

STUDI PERBANDINGAN TEKANAN LATERAL DAN VERTIKAL DI ATAS TANAH SEDANG DAN TANAH SANGAT LUNAK

Nicodemus Santoso¹ dan Chaidir Anwar Makarim²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
nicodemus.325170033@stu.untar.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
chaidir259@gmail.com

Masuk: 19-01-2022, revisi: 10-02-1999, diterima untuk diterbitkan: 22-22-2022

ABSTRACT

In Indonesia has many distributions of very soft soil, but this case is rarely discussed and disputed. So many construction failures occur due to not being aware of the behavior from soil type and treating this very soft soil type as ordinary soft soil. These very soft soils tend to have 'thick water' properties like oil or slurry that can flow freely unlike medium soils. In this journal will analyzing the comparison of horizontal pressure on very soft soil and normal soil, by comparing different pressures and providing a load on the soil and considering the vertical stress of the evenly distributed load on the soil surface, then the lateral pressure on each type of soil is compared. Then analyze the lateral deformation of the soil and piles using a geotechnical-based program. Based on the results of the analysis of the calculation of lateral stress and lateral pressure. The results obtained from the analysis are the lateral stresses and lateral stresses from very soft soils are greater than those from medium soils. Furthermore, the analysis using a geotechnical-based program found that the deformation caused in the very soft soil layer was much larger than that in the medium soil layer.

Keywords: lateral soil pressure, vertical pressure, very soft soil, medium soil, deformation

ABSTRAK

Wilayah Indonesia memiliki banyak sekali sebaran tanah sangat lunak, namun kasus ini jarang sekali dibahas dan dipermasalahkan. Sehingga banyak terjadi kegagalan konstruksi akibat tidak menyadari perilaku dari jenis tanah ini dan memperlakukan jenis tanah sangat lunak ini sebagai tanah lunak biasa. Tanah sangat lunak ini cenderung memiliki sifat seperti 'air kental' bagaikan oli atau bubur yang dapat mengalir dengan bebas tidak seperti tanah sedang. Pada jurnal ini dilakukan analisis mengenai perbandingan tekanan horisontal terhadap tanah sangat lunak dan tanah normal, dengan membandingkan tekanan yang berbeda dan memberikan beban diatas tanah dan memperhitungkan tegangan vertikal dari beban merata diatas permukaan tanah, kemudian tekanan lateral pada masing-masing jenis tanah yang dibandingkan. Kemudian melakukan analisis deformasi lateral pada tanah dan tiang pancang menggunakan program berbasis geoteknik. Berdasarkan hasil analisis perhitungan tegangan lateral dan tekanan lateral. Hasil yang didapat dari analisis adalah tegangan lateral beserta tekanan lateral yang berasal dari tanah sangat lunak lebih besar dari pada yang berasal dari tanah sedang. Selanjutnya analisis dengan program berbasis geoteknik didapat deformasi yang diakibatkan pada lapisan tanah sangat lunak jauh lebih besar daripada pada lapisan tanah sedang.

Kata kunci: tekanan tanah lateral, tekanan vertikal, tanah sangat lunak, tanah sedang, deformasi

1. PENDAHULUAN

Dalam proyek konstruksi baik bangunan bertingkat tinggi, perumahan, jalan, jembatan, bendungan, dam infrastruktur lainnya yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas hidup masyarakat yang tiada batasnya pasti akan ada kendala dalam proses pembangunannya. Seperti kendala pada kekuatan tanah yang akan menjadi pondasi pembangunan tersebut. Kekuatan tanah dalam menopang beban bangunan dapat dilihat dari dua aspek utama, yaitu kapasitas dukung dan penurunan tanah. Penurunan bangunan sering terjadi apabila bangunan didirikan diatas lempung lunak. Tanah sangat lunak yang bersifat lumpur sangat lemah dan tidak mampu menopang beban bangunan yang berada di atas di atas permukaan tanah tersebut.

anah lunak adalah tanah yang mempunyai nilai kompresibilitas tinggi, umumnya terdiri dari lempung yang berumur Holosen (<10.000 tahun), secara alamiah tanah lunak terbentuk pada saat proses pengendapan di dataran alluvial seperti pantai, sungai, danau dan rawa (Wardoyo, et al., 2019). Sifat-sifat tanah lunak, antara lain memiliki konsistensi

lunak-sangat lunak, kadar air tinggi, gaya geser kecil, kemampuan besar, daya dukung rendah dan tingkat penurunan tinggi. Tanah lunak merupakan salah satu kendala geologi teknik yang dapat menimbulkan permasalahan dalam pembangunan infrastruktur dan penataan ruang. Tanah lunak sering kali menimbulkan permasalahan dalam konstruksi akibat rendahnya daya dukung sehingga berpotensi terjadi perosokan (*settlement*).

Penyebaran tanah lunak yang terdapat di Indonesia pada umumnya dapat ditemukan pada sekitar dataran pantai, antara lain: Dataran Pantai Timur Sumatera, Pantai Utara Jawa, Pantai Barat – Selatan Pulau Kalimantan dan Pantai Selatan Pulau Papua. Luasnya diperkirakan sekitar 20 juta hektar atau sekitar 10 persen dari luas total daratan Indonesia. Informasi kendala geologi teknik tanah lunak ini sangat penting diketahui oleh para pengambil kebijakan, perencana pengembangan wilayah, dan pelaksana pembangunan infrastruktur pada tingkat pusat maupun daerah.

Batasan masalah pada penelitian kali ini akan diterapkan sebagai berikut:

1. Kemiringan permukaan tanah diabaikan saat perhitungan beban untuk tekanan vertikal dan tekanan lateral.
2. Besaran beban vertikal yang diterima oleh tanah, besaran $N\text{-spt}$ tanah, ketebalan lapisan tanah, serta ketinggian muka air tanah berdasarkan usulan dosen pembimbing.
3. Gaya tekanan lateral yang diterima oleh tiang pancang akan diperhitungkan.
4. Parameter tanah yang digunakan sebagai data tanah di dapat dari korelasi terhadap besaran nilai $N\text{-spt}$ yang sudah di usulan oleh dosen pembimbing.
5. Gaya yang diterima tiang pancang adalah gaya vertikal akibat beban merata diatas tanah dan gaya horisontal.
6. Kedalaman tiang pancang yang tertanam yaitu 14 m dengan diameter tiang pancang sebesar 60 cm.
7. Permisalan lebar pemodelan tanah adalah 20 m.

Berdasarkan batasan masalah yang sudah ditentukan, maka rumusan masalah bagi penelitian ini meliputi:

1. Berapa besar perbandingan tekanan lateral dari dari masing-masing kedua jenis tanah dengan diberikan beban merata
2. Berapa besar perbandingan deformasi pada tiang pancang untuk kedua jenis lapisan tanah yang diberikan beban merata
3. Berapa besar bending momen yang dialami oleh tiang pancang untuk kedua jenis tanah yang diberikan beban merata dan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah ditentukan, maka maksud dan tujuan dari penelitian ini meliputi:

1. Mencari tahu besar perbandingan tekanan lateral dari dari masing-masing kedua jenis tanah dengan diberikan beban merata
2. Mencari tahu besar perbandingan deformasi pada tiang pancang untuk kedua jenis lapisan tanah yang diberikan beban merata
3. Mencari besar bending momen yang dialami oleh tiang pancang untuk kedua jenis tanah yang diberikan beban merata

Tanah Sangat Lunak

Jenis tanah sangat lunak di dalam bidang pembangunan konstruksi seringkali menjadi permasalahan serius di lapangan. Hal ini disebabkan oleh rendahnya daya dukung yang terdapat pada tanah tersebut. Daya dukung yang rendah dapat menyebabkan biaya konstruksi yang semakin mahal karena perlu dilakukan perbaikan tanah atau memperdalam pondasi yang digunakan, hingga kerusakan konstruksi seperti struktur yang dibuat tidak mampu berdiri secara stabil dan bisa roboh apabila tidak diperhitungkan secara matang.

Tanah sangat lunak merupakan tanah yang kohesif dan terdiri dari sebagian besar butir-butir yang sangat kecil seperti lempung atau lanau. Sifat tanah ini memiliki gaya gesernya yang kecil, kemampatannya yang besar, koefisien permeabilitas yang kecil dan mempunyai daya dukung rendah jika dibandingkan dengan tanah lempung lainnya (Siska & Yakin, 2016).

Tidak hanya permasalahan pada daya dukung saja. Menurut Okabe jenis tanah sangat lunak ini sangat sensitif dan sangat lunak, yang dimana tidak dapat dimasukkan kedalam kategori tanah pada umumnya. Jenis tanah ini lebih condong kedalam kategori ‘air kental’ seperti oli yang dimana tanah ini juga memiliki ciri fisik seperti bubur, dengan kadar air yang tergolong tinggi dan dapat mengalir dengan mudah sehingga tekanan lateral yang diberikan pada tanah ini cukup tinggi. Dan seperti bubur, jenis tanah ini dapat mengeras pada suhu dingin dan apa bila suhu meningkat maka tanah menjadi sangat lunak (Makarim & Putra, 2020).

Apabila ditinjau dari segi daya dukung. Tanah sangat lunak ini memiliki nilai $N\text{-spt}$ yang sangat kecil, yaitu paling kecil 2 ($2 > N\text{-spt}$) (Makarim & Putra, 2020). Sangat kecil apabila dibandingkan dengan tanah lempung lunak yang dengan besaran nilai $N\text{-spt}$ sekitar 4 ($4 > N\text{-spt}$) (Terzaghi & Peck, 1967). Namun apabila jenis tanah sangat lunak ini

lihat di lapangan hampir tidak bisa dibedakan dengan tanah lempung biasa. Karena tersktur tanah yg lembut seperti jenis tanah lempung pada umumnya dan dapat dengan mudah diremas oleh jari tangan dengan mudah.

Lalu menurut kutipan Okabe (1926), Makarim & Putra (2020), jenis tanah sangat lunak ini juga ikut serta dalam memberikan tambahan tekanan lateral aktif yang lebih besar, sekitar 2 kali lipat dari besaran tekanan lateral tanah sedang biasa. Yang membuat tekanan lateral ini besar diakibatkan oleh jenis tanah yang seperti oli ini yang dapat mengalir dengan bebas, tidak seperti tanah yang tidak dapat mengalir bebas. Sehingga safety factor yang digunakan dalam perancangan desain bangunan diatas permukaan tanah sangat lunak ini harus diperbesar 2 kali lipat dari pada dibangun di atas tanah sedang pada umumnya.

Tegangan Vertikal Tanah

Tegangan vertikal pada tanah merupakan tegangan yang diakibatkan oleh objek yang berada di atas permukaan tanah, seperti bangunan tinggi maupun sedang dan infrastruktur seperti jembatan, jalan raya, bendungan, dan lain seterusnya yang dimana arah gaya yang diberikan oleh beban tersebut sejajar dengan arah gaya grafitasi (Das & Sobhan, 2014).

Tegangan vertikal dapat dibagi menjadi 2 jenis berdasarkan jenis bebannya yaitu:

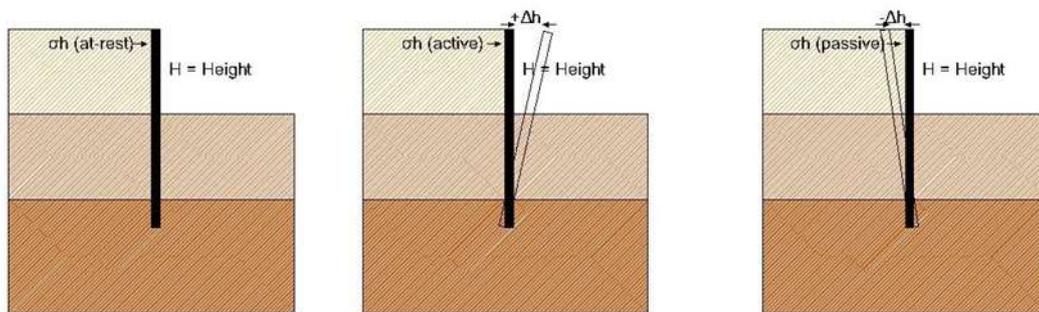
1. Tegangan akibat beban titik atau terpusat
2. Tegangan akibat beban merata

Tekanan Lateral

Tekanan lateral pada tanah merupakan gaya yang diakibatkan oleh dorongan tanah dari belakang struktur penahan tanah, yang dipengaruhi oleh perubahan letak (*displacement*) dari dinding penahan dan sifat sifat tanah. Tekanan lateral dapat dibedakan menjadi 3 keadaan yaitu:

1. Tekanan lateral tanah pada keadaan diam
2. Tekanan lateral tanah pada keadaan aktif
3. Tekanan lateral tanah pada keadaan pasif

Akibat *displacement* dari tekanan lateral tanah pada keadaan diam, aktif, dan pasif dapat terlihat pada Gambar 1 (Hardiyatmo, 2006).



Gambar 1. *Displacement* Akibat Tekanan Lateral Diam, Aktif, Pasif
(Hardiyatmo, 2006)

Persamaan matematis yang dapat digunakan untuk mencari besar tekanan lateral tanah aktif yang diberikan tanah terhadap dinding penahan tanah adalah sebagai berikut:

$$P_a = 0,5H^2\gamma K_a \quad (1)$$

Dengan: P_a = tekanan lateral tanah aktif, H = tinggi penahan tanah, γ = berat jenis tanah, K_a = koefisien tekanan lateral tanah aktif.

$$P_a = 0,5\gamma H^2 K_a - 2cH\sqrt{K_a} \quad (2)$$

Dengan: c = kohesi tanah.

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \quad (3)$$

Dengan: ϕ = sudut geser dalam tanah.

Sedangkan persamaan matematis yang dapat digunakan untuk mencari besar tekanan lateral tanah pasif yang diberikan tanah terhadap dinding penahan tanah adalah sebagai berikut:

$$P_p = 0,5H^2\gamma K_p \quad (4)$$

Dengan: P_p = tekanan lateral tanah pasif, K_p = koefisien tekanan lateral tanah pasif.

$$P_p = 0,5\gamma H^2 K_p - 2cH\sqrt{K_p} \quad (5)$$

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \quad (6)$$

Penurunan Tanah

Salah satu permasalahan utama dalam pembangunan konstruksi yang berada di atas tanah sangat lunak adalah kemungkinan terjadinya penurunan tanah yang sangat besar. Penurunan tersebut dapat disebabkan oleh penurunan konsolidasi pada tanah yang dibebani, maka sama dengan material lain, tanah akan mengalami penurunan apabila bangunan yang dibebani oleh tanah melebihi daya dukung yang dapat diterima oleh tanah. Dalam ilmu Geoteknik, dikenal tiga jenis penurunan tanah yaitu:

1. Penurunan Seketika (*Immediate Settlement*)
2. Penurunan Konsolidasi/Primer (*Consolidation Settlement*)
3. Penurunan Rangkak/Sekunder (*Creep/Secondary Settlement*)

Program Berbasis Geoteknik

Program berbasis geoteknik 2D dan 3D merupakan aplikasi perangkat lunak elemen hingga yang dapat digunakan untuk mempermudah proses pekerjaan sipil di bidang geoteknik. Gaya dan perpindahan tanah digambarkan dengan sistem gabungan persamaan diferensial (parsial). Dalam program model 2D hasil yang didapatkan berupa regangan bidang atau sumbu simetris. Berbagai model dan material dapat digunakan untuk menggambarkan perilaku tanah. Struktur dapat dibuat dengan beberapa elemen titik, garis, dan pelat. Untuk memodelkan tiang pancang dalam 2D elemen pelat, jangkar node-node atau balok tertanam (baris) dapat digunakan. Pile to Pile Cap yang digambarkan dalam program 2D karena perpindahan tanah pada model 3D rata-rata sama dengan perpindahan tanah pada model 2D.

Terdapat lima jenis mode didalam program program berbasis geoteknik yang digunakan untuk memisahkan model perencanaan yang berbeda. Berikut adalah kelima mode tersebut:

- *Soil*
Pada fase ini, bentuk geografis dari tanah yang akan dimodelkan dilakukan dengan cara memasukan data-data parameter tanah yang diperlukan.
- *Structures*
Komponen-komponen dari struktur yang yang diperlukan akan dimodelkan dengan cara memasukan data stuktur seperti kedalaman tiang, diameter tiang, dan juga mendesain bentuk dasar tiang yang digunakan pada analisis perhitungan.
- *Mesh*
Pemodelan geometri yang sudah dimodelkan sebelumnya diubah, kemudian hasilnya akan berubah menjadi bentuk pemodelan elemen hingga.
- *Water Levels*
Letak kedalaman permukaan muka air tanah pada wilayah tanah yang akan dianalisis perlu dimodelkan dan ditentukan.
- *Staged Construction*
Penggambanan tiang pada suatu tanah dimasukan kedalaman yang sudah ditentukan terlebih dahulu kemudian barulah dapat dilakukan analisis perhitungan.

Kemudian untuk memasukan data-data tanah kedalam program, maka diperlukan data parameter tanah, sehingga program tersebut dapat memperhitungkan sesuai kondisi tanah yang akan dianalisis.

Dinding Penahan Tanah

Retaining walls atau dinding penahan tanah merupakan salah satu bentuk konstruksi geoteknik yang bertujuan untuk menahan tanah agar tidak terjadi kelongsoran. Pada kebanyakan kasus, dinding ini bisa ditemukan di daerah dataran tinggi. Namun ada beberapa yang menggunakannya pada daerah pinggir pantai, sungai, skyroad dan *basement* gedung (Prospeku.com, 2021).

Beberapa fungsi utama dari dinding penahan tanah, yaitu:

1. *Active Lateral Force Soil* yaitu fungsi mencegah keruntuhan lateral tanah, misalnya longsor atau landslide
2. *Lateral Force Water* yaitu fungsi mencegah keruntuhan tanah lateral yang diakibatkan oleh tekanan air berlebih
3. *Flow net cut off* yaitu fungsi memotong aliran air pada tanah

Disamping itu, ada juga beberapa kegunaan lain dari penahan tanah sesuai lokasi pembuatannya, seperti:

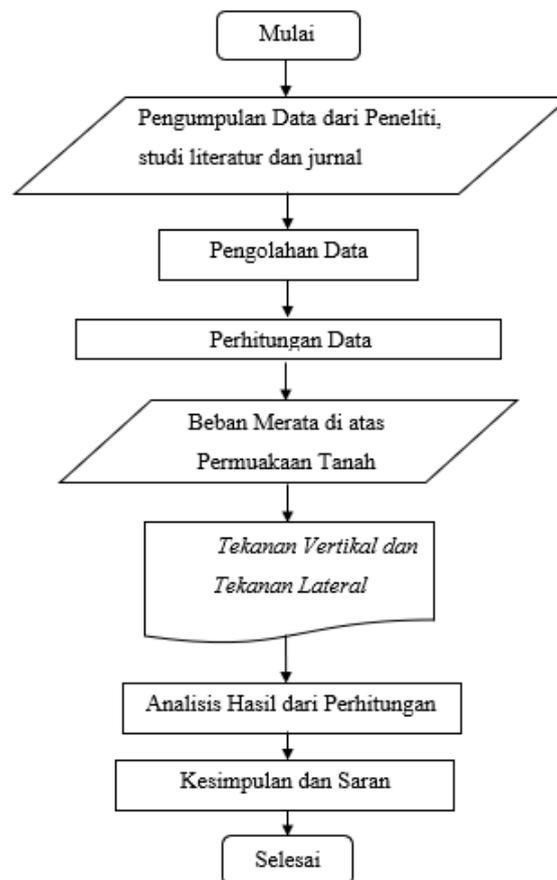
- *Flood walls* atau desain dinding penopang tanah yang ada di pinggir sungai berguna untuk mengurangi dan menahan banjir
- Pada konstruksi jalan raya yang bertujuan untuk mendapat perbedaan elevasi
- Sebagai penopang yang membatasi pembangunan jalan raya atau kereta api di daerah lereng
- Menyangga tanah di sekitar bangunan atau gedung

2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa tahapan penelitian yang dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Tahapan Pertama adalah mencari studi literatur dan teori yang dapat mendukung penelitian.
2. Tahapan Kedua adalah melakukan pencarian terhadap data tanah dan referensi terhadap asumsi yang akan digunakan.
3. Tahapan Ketiga adalah mengolah data dengan melakukan korelasi terhadap data tanah dengan rumus yang ditemukan pada tahap pertama
4. Tahapan Keempat adalah menganalisis besar tekanan tanah yang terjadi pada setiap lapisan tanah.
5. Tahapan Kelima adalah menganalisis deformasi dan momen tekuk yang dialami oleh tiang pancang menggunakan program berbasis geoteknik.
6. Tahapan Keenam adalah melakukan perbandingan besar tekanan tanah, deformasi tiang pancang, dan momen tekuk tiang pancang dan diambil kesimpulan.

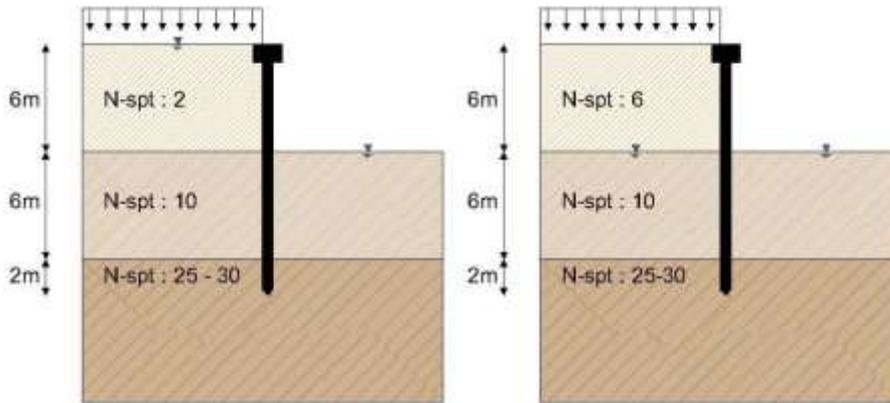
Berikut diagram alir penelitian dalam bentuk *flowchart* dapat terlihat pada Gambar 2 berikut ini:



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini menggunakan data tanah dan bentuk penampang yang sudah diusulkan oleh dosen pembimbing Prof. Ir. Chaidir Anwar Makarim, MSE., Ph.D. berikut 2 bentuk penampang tanah yang digunakan pada Gambar 3 berikut ini:



Gambar 3 Bentuk Permukaan Tanah

Data tanah yang digunakan pada penelitian kali ini menggunakan besaran N-spt yang sudah diberikan, kemudian besaran N-spt tersebut dikorelasi menggunakan beberapa persamaan dan tabel sehingga didapat data tanah yang dapat digunakan sesuai pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1 Parameter Tanah

Konsistensi	Parameter Tanah			
	Sangat Lunak	Sedang	Keras	Sangat Keras
N-spt	2	6	10	30
γ (kN/m ³)	12,3	13	13,6429	17
γ_{sat} (kN/m ³)	16	18,5	19,8571	22
ϕ' (°)	0	24,4868	0	0
Eu (kN/m ²)	3000	9000	15000	45000
Su (kPa)	12	36	60	180
C' (kPa)	2,4	7,2	12	36

Beban yang digunakan merupakan beban merata selebar 10-meter untuk menambahkan efek tegangan vertikal yang diterima oleh tanah. Setelah melengkapi data tanah yang rumpang, selanjutnya melakukan perhitungan besar tekanan lateral pada kedua jenis lapisan tanah yang dialami oleh tiang pancang pada Tabel 2:

Tabel 2 Tekanan Lateral Tanah

Bagian Lapisan	Tanah Sangat Lunak		Tanah Sedang	
	σ_a (kN/m ²)	σ_p (kN/m ²)	σ_a (kN/m ²)	σ_p (kN/m ²)
σ_{a1}	9,8067	-	4,0590	-
σ_{a2}	96	-	23,0200	-
σ_{a3}	105,8067	-	27,0789	-
σ_{a4}	95,1426	95,1426	95,1426	95,1426
σ_{a5}	200,9493	95,1426	122,2215	95,1426
σ_{a6}	-28	-28	-28	-28

Untuk tanah tersaturasi maksimum besar koefisien tekanan lateral aktif yang digunakan adalah 1 dikarenakan kondisi tanah yang tersaturasi memiliki sudut geser tanah yang sangat kecil maka dianggap 0 (Gultom, 2014), lapisan tanah sangat lunak tidak mengalami *tension crack* karena tanah sangat lunak ini merupakan air kental yang dapat mengalir bagaikan bubur (Makarim & Putra, 2020).

Perhitungan koefisien tanah sedang yang tidak tersaturasi:

$$K_{a1} = \frac{1 - \sin(\emptyset)}{1 + \sin(\emptyset)} = \frac{1 - \sin(24,4868)}{1 + \sin(24,4868)} = 0,4139$$

Berikut contoh perhitungan tekanan lateral untuk tegangan lateral tanah aktif lapisan pertama tanah sangat lunak:

Tekanan akibat beban merata pada lapisan 1 tanah sangat lunak:

$$\sigma_{a1} = qxK_{a1} = 9,8067x1 = 9,8067 \text{ kN/m}^2$$

Tekanan tanah sangat lunak lapisan 1:

$$\sigma_{a2} = (\gamma_{sat}xH_1)xK_{a1}$$

$$\sigma_{a2} = (16x6)x1 = 96 \text{ kN/m}^2$$

Tekanan beban merata dan tanah lapisan 1 terhadap tanah lapisan 2:

$$\sigma_{a3} = (\gamma_{sat}xH_1 + q)xK_{a2}$$

$$\sigma_{a3} = (16x6 + 9,8067)x1 = 105,8067 \text{ kN/m}^2$$

Tekanan tanah keras lapisan 2:

$$\sigma_{a4} = (\gamma_{sat}xH_2)xK_{a2} - 2xC'x\sqrt{K_{a2}}$$

$$\sigma_{a4} = (19,8571x6)x1 - 2x12x\sqrt{1} = 95,1426 \text{ kN/m}^2$$

Tekanan beban merata, tanah lapisan 1 dan tanah lapisan 2 terhadap tanah lapisan 3:

$$\sigma_{a5} = \sigma_{a3} + \sigma_{a4}$$

$$\sigma_{a5} = 105,8067 + 95,1426$$

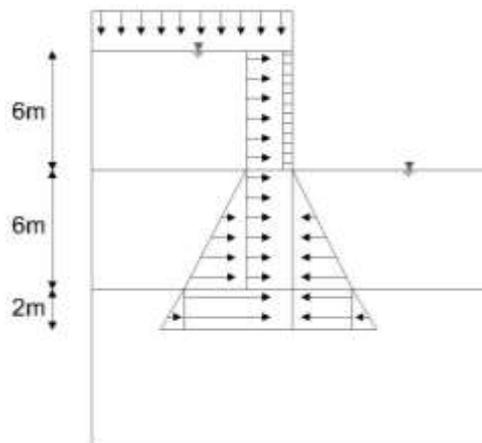
$$\sigma_{a5} = 200,9493 \text{ kN/m}^2$$

Tekanan tanah sangat keras lapisan 3:

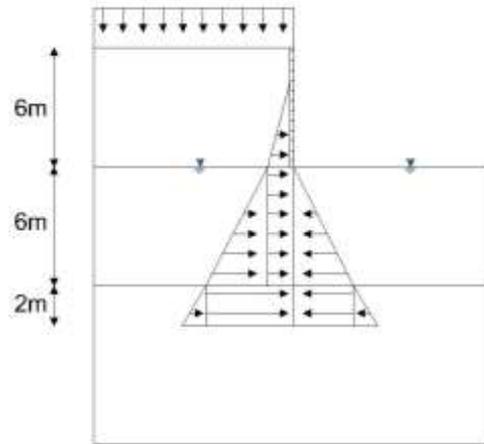
$$\sigma_{a6} = (\gamma_{sat}xH_3)xK_{a3} - 2xC'x\sqrt{K_{a3}}$$

$$\sigma_{a6} = (22x2)x1 - 2x36x\sqrt{1} = -28 \text{ kN/m}^2$$

Berikut grafik tekanan lateral tanah yang diterima oleh tiang pancang pada Gambar 4 dan Gambar 5:



Gambar 4 Grafik Tekanan Lateral Tanah Sangat Lunak



Gambar 5 Grafik Tekanan Lateral Tanah Sedang

Setelah selesai melakukan perhitungan tekanan lateral yang dialami oleh tiang pancang, Langkah selanjutnya adalah mencari besaran gaya tekanan lateral yang diberikan oleh tanah. Besaran gaya tekanan lateral tanah yang diterima oleh penahan tanah pada Tabel 3 berikut ini:

Tabel 3 Gaya Tekanan Lateral Tanah

Bagian Lapisan	Tanah Sangat Lunak		Tanah Sedang	
	P_a (kN/m)	P_p (kN/m)	P_a (kN/m)	P_p (kN/m)
P1	58,8402	-	24,3540	-
P2	576	-	49,2420	-
P3	634,8402	-	162,4737	-
P4	285,4278	285,4278	285,4278	285,4278
P5	401,8986	190,2852	244,4431	190,2852
P6	-28	-28	-28	-28

Berikut contoh perhitungan gaya tekanan lateral tanah pada tekanan lateral tanah aktif lapisan pertama tanah sangat lunak:

Gaya tekanan akibat beban merata pada lapisan 1 tanah sangat lunak:

$$P_{a1} = \sigma_{a1} x H_1 = 9,8067 x 6 = 58,8402 \text{ kN/m}$$

Gaya tekanan tanah sangat lunak lapisan 1:

$$P_{a2} = \sigma_{a2} x H_1$$

$$P_{a2} = 96 x 6 = 576 \text{ kN/m}$$

Gaya tekanan beban merata dan tanah lapisan 1 terhadap tanah lapisan 2:

$$P_{a3} = \sigma_{a3} x H_2$$

$$P_{a3} = 105,8067 x 6 = 634,8402 \text{ kN/m}$$

Gaya tekanan tanah keras lapisan 2:

$$P_{a4} = \sigma_{a4} x H_2 x \frac{1}{2}$$

$$P_{a4} = 95,1426 x 6 x \frac{1}{2} = 285,4278 \text{ kN/m}$$

Gaya tekanan beban merata, tanah lapisan 1 dan tanah lapisan 2 terhadap tanah lapisan 3:

$$P_{a5} = \sigma_{a5} x H_3$$

$$P_{a5} = 200,9493 x 2 = 401,8986 \text{ kN/m}$$

Gaya tekanan tanah sangat keras lapisan 3:

$$P_{a6} = \sigma_{a6} x H_3 x \frac{1}{2}$$

$$P_{a6} = -28 x 2 x \frac{1}{2} = -28 \text{ kN/m}$$

Karena terdapat gaya tekanan lateral yang diberikan oleh tanah maka tiang pancang akan menerima gaya momen pada tiang pancang. Berikut perhitungan momen yang diakibatkan oleh tekanan lateral terhadap tiang pancang:

Jarak x terhadap titik terbawah tiang pancang:

Akibat beban merata dan tanah lapisan 1:

$$\frac{6}{2} + 8 = 11 \text{ m}$$

Tegangan beban merata dan tanah lapisan 1 terhadap tanah lapisan 2:

$$\frac{6}{2} + 2 = 5 \text{ m}$$

Tanah lapisan 2:

$$\frac{6}{3} + 2 = 4 \text{ m}$$

Tegangan beban merata, tanah lapisan 1 dan tanah lapisan 2 terhadap tanah lapisan 3:

$$\frac{2}{2} = 1 \text{ m}$$

Tanah Lapisan 3:

$$\frac{2}{3} = 0,6667 \text{ m}$$

Setelah mendapat jarak x terhadap dasar tiang pancang, jarak x tersebut dapat dikalikan dengan besar tekanan lateral tanah aktif. Berikut contoh perhitungan momen akibat tekanan lateral tanah aktif untuk lapisan tanah pertama tanah sangat lunak:

Momen akibat beban merata pada lapisan pertama tanah sangat lunak:

$$M_1 = P_{a1} x 11 = 58,8402 x 11 = 647,2422 \text{ kNm/m}$$

Momen tanah sangat lunak lapisan 1:

$$M_2 = P_{a2} x 11 = 576 x 11 = 6336 \text{ kNm/m}$$

Momen akibat beban merata dan tanah lapisan 1 terhadap tanah lapisan 2:

$$M_3 = P_{a3} x 5 = 634,8402 x 11 = 3174,201 \text{ kNm/m}$$

Momen tanah keras lapisan 2:

$$M_4 = P_{a4} x 4 = 285,4278 x 4 = 1141,711 \text{ kNm/m}$$

Momen akibat beban merata, tanah lapisan 1 dan tanah lapisan 2 terhadap tanah lapisan 3:

$$M_5 = P_{a5} x 1 = 401,8986 x 1 = 401,8986 \text{ kNm/m}$$

Momen tanah sangat keras lapisan 3:

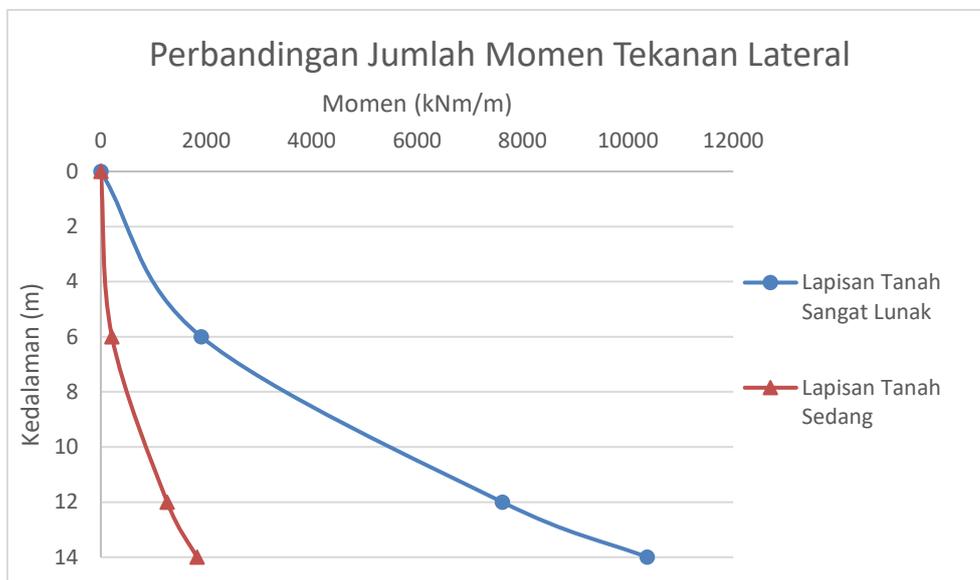
$$M_6 = P_{a6} x 0,6667 = -28 x 0,6667 = -18,6676 \text{ kNm/m}$$

Besar momen tekanan lateral tanah yang dialami tiang pancang setelah dilakukan analisis dapat terlihat pada Tabel 4:

Tabel 4 Momen Tiang Pancang

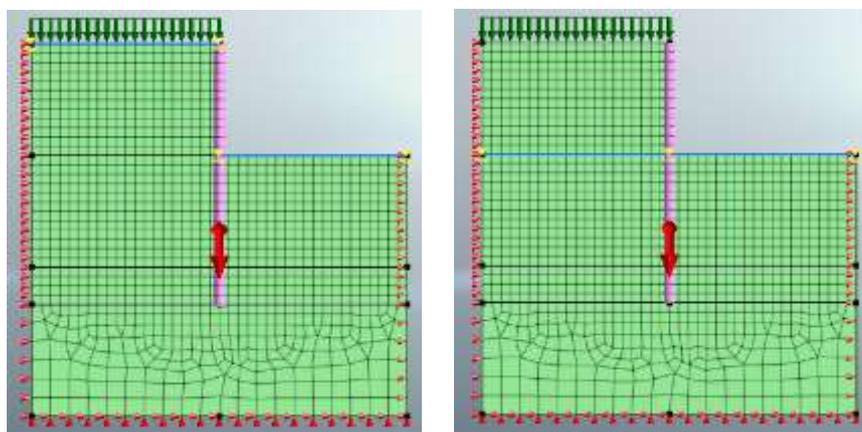
Bagian Lapisan	Tanah Sangat Lunak		Tanah Sedang	
	P_a (kNm/m)	P_p (kNm/m)	P_a (kNm/m)	P_p (kNm/m)
M1	647,2422	-	267,8935	-
M2	6336	-	492,4198	-
M3	3174,201	-	812,3683	-
M4	1141,7112	1141,7112	1141,7112	1141,7112
M5	401,8986	190,2852	244,4431	190,2852
M6	-18,6676	-18,6676	-18,6676	-18,6676

Berikut grafik momen yang diakibatkan oleh gaya tekanan lateral tanah yang dialami oleh tiang pancang pada Gambar 6:



Gambar 6 Grafik Momen Gaya Tekanan Lateral Tanah

Setelah melakukan analisis perhitungan tekanan lateral tanah dan gaya tekanan yang diberikan oleh tanah kepada tiang pancang. Langkah berikutnya melakukan analisis besar deformasi yang dialami oleh tiang pancang menggunakan program berbasis geoteknik bernama Midas GTS NX. Berikut tampilan midas yang digunakan analisis pada Gambar 7 sebelah kiri untuk lapisan tanah sangat lunak dan sebelah kanan untuk lapisan tanah sedang:

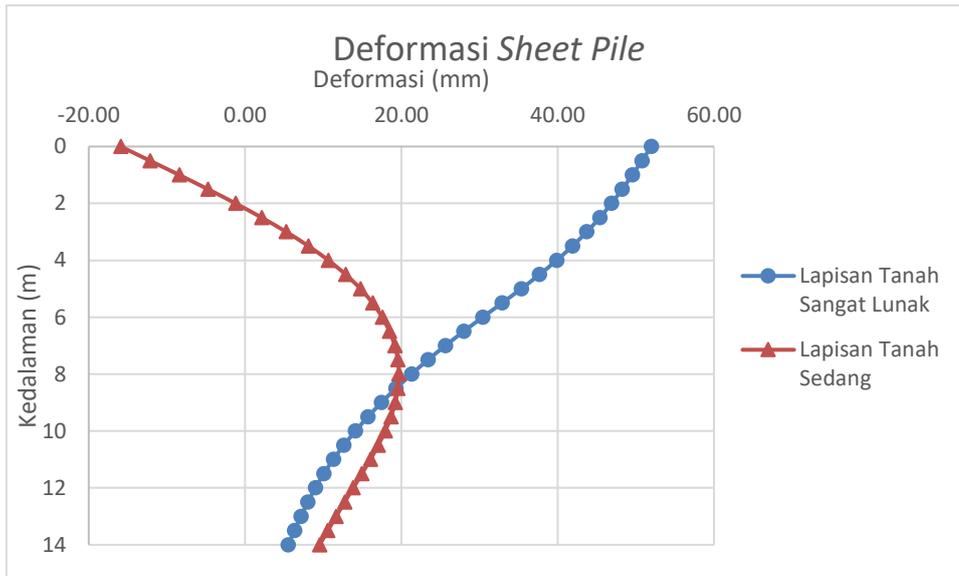


Gambar 7 Tampilan Tanah Sangat Lunak dan Tanah Sedang

Kemudian setelah dilakukan semua analisis didapat tabel dan grafik deformasi yang dialami oleh tiang pancang. Berikut tabel dan grafik deformasi tiang pancang pada Tabel 5 dan Gambar 8:

Tabel 5 Tabel Deformasi Lateral

Kedalaman (m)	Deformasi Lateral (m)	
	Tanah Sangat Lunak	Tanah Sedang
0	51,99	-15,92
0,5	50,78	-12,15
1	49,54	-8,41
1,5	48,26	-4,75
2	46,88	-1,21
2,5	45,38	2,14
3	43,72	5,27
3,5	41,89	8,12
4	39,87	10,67
4,5	37,68	12,89
5	35,34	14,77
5,5	32,89	16,32
6	30,40	17,56
6,5	27,97	18,50
7	25,63	19,16
7,5	23,40	19,55
8	21,30	19,68
8,5	19,32	19,57
9	17,46	19,22
9,5	15,73	18,66
10	14,12	17,92
10,5	12,64	17,04
11	11,30	16,03
11,5	10,08	14,95
12	9,00	13,84
12,5	8,03	12,74
13	7,15	11,66
13,5	6,32	10,59
14	5,50	9,54



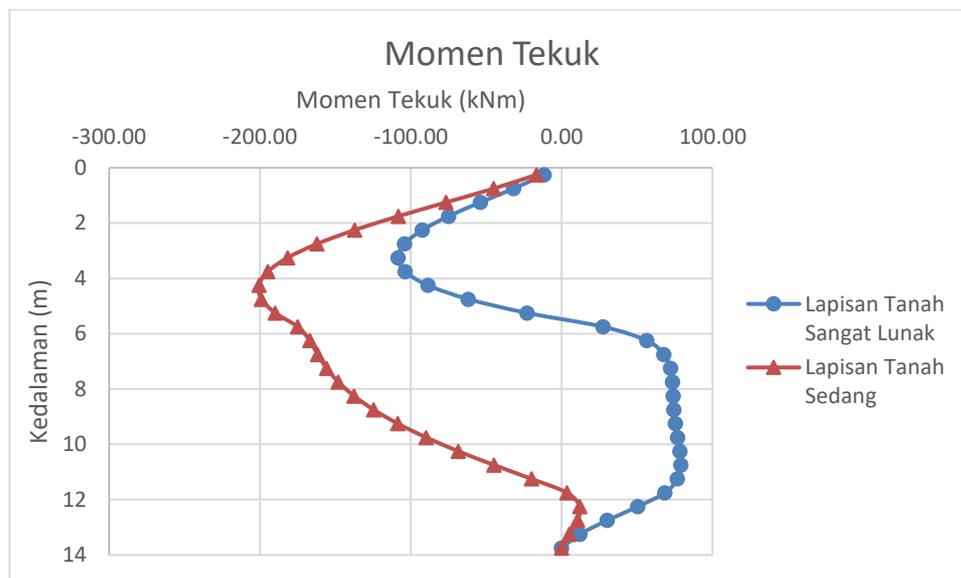
Gambar 8 Deformasi Lateral

Kemudian berikutnya dilakukan analisis bending momen yang dialami oleh tiang pancang menggunakan program berbasis geoteknik. Berikut hasil yang diperoleh pada Tabel 6 dan Gambar 9:

Tabel 6 Momen Tekuk Tiang Pancang

Kedalaman (m)	Bending Momen (kNm)	
	Tanah Sangat Lunak	Tanah Sedang
0.25	-11,60	-16,58
0.75	-31,68	-44,95
1.25	-53,85	-76,62
1.75	-74,90	-108,13
2.25	-92,34	-137,16
2.75	-104,12	-162,06
3.25	-108,43	-181,56
3.75	-103,70	-194,64
4.25	-88,52	-200,58
4.75	-61,79	-198,96
5.25	-22,81	-189,83
5.75	27,58	-174,92
6.25	56,56	-166,88
6.75	67,81	-161,72
7.25	72,25	-155,75
7.75	73,57	-147,92
8.25	73,94	-137,62
8.75	74,41	-124,57
9.25	75,44	-108,65

9.75	76,98	-89,87
10.25	78,50	-68,41
10.75	79,00	-44,78
11.25	76,80	-19,93
11.75	68,53	3,52
12.25	50,46	12,09
12.75	30,26	10,55
13.25	12,13	5,17
13.75	0	0



Gambar 9 Grafik Bending Momen

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang sudah dilakukan diatas diperoleh beberapa kesimpulan yaitu:

1. Dari perhitungan tekanan lateral aktif, diperoleh besar tekanan lateral lapisan pertama pada jenis tanah sangat lunak dan tanah sedang pada Tabel 7:

Tabel 7 Perbandingan Tekanan Lateral Lapisan Tanah Pertama

Asal Tegangan	Tekanan Lateral (kN/m ²)	
	Tanah Sangat Lunak	Tanah Sedang
Tanah Murni	96	23,02
Beban Merata	9,8067	4,059
Total	105,8067	27,0789

2. Untuk lapisan kedua jenis tanah keras dan lapisan ketiga tanah sangat keras diperoleh tegangan lateral aktif yang sama, karena jenis tanah yang sama dengan keadaan tanah yang sama-sama tersaturasi maksimum.
3. Dari hasil analisis diatas, dapat terlihat bahwa tegangan lateral tanah aktif yang paling besar adalah jenis tanah sangat lunak dengan besar tegangan lateral aktif sebesar 105,8067 kN/m².
4. Untuk analisis gaya tekanan lateral tanah aktif diatas, besar gaya tekanan lateral aktif untuk jenis tanah sangat lunak dan tanah sedang pada Tabel 8:

Tabel 8 Perbandingan Gaya Tekanan Lateral Lapisan Tanah Pertama

Asal Tekanan	Gaya Tekanan Lateral (kN/m)	
	Tanah Sangat Lunak	Tanah Sedang
Tanah Murni	576	98,484
Beban Merata	58,8402	24,354

5. Sedangkan gaya tekanan lateral aktif untuk jenis tanah keras pada lapisan kedua dan jenis tanah sangat keras pada lapisan ketiga memiliki besar gaya yang sama karena memiliki konsistensi yang sama dan sama-sama berada dalam keadaan tersaturasi.
6. Dari hasil analisis diatas, dapat terlihat bahwasesar gaya tekanan lateral tanah aktif yang paling besar adalah jenis tanah sangat lunak dengan besar gaya tekanan lateral aktif sebesar 576 kN/m dan besar tekanan lateral tanah aktif yang diakibatkan pada jenis tanah sangat lunak sebesar 58,8402 kN/m.
7. Tekanan lateral tanah aktif pada jenis tanah sangat lunak lebih besar sekitar dua kali lipat dibandingkan besar tekanan lateral aktif pada jenis tanah sedang. Hal ini dikarenakan tanah sangat lunak bukanlah tanah mainkan air kental yang dapat mengalir dengan bebas tidak seperti tanah umumnya.
8. Besar deformasi lateral pada tiang pancang penahan tanah untuk lapisan pertama tanah sangat lunak berada di permukaan sebesar 0,0520 m, sedangkan deformasi lateral untuk lapisan pertama tanah sedang paling besar dikedalaman 8 meter sebesar 0,0197 m. Namun pada lapisan pertama tanah sedang dari permukaan hingga kedalaman 2 meter mengalami deformasi negatif (terjadi gaya tarik) dikarenakan tanah sedang mengalami tension crack, sedangkan untuk lapisan tanah sangat lunak tidak memiliki gaya tarik atau tension crack sehingga hanya mengalami gaya dorong.
9. Besar bending momen yang dialami tiang pancang untuk lapisan tanah sangat lunak berada di kedalaman 3,25 m dengan besar bending momen 108,4376 kNm, sedangkan untuk lapisan tanah sedang besar bending momen maksimal berada di kedalaman 4,25 m dengan besar -200,5865 kNm.
10. Berdasarkan hasil analisis deformasi vertikal maupun deformasi lateral menggunakan program berbasis geoteknik. Dapat disimpulkan bahwa poisson ratio pada lapisan tanah sangat lunak dan lapisan tanah sedang dapat ditemukan, maka untuk poisson ratio lapisan tanah sangat lunak didapat sebesar 1,5423 sedangkan untuk lapisan tanah sedang sebesar 0,4573.

Saran

Berikut adalah saran untuk memperoleh hasil analisis yang lebih baik pada analisis selanjutnya:

1. Perbaikan tanah dapat dilakukan dengan cara menyuntikan semen kedalam tanah sangat lunak untuk memngeraskan tanah atau dengan menggunakan pondasi dalam hingga ke lapisan tanah keras.
2. Perlu dilakukan analisis penahan tanah dengan tipe dan dimensi yang berbeda seperti tipe dinding penahan tanah dan tiang pancang dengan dimensi yang berbeda untuk membandingkan pengaruhnya.
3. Pada penelitian ini menggunakan 3 lapisan tanah imajiner sehingga perlu dilakukan penggunaan lapisan tanah yang sesuai dengan kondisi nyata lapangan.
4. Pada penelitian ini hanya menggunakan , beban merata diatas permukaan tanah dapat diubah menjadi konstruksi jalan tol atau konstruksi bangunan lainnya agar lebih realistis.
5. Perlu dilakukan perbandingan dengan jenis tanah yang lainnya dengan kedalaman permukaan air tanah yang berbeda untuk mengetahui perbandingan tanah sangat lunak dengan jenis tanah lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Das, B. M., & Sobhan, K. (2014). *Principles of geotechnical engineering*. California: Cengage Learning.
- Gultom, M. A. (2014). *Pengaruh Perubahan Variasi Kadar Air Tanah Terhadap Kohesi dan Sudut Geser Dalam pada Tanah Lapukan Mudstone di Lokasi X Daerah Paringin Kalimantan Selatan*. Indonesia: Universitas Padjadjaran / Fakultas Teknik Geologi / Magister - Teknik Geologi.
- Hardiyatmo, H. C. (2006). *Penanganan tanah longsor dan erosi*. Gadjah Mada University Press.
- Makarim, C. A., & Putra, C. E. (2020). Analisis Alternatif Perbaikan Tanah Lunak dan Sangat Lunak pada Jalan Tol.
- Okabe, S. (1926). *General theory of earth pressures*. Japan: Jurnal of the Japan Society of Civil Engineering.
- Prospeku.com. (2021, Oktober 29). Diambil kembali dari Ini Fungsi dan Jenis Dinding Penahan Tanah (Retaining Walls): <https://prospeku.com/artikel/dinding-penahan-tanah---3664>
- Siska, H. N., & Yakin, Y. A. (2016). Karakterisasi Sifat Fisis dan Mekanis Tanah Lunak. 2.
- Terzaghi, K., & Peck, R. (1967). *Soil Mechanics in Engineering Practice 2nd Edition*. New York: John Wiley.
- Wardoyo, Sarwondo, Destiasari, F., Wahyudin, Wiyono, G. H., & Sollu, W. P. (2019). *Atlas Sebaran Tanah Lunak*. Jakarta: kementrian Energi & Sumber Daya Alam.