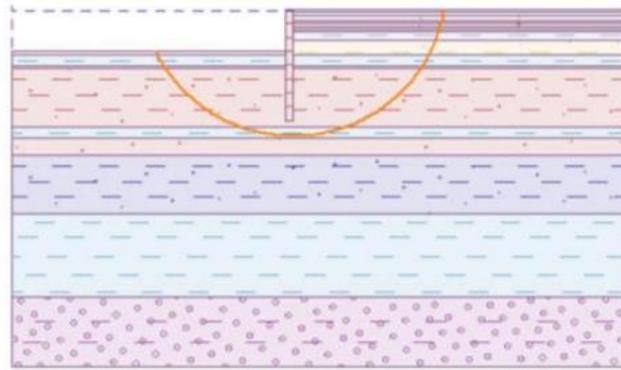
Slope stability verification (Bishop)
 Sum of active forces : $F_a = 215.21 \text{ kN/m}$
 Sum of passive forces : $F_p = 886.89 \text{ kN/m}$
 Sliding moment : $M_a = 2651.36 \text{ kNm/m}$
 Resisting moment : $M_p = 10926.45 \text{ kNm/m}$
 Factor of safety = $4.12 > 2.00$
 Slope stability ACCEPTABLE

Gambar 2. 52 Lereng kondisi Surut tanpa Gempa (M. Amar., et. al., 2019)



Slope stability verification (Bishop)
 Sum of active forces : $F_a = 180.95 \text{ kN/m}$
 Sum of passive forces : $F_p = 876.10 \text{ kN/m}$
 Sliding moment : $M_a = 1975.97 \text{ kNm/m}$
 Resisting moment : $M_p = 9567.05 \text{ kNm/m}$
 Factor of safety = $4.84 > 2.00$
 Slope stability ACCEPTABLE

Gambar 2. 53 Lereng kondisi Normal tanpa Gempa (M. Amar., et. al., 2019)



Slope stability verification (Bishop)
 Sum of active forces : $F_a = 173.52 \text{ kN/m}$
 Sum of passive forces : $F_p = 877.45 \text{ kN/m}$
 Sliding moment : $M_d = 1894.83 \text{ kNm/m}$
 Resisting moment : $M_r = 9581.74 \text{ kNm/m}$
 Factor of safety = 5.06 > 2.00
 Slope stability ACCEPTABLE

Gambar 2. 54 Lereng kondisi Pasang tanpa Gempa (M. Amar., et. al., 2019)

2.8.11 Studi Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah dan Sheet Pile Baja pada Lereng Jalan Tol Balikpapan-Samarinda STA. 2+850-3+050

Studi ini dilakukan oleh Danang Kurniawan et.al. pada tahun 2019 mengenai stabilitas sheet pile berbahan baja (SSP) dengan objek penelitian yakni lereng Jalan Tol Balikpapan-Samarinda STA. 2+850 – 3+050. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan metode FE atau *finite element* menggunakan aplikasi Plaxis 2 dimensi versi 8.6 dengan variabel gempa.

Hasil pembahasan pada penelitian ini adalah penggunaan sheet pile bahan baja paska konstruksi tanpa beban gempa didapat nilai SF lebih kecil (1,802) dan dengan beban gempa yakni sebesar 1,7964 daripada saat masa konstruksi tanpa beban gempa (2,469) dan dengan beban gempa sebesar 2,363.

2.8.12 Studi *Effect of Penetration Depth on The Behaviour of Walling Beam Sheet Pile Finite Element Method*

Pada studi yang dilakukan ini dilakukan oleh Amar Jalil Ibrahim University of Kufa pada tahun 2019 ini mengenai efek dari penetrasi sheet pile ditambah dengan balok penahan atau angkur menggunakan metode elemen hingga dengan panjang sheet pile yang berbeda-beda. Dalam studinya terbagi menjadi 4 kasus, diantaranya adalah sebagai berikut:

A. Case 1

Tumpukan lembaran sheet pile dengan panjang total 24 m tanpa penahan balok. *Displacement* pada kasus ini yaitu sebesar 760mm (gambar 2.54) terjadi pada jarak -3,489m dengan bending moment maksimum sebesar 683,65 MPa tertera pada gambar 2.54.

B. Case 2

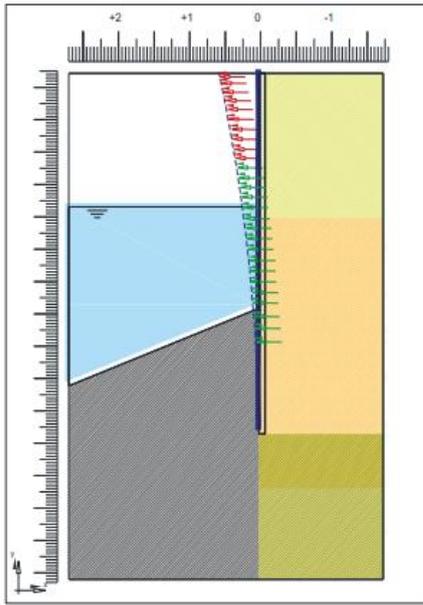
Kasus kedua meningkatkan kedalaman penetrasi tanpa penahan dengan panjang sheet pile 26 meter dan peningkatan kedalaman penetrasi sebesar 2 meter dari kasus 1. Diamati bahwa ketika kedalaman penetrasi meningkat, *displacement* menurun dengan jumlah kecil pada kedalaman -3,78 yaitu sebesar 634mm, dengan bending moment 591,02 MPa (gambar 2.55 dan 2.56)

C. Case 3

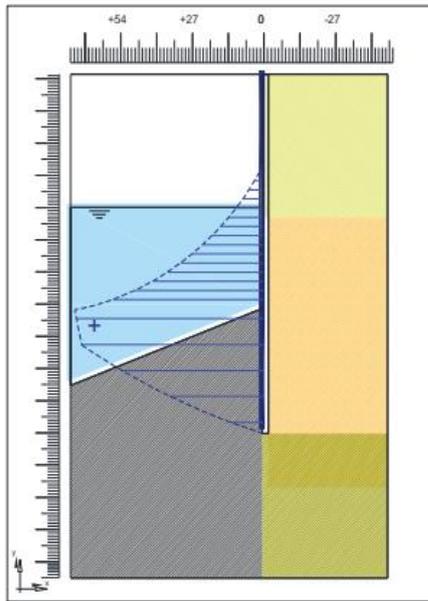
Kasus ketiga panjang sheet pile yang digunakan menjadi 28 meter ditambah penahan balok waler yang terletak pada kedalaman -3,5m dihubungkan dengan *tie rod*. Hasil dari ditambahnya balok waler sebagai angkur memberikan *displacement* yang kecil pada kedalaman -4,7m sebesar 76mm dengan bending moment maksimum sebesar 372,6 MPa. (gambar 2.57 dan Gambar 2.58)

D. Case 4

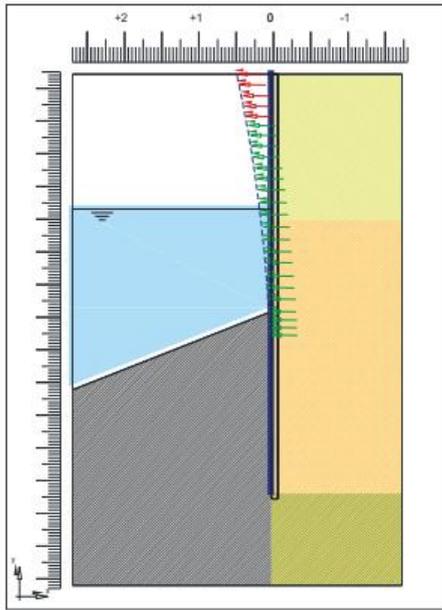
Pada kasus keempat panjang sheet pile menjadi 30 meter ditambah angkur balok waler yang dihubungkan dengan *tie rod* pada jarak tertentu masing-masing 3,3 m (arah z) dengan kedalaman balok terletak di -3,50m, -3,75m, -4,00m. Pada kedalaman -3,5m *displacement* maksimum sebesar 28mm dan terjadi peningkatan perpindahan pada kedalaman -3,75m (54mm). sedangkan, untuk bending moment maksimumnya adalah sebesar 237,67 MPa.



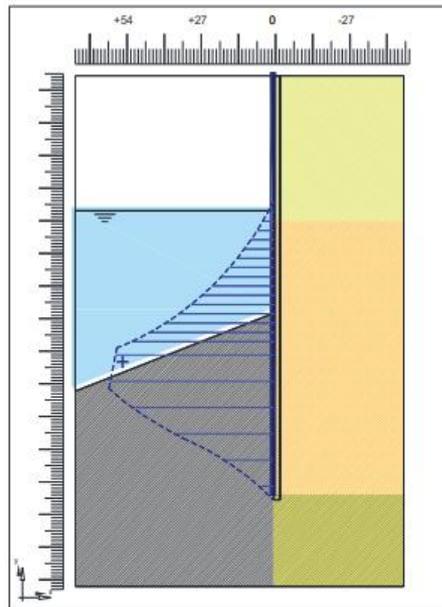
Gambar 2. 55 Displacement for Case No. 1 (Amar J., 2019)



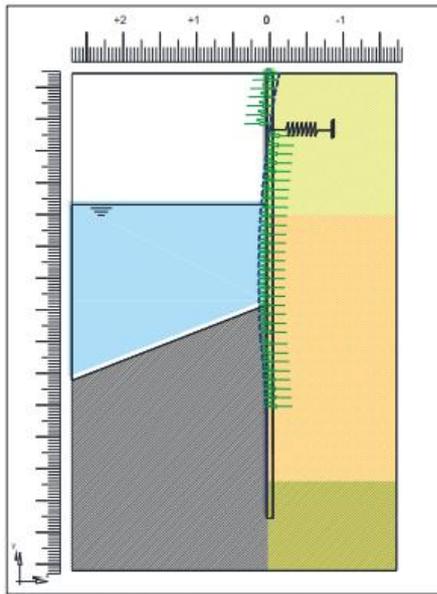
Gambar 2. 56 Bending Moment for Case 1 (Amar J., 2019)



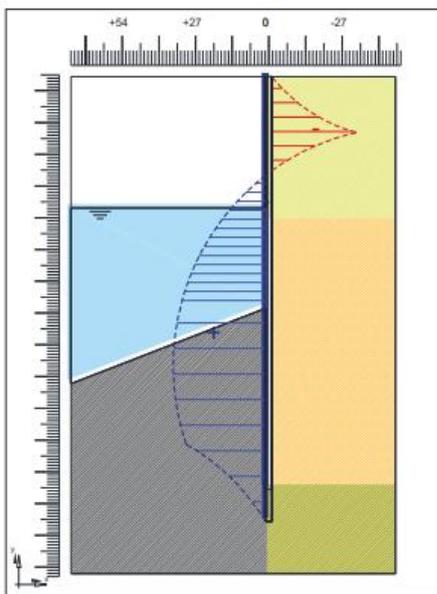
Gambar 2. 57 Displacement for Case 2 (Amar J., 2019)



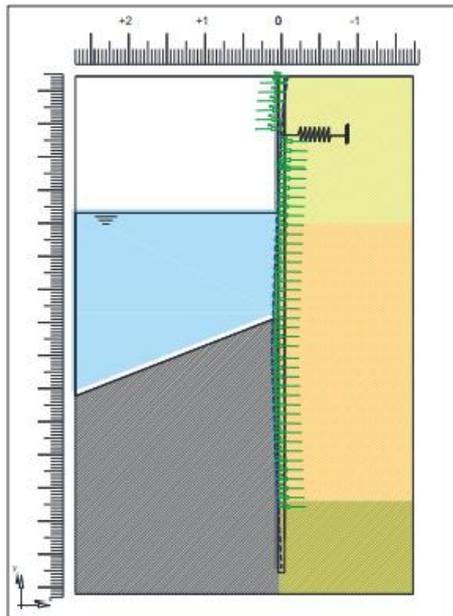
Gambar 2. 58 Bending Moment for Case 2 (Amar J., 2019)



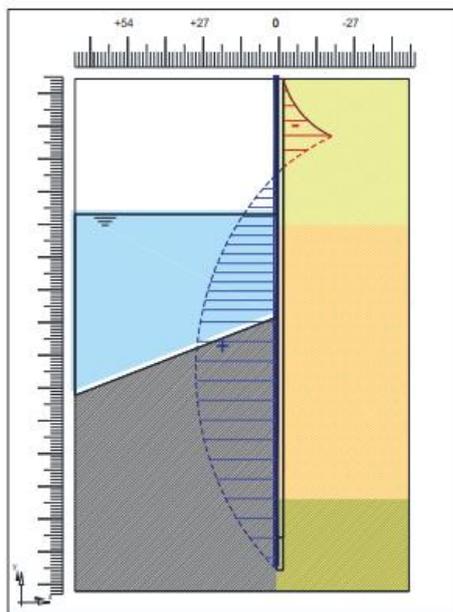
Gambar 2. 59 Displacement for Case 3 (Amar J., 2019)



Gambar 2. 60 Bending Moment for Case 3 (Amar J., 2019)



Gambar 2. 61 Displacement for Case 4 (Amar J., 2019)



Gambar 2. 62 Bending Moment for Case 4 (Amar J., 2019)

Penelitian dari studi-studi terdahulu secara garis besar menggambarkan penggunaan sheet pile di berbagai kondisi yang berbeda serta akan menghasilkan produk keluaran yang bervariasi. Hal tersebut dapat dituangkan ke dalam bentuk tabel seperti di bawah ini,

Tabel 2. 9 Studi-studi Terdahulu

No.	Tahun	Judul Penelitian	Objek Penelitian	Metode	Variabel	No.	Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Analysis	
										Penelitian Terdahulu	Penelitian Penulis
1	2013	Perilaku Galian Tanah pada Tanah Lunak dengan Perkuatan Sheet Pile pada Kondisi Drained dan Undrained Ditinjau dari Berbagai Pemodelan Tanah (Cepi H. K.)	Perilaku galian tanah berdasarkan bending moment, deformasi, dan penurunan tanah di belakang galian.	Elemen Batas dan Elemen Hingga	Metode pendekatan drained dan undrained serta pemodelan tanah	1	2013	Perilaku Galian Tanah pada Tanah Lunak dengan Perkuatan Sheet Pile pada Kondisi Drained dan Undrained Ditinjau dari Berbagai Pemodelan Tanah	Pendekatan total stress menghasilkan sheet pile yang lebih panjang daripada pendekatan efektif stress, deformasi, bending moment, dan penurunan belakang galian dengan model tanah MC metode A, B tidak jauh berbeda. Sedangkan, model HS menghasilkan hasil yang lebih besar dari model MC.	Penelitian ini hanya menggunakan Plaxis 2D dan diuji coba dengan berbagai pemodelan tanah seperti MC, SS, dan HS dan dilakukan analisis dengan dua metode pendekatan yakni drained dan undrained.	Penelitian ini digunakan aplikasi 3D dengan axis x, y, dan z, hanya dimodelkan dengan model tanah HS dan MC, serta hanya digunakan satu metode pendekatan yaitu kondisi drained atau effective stress (long-term condition).
2	2014	Reliabilitas Model Tanah Mohr-Coulomb dan Hardening Soil pada Kasus Kelongsoran Galian Long Storage di Tanah Lunak (Muhammad Riza, Fioliza A.)	Stabilitas galian menggunakan sheet pile terhadap perilaku model tanah	FEM	Model tanah	2	2014	Reliabilitas Model Tanah Mohr-Coulomb dan Hardening Soil pada Kasus Kelongsoran Galian Long Storage di Tanah Lunak (Muhammad Riza, Fioliza A.)	Model HS lebih reliabel dibandingkan dengan model MC-A dan MC-B dalam memodelkan besarnya deformasi, bending moment, serta penurunan di belakang galian.	Penelitian ini hanya dianalisis menggunakan FEM 2D dan model tanah yang digunakan adalah MC dan HS.	Penelitian ini menggunakan aplikasi 3D sebagai analisis dan model tanah yang digunakan hanya HS.
3	2014	Perencanaan Konstruksi Sheet Pile Wall Sebagai Alternatif Pengganti Gravity Wall (Isthi R. et. al)	Perbandingan stabilitas gravity wall dengan stabilitas sheet pile.	Metode Numerik	Dimensi penahan tanah	3	2014	Perencanaan Konstruksi Sheet Pile Wall Sebagai Alternatif Pengganti Gravity Wall	Hasil penelitian stabilitas gravity wall dan sheet pile wall menunjukkan bahwa sheet pile wall tipe W-325 A 1000, length 8 m lebih aman dari gravity wall dengan SF 2 (memenuhi syarat).	Penelitian ini menggunakan metode numerik dengan analisis dua perbandingan antara stabilitas gravity wall dan sheet pile wall tipe W-325.	Penelitian tidak membandingkan jenis penahan tanah, akan tetapi membandingkan penggunaan sisir sheet pile dengan variabel panjang sheet pile.
4	2015	Efficacy of Sheet Pile as a Wave Barrier for Railway Induced Ground Vibration (Dijkmans, et. al)	Efektivitas sheet pile sebagai alternatif reduksi getaran pada bangunan akibat kereta yang melaju.	Finite Difference(FD) dan RIVAS (Railway Induced Vibration Abatement Solutions)	Panjang sheet pile	4	2015	Efficacy of Sheet Pile as a Wave Barrier for Railway Induced Ground Vibration	Lembaran sheet pile yang digunakan dengan panjang 12m dan setiap tumpukan keempat diperpanjang menjadi 18m (diperpanjang 6m) efektif mengurangi getaran pada bangunan sekitar akibat kereta yang melintas.	Pemodelan awal dilakukan dengan aplikasi FLAC (FD) 3D dan analisis getaran yang diakibatkan kereta dilakukan menggunakan aplikasi RIVAS. Pada penelitian ini dititikberatkan pada hasil pengurangan getaran pada bangunan sekitar jalur lintasan kereta api.	Pemodelan yang dilakukan menggunakan aplikasi Plaxis (FE) 3D dengan bantuan aplikasi Stawal untuk memperhitungkan kebutuhan panjang sheet pile. Pada penelitian ini dititikberatkan pada panjang sheet pile yang digunakan terhadap kasus long storage.
5	2016	Analisis Angka Keamanan (FS) Lereng Sungai Cigembol Karawang dengan Perkuatan Sheet Pile (Etika C. U)	Lereng yang diperkuat dengan sheet pile.	Finite Element (FE)	Kedalaman penetrasi	5	2016	Analisis Angka Keamanan (FS) Lereng Sungai Cigembol Karawang dengan Perkuatan Sheet Pile	Kedalaman penetrasi sheet pile dan posisi peletakkannya (lapisan tanah ke-1 dan ke-2) memiliki pengaruh terhadap nilai SF paling besar (1,78). Hal tersebut memperlihatkan properti tanah terhadap stabilitas akan mempengaruhi.	Penelitian dilakukan menggunakan aplikasi Plaxis 2 dimensi versi 8.2 dan hanya memperhatikan hasil faktor keamanan tanpa deformasi ataupun bending moment.	Penelitian ini dilakukan menggunakan aplikasi Plaxis 3D versi 20. Serta keluaran yang dihasilkan tidak hanya berupa nilai keamanan (Safety Factor), akan tetapi memperhatikan hasil deformasi horizontal tiang dan bending moment.
6	2017	Penggunaan Sheet Pile Untuk Perkuatan Lereng di Desa Tambakmerang Kecamatan Girimarto Kabupaten Wonogiri (Kurniawan D. et. al)	Analisis stabilitas lereng menggunakan sheet pile.	Limit Equilibrium	Panjang sheet pile	6	2017	Penggunaan Sheet Pile Untuk Perkuatan Lereng di Desa Tambakmerang Kecamatan Girimarto Kabupaten Wonogiri	Stabilitas lereng di Kabupaten Wonogiri menunjukkan hasil SF paling panjang 1/2H bernilai 2,109.	Penelitian menggunakan metode numerik dengan variabel variasi ketinggian pada objek penelitian yakni lereng dalam penanganan longsor.	Penelitian dilakukan dengan variabel bebas panjang sheet pile dengan pola berbeda-beda pada objek penelitian kasus long storage Kota Jakarta.

No.	Tahun	Judul Penelitian	Objek Penelitian	Metode	Variabel	No.	Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Analysis	
										Penelitian Terdahulu	Penelitian Penulis
7	2017	3D FEM Analysis of an Anchored Sheet Pile Wall and Comparison with Monitoring Data (Dimos G., Alexandros V., et.al)	Deformasi Sheet Pile	FEM	Simulasi Analisis; FEM dan Monitoring Data	7	2017	3D FEM Analysis of an Anchored Sheet Pile Wall and Comparison with Monitoring Data	Penggunaan model elemen hingga 3D dapat menghitung secara memadai posisi dan besarnya deformasi lateral dinding sheet pile.	Perbandingan dilakukan menggunakan FEM dan Monitoring Data, analisis dilakukan menggunakan anchor.	Perbandingan dilakukan dengan FEM 2D dan 3D serta analisis dilakukan tanpa menggunakan anchor.
8	2018	Perencanaan Sheet Pile Jalan Tol JORR II Seksi Kunciran-Serpong STA. 40+000 Menggunakan Program PLAXIS (Ilham A. W.)	Stabilitas timbunan dengan perkuatan sheet pile.	Finite Element	Tipe sheet pile	8	2018	Perencanaan Sheet Pile Jalan Tol JORR II Seksi Kunciran-Serpong STA. 40+000 Menggunakan Program PLAXIS	Tanah timbunan pada proyek Tol JORR II memiliki nilai SF sebesar 6,679 dengan perkuatan sheet pile tipe W-325 efektif dalam mencegah terjadinya longsor.	Penelitian dilakukan pada kasus timbunan dengan menggunakan Plaxis 2D versi 8.2.	Penelitian dilakukan pada kasus long storage atau galian dengan menggunakan Plaxis 3D versi 20.
9	2018	3D Finite Element Analysis of Pile Responses to Adjacent Excavation in Soft Clay; Effect of Different Excavation Depth Systems Relative to a Floating Pile (Mukhtiar A.)	Bending moment pada floating pile	Finite Element	Model penggalian dan kedalaman pile	9	2018	3D Finite Element Analysis of Pile Responses to Adjacent Excavation in Soft Clay; Effect of Different Excavation Depth Systems Relative to a Floating Pile	Model tanah liat (kaolin soft clay) dengan kedalaman penggalian (He/height) terhadap (Lp/length pile) dengan 3 kasus (He/Lp 0,67, He/Lp 1, He/Lp 1,33 dihasilkan deformasi tiang terbesar kasus He/Lp 0,67 dengan bending moment 60% dari kapasitas BM tiang sebesar 800 kNm.	Penelitian dilakukan dengan single pile dengan tambahan penggunaan diaphragm wall. Pada model tanah soft clay (kaolin)	Penelitian digunakan sheet pile (bentuk lembaran) pada model tanah MC dan HS.
10	2019	Analisa Safety Factor Sheet Pile pada PLTMG Pontianak Peaker dengan Aplikasi Geo5 (M. Amar S.)	Analisis stabilitas sheet pile pada PLTMG (Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas).	Model Fellenius	Beban gempa	10	2019	Analisa Safety Factor Sheet Pile pada PLTMG Pontianak Peaker dengan Aplikasi Geo5	Analisa perhitungan stabilitas sheet pile proyek PLTMG kondisi tanpa gempa dengan SF 2 (aman) dan dengan kondisi gempa SF > 1,4 (aman)	Penelitian dilakukan dengan model Fellenius GEO5 dengan variabel yakni beban gempa.	Penelitian ini dilakukan menggunakan model finite element (FE) dengan variabel bebas panjang sheet pile dan variabel terikat yakni SF, deformasi horizontal, serta bending moment.
11	2019	Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah dan Sheet Pile Baja pada Lereng Jalan Tol Balikpapan-Samarinda STA. 2+850-3+050 (Danang K.)	Stabilitas lereng timbunan dengan perkuatan sheet pile baja.	Finite Element	Bahan sheet pile	11	2019	Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah dan Sheet Pile Baja pada Lereng Jalan Tol Balikpapan-Samarinda STA. 2+850-3+050	Nilai FS pada lereng timbunan asli jalan Tol Balikpapan-Samarinda menggunakan aplikasi plaxis 2D terjadi collapse (SF 0,35), setelah digunakan sheet pile baja (tanpa beban gempa) didapatkan hasil FS sebesar 2,49 dan dengan beban gempa menjadi sebesar 2,36 (aman).	Penelitian digunakan aplikasi Plaxis 2D versi 8.6 dengan SSP atau steel sheet pile dan dibandingkan dengan DPT jenis kantilever	Penelitian ini digunakan program 3 dimensi aplikasi model FE yakni Plaxis dan hanya berfokus pada stabilitas penggunaan sisiran sheet pile berbahan CCSP.
12	2019	Effect of Penetration Depth on The Behaviour of Walling Beam Sheet Pile using Finite Element Method (Amar J. I)	Kantilever sheet pile dan angkur sheet pile dengan kedalaman penetrasi berbeda.	Finite Element (ROBOT 2019 Auto Desk)	Kedalaman penetrasi dan angkur	12	2019	Effect of Penetration Depth on The Behaviour of Walling Beam Sheet Pile Finite Element Method	Kedalaman penetrasi sheet pile mempengaruhi displacement secara signifikan, akan tetapi bending moment tidak terlalu berpengaruh secara signifikan.	Penelitian ini menggunakan metode finite element akan tetapi dengan penggunaan aplikasi Autodesk ROBOT 2019 dan hanya memperhatikan BM serta deformasi tanpa FS.	Penelitian ini menggunakan metode FE dalam bentuk aplikasi Plaxis dengan 3 axis yakni x, y, z dan memperhatikan 3 (tiga) aspek keluaran yaitu, FS, BM, serta deformasi horizontal.