

ANALISIS PERBANDINGAN DESAIN *INCLINED RETAINING WALL* PADA KONDISI TANAH JENUH DAN TANAH TIDAK JENUH

Federick Luanga¹ dan Alfred Jonathan Susilo²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta, Indonesia
federick.325180163@stu.untar.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
alfred@ft.untar.ac.id

Masuk: 12-09-2022, revisi: 11-10-2022, diterima untuk diterbitkan: 21-10-2022

ABSTRACT

The decreasing of available land cause skyscraper building must construct a basement for the parking area and others facilities. Embedded retaining walls such as contiguous piles, secant piles, and diaphragm wall is usually used for basement construction to prevent soil failure at the adjacent excavation. However, embedded retaining structures need large properties and lateral supporting systems to prevent deflection of the wall from the massive lateral earth pressure. As a result, it requires significant construction costs, making practitioners and academics in Indonesia to provide the solution for constructing a basement with affordable construction costs. One of the methods proposed in this study is to tilt the retaining wall towards the active earth pressure so the earth pressure can be decreased. As a result, the material properties and the deflection of the wall can be reduced. Furthermore, the inclined retaining wall could also minimize the usage of lateral supporting systems such as strut and ground anchor. This method will optimize the expenditure for the material and wall reinforcement. The results show inclined retaining wall is more effective in reducing deformation.

Keywords: basement, inclined retaining wall, earth pressure, excavation, wall reinforcement

ABSTRAK

Ketersediaan lahan yang semakin berkurang membuat gedung-gedung tinggi memanfaatkan galian bawah tanah berupa *basement* untuk dijadikan sebagai tempat parkir atau fasilitas lainnya. Konstruksi *basement* sendiri memerlukan dinding penahan tertanam (*embedded walls*) berupa *contiguous piles*, *secant piles* dan dinding diafragma untuk mencegah keruntuhan tanah di sekitar galian. Akan tetapi, konstruksi dinding *basement* memerlukan penampang dimensi yang besar serta kekuatan tambahan pada dinding untuk menahan tekanan lateral tanah yang besar. Akibatnya, biaya konstruksi yang dibutuhkan semakin besar dan membuat praktisi dan akademisi di Indonesia memikirkan solusi agar dapat tetap membangun *basement* dengan biaya konstruksi yang terjangkau. Pada penelitian ini, salah satu cara yang akan diusulkan adalah dengan memiringkan dinding penahan tanah ke arah tekanan tanah aktif sehingga membuat tekanan tanah yang bekerja pada dinding tereduksi. Dengan berkurangnya tekanan lateral tanah pada dinding, ukuran penampang dan deformasi dari dinding dapat tereduksi. Selain itu, kekuatan dinding yang biasanya berupa *strut* atau *ground anchor* dapat berkurang jika menggunakan *inclined retaining wall*. Hal tersebut akan membuat biaya konstruksi yang dikeluarkan untuk material dan kekuatan dinding tidak terlalu besar. Dari hasil analisis yang dilakukan, kemiringan dinding yang bertambah efektif mereduksi deformasi yang terjadi.

Kata kunci: *basement, inclined retaining walls*, tekanan tanah, galian, kekuatan dinding

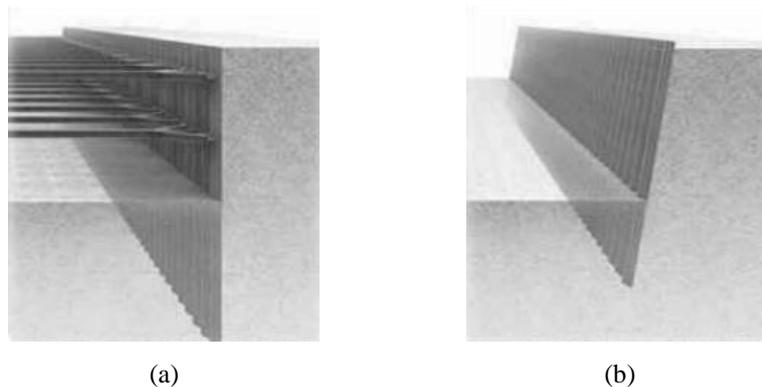
1. PENDAHULUAN

Ketersediaan lahan yang semakin lama semakin terbatas membuat pembangunan *basement* diperlukan untuk menambah area pada suatu bangunan. *Basement* adalah struktur bawah tanah yang dibangun dengan cara mengali suatu volume tanah dan menggunakan dinding penahan tanah untuk mencegah keruntuhan tanah di sekitar galian. Pada umumnya, jenis dinding penahan tanah pada galian *basement* yang sering digunakan adalah *embedded walls* berupa *contiguous piles* dan *diaphragm wall*.

Dalam merencanakan dinding *basement*, tekanan lateral tanah yang terlalu besar menjadi tantangan dalam melakukan desain. Tekanan lateral tanah yang besar membuat dinding yang direncanakan harus menggunakan ukuran penampang yang besar serta kekuatan dinding tambahan untuk mencegah deformasi yang terlampaui besar. Hal ini mengakibatkan

biaya konstruksi dinding *basement* semakin tinggi sehingga diperlukan solusi agar dapat tetap membangun *basement* dengan biaya yang terjangkau.

Pada penelitian ini, salah satu cara yang akan diusulkan adalah dengan memiringkan dinding penahan tanah ke arah tekanan tanah aktif sehingga membuat tekanan tanah aktif tidak terlalu besar terhadap dinding. Dengan membuat dinding penahan tanah bersandar pada tanah (*inclined retaining wall*), tekanan tanah yang bekerja akan tereduksi. Penggunaan *inclined retaining wall* diharapkan dapat mereduksi defleksi pada dinding dengan *properties* dinding yang tidak terlalu besar dibandingkan dinding penahan tanah vertikal. Selain itu, kekuatan dinding yang biasanya berupa *strut* atau *ground anchor* dapat berkurang jika menggunakan *inclined retaining wall* seperti pada Gambar 1. Hal tersebut akan membuat biaya konstruksi yang dikeluarkan untuk material dan kekuatan dinding tidak terlalu besar.



Gambar 1. *Retaining wall* (a) dinding dengan kekuatan tambahan (b) dinding yang dimiringkan (Maeda et al., 2013)

Penelitian yang dilakukan (Maeda et al., 2013), yaitu dengan melakukan percobaan uji sentrifugal pada model dinding penahan tanpa penyokong yang dimiringkan (*inclined-braceless retaining wall*) sebesar 10° dan vertikal biasa menghasilkan deformasi dari dinding yang dimiringkan lebih rendah 30% dibandingkan dinding vertikal biasa.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh kemiringan terhadap deformasi dan faktor keamanan dinding. Selain itu, perilaku kondisi tanah jenuh dan tidak jenuh berdasarkan variasi derajat kejenuhan akan diketahui dari hasil analisis.

Tekanan Tanah Lateral

Dalam desain aktual, penggunaan teori tanah yang salah dapat mengakibatkan konstruksi struktur menjadi tidak ekonomis, bahkan desain struktur yang tidak aman (Ou, 2006). Tekanan lateral tanah dapat didefinisikan sebagai tekanan horizontal yang terjadi karena adanya tekanan dari tanah yang ditahan maupun struktur lain di belakang dinding penahan tanah, sehingga adanya dorongan tanah dari belakang struktur penahan tanah. Dorongan tanah yang berlebih ke dinding dapat menimbulkan lendutan sehingga perlu direncanakan dengan benar.

Berdasarkan jenisnya, tekanan lateral tanah terbagi atas 3 kondisi, yaitu sebagai berikut:

- Kondisi *at-rest earth pressure* (K_0), yaitu ketika dinding tidak bergerak dengan koefisien tanah diam.
- Kondisi *active earth pressure* (K_a), yaitu ketika keruntuhan terjadi akibat dinding yang bergerak menjauhi tanah. Pada kondisi ini, koefisien tanah K mencapai nilai minimum.
- Kondisi *passive earth pressure* (K_p), yaitu ketika keruntuhan terjadi akibat dinding bergerak menekan ke arah tanah. Pada kondisi ini, koefisien tanah K mencapai nilai maksimum.

Embedded Walls

Dinding penahan tanah yang umumnya digunakan pada galian *basement* adalah jenis *embedded walls*. *Embedded walls* sendiri merupakan struktur penahan tanah di mana sebagian atau seluruh kestabilan struktur penahan tersebut diperoleh dari tahanan pasif tanah yang terletak di bawah dasar galian. Kelebihan menggunakan *embedded walls* sebagai struktur penahan tanah karena konstruksinya hampir selalu dibuat vertikal sehingga dapat menghemat ruang yang digunakan.

Beberapa tipe *embedded walls* yang sering digunakan dalam konstruksi *basement* adalah *soldier piles/secant piles* dan dinding diafragma. *Soldier piles* merupakan struktur penahan tanah beruntun yang terdiri dari rangkaian tiang beton bertulang (*bored pile*). Sedangkan *secant piles* terdiri dari rangkaian selang-seling antara *bored pile* dengan beton

ready mix tanpa tulangan. Untuk dinding diafragma, struktur dinding merupakan membran beton bertulang buatan dengan ketebalan sesuai tebal alat penggali *grabber* dan kedalaman tertentu (Raynaldi & Susilo, 2021).

Dalam mendesain dinding penahan tanah, besarnya deformasi pada struktur juga harus dianalisis. Analisis deformasi dapat juga dapat dibantu menggunakan program *software* berbasis metode elemen hingga. Setelah besar deformasi diketahui, hasil tersebut akan dicek sesuai dengan persyaratan deformasi lateral izin berdasarkan peraturan SNI 8460:2017. Deformasi lateral izin dinding penahan tanah dan *embedded walls* dapat ditentukan oleh kondisi tanah, kedalaman galian serta jarak dan kondisi gedung terdekat yang ketentuannya ditentukan berdasarkan Tabel 1.

Tabel 1. Batas maksimum deformasi lateral dinding (Badan Standardisasi Nasional, 2017)

| Batas maksimum deformasi lateral pada dinding | Lokasi gedung dan infrastruktur eksisting terdekat | | | |
|---|--|-------------------------------------|------------------------|--------------|
| | Zona 1 ($x'/He < 1$) | Zona 2 ($1 \leq x'/He \leq 2$) | Zona 3 ($x'/He > 2$) | |
| | | | Tanah tipe A | Tanah tipe B |
| Batas izin maksimum deformasi ($\delta w/He$) | 0,5% | 0,7% | 0,7% | 1,0% |

dengan δw = defleksi dinding, x' = jarak dari batas galian, He = kedalaman galian, tanah tipe A = tanah lempung dan lanau *overconsolidated*, tanah residual, dan tanah pasir dengan kepadatan sedang sampai padat, dan tanah tipe B = tanah lempung dan lanau lunak, tanah organik dan tanah timbunan tidak terpadatkan.

Tanah Jenuh dan Tanah Tidak Jenuh

Pengaruh infiltrasi membuat kondisi tanah yang mulanya jenuh sebagian (*unsaturated*) menjadi jenuh (*saturated*), sehingga tekanan air pori negatif pada tanah jenuh sebagian akan berubah menjadi tekanan air pori positif. Tekanan air pori yang meningkat akan menurunkan tegangan normal tanah dan kuat geser tanah. Pada kondisi ini, tegangan efektif dapat dihitung dengan persamaan yang dikembangkan oleh Terzaghi (1936), yaitu sebagai berikut:

$$\sigma' = \sigma - u_w \quad (1)$$

dengan σ' = tegangan normal efektif, σ = tegangan normal total, dan u_w = tekanan air pori.

Pada kondisi tanah tidak jenuh air (*unsaturated soil*), sebagian pori tanah diisi oleh udara. kondisi ini akan membuat derajat kejenuhan tanah berubah sehingga memengaruhi tegangan efektif. Nilai tegangan efektif pada kondisi ini dapat dikalkulasi menggunakan persamaan berikut:

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

dengan u_a = tegangan udara pori, χ = parameter yang besarnya dipengaruhi jenis tanah dan derajat kejenuhan

Berat jenis tanah merupakan perbandingan dari massa total dengan volume total pada suatu sampel tanah. Berat jenis ini menunjukkan kerapatan dari partikel tanah secara keseluruhan. Pada keadaan jenuh, pori pada tanah akan terisi sepenuhnya oleh air. Untuk menentukan berat jenis tanah jenuh (γ_{sat}), dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\gamma_{sat} = \frac{(G_s + e) \times \gamma_w}{1 + e} \quad (2)$$

dengan G_s = *specific gravity*, dan e = angka pori

Pada tanah tidak jenuh, berat jenis tanah akan dipengaruhi oleh derajat saturasi. Berikut adalah rumus untuk menentukan berat jenis tanah tidak jenuh (γ_{unsat}):

$$\gamma_{unsat} = \frac{(G_s + S \cdot e) \times \gamma_w}{1 + e} \quad (2)$$

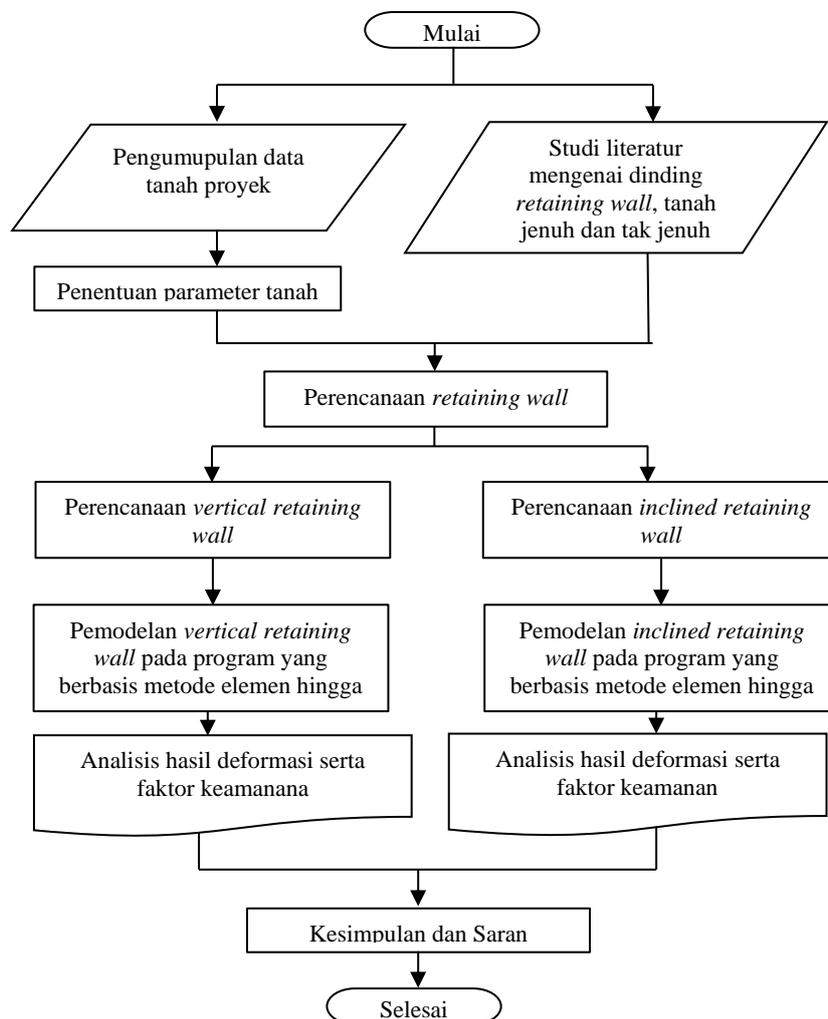
dengan S = derajat saturasi

Analisis menggunakan perhitungan kondisi *unsaturated* dilakukan untuk mengetahui perilaku aktual dari tanah pada rekayasa geoteknik, karena umumnya kondisi natural tanah berada dalam kondisi tidak jenuh (Hidayat, 2021).

2. METODE PENELITIAN

Secara garis besar, penelitian ini terdiri dari beberapa prosedur analisis yang harus dilakukan seperti yang tersaji dalam diagram alir pada Gambar 2. Uraian dari diagram alir adalah sebagai berikut:

- Penelitian diawali dengan melakukan studi literatur terhadap topik terkait seperti perencanaan dan konstruksi *retaining wall* untuk basement.
- Tahap selanjutnya yaitu mengumpulkan dan mengolah data tanah untuk mendapatkan parameter tanah yang akan digunakan dalam analisis.
- Langkah berikutnya yaitu melakukan perencanaan dinding penahan tanah yang terdiri dari penentuan parameter dinding penahan tanah yang akan digunakan.
- Selanjutnya dilakukan pemodelan terhadap dinding penahan tanah berdasarkan parameter tanah yang telah didapatkan sebelumnya.
- Analisis pemodelan *retaining wall* akan menggunakan program bantuan berbasis metode elemen hingga dan beban-beban yang akan bekerja juga akan di-input pada pemodelan ini.
- Setelah dimodelkan, analisis terhadap deformasi dan *safety factor* pada tiap kondisi *retaining wall* akan dilakukan.
- Hasil dari analisis deformasi dan *safety factor* akan digunakan sebagai acuan dalam membandingkan kedua jenis dinding penahan tanah tersebut.
- Dari analisis tersebut, akan disusun kesimpulan dari hasil penelitian ini serta saran untuk penelitian selanjutnya.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Parameter Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh

Penentuan parameter akan dihitung dengan menggunakan korelasi persamaan empiris serta nilai tipikal berdasarkan nilai pengujian N-SPT dan data laboratorium. Parameter tanah yang akan digunakan merupakan tanah jenuh dan tanah tidak jenuh. Parameter tanah jenuh dihitung berdasarkan asumsi derajat saturasi (S) 100%. Sedangkan untuk tanah tidak jenuh, nilai derajat saturasi diasumsi sebesar 75%, 50%, 25%, dan 0% dengan kedalaman 8 m yang terdiri dari

3 lapisan tanah. Hasil rekapitulasi parameter tanah dapat dilihat pada Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4, Tabel 5, dan Tabel 6 (lanjutan). Parameter tanah tidak jenuh derajat saturasi 25%

| Kedalaman (m) | Jenis Tanah | Konsistensi Tanah | e_0 | γ_{sat} (kN/m ³) | c' (kPa) | ϕ' (°) | Su (kPa) | Eu (MPa) | OCR | k (m/day) |
|---------------|-------------|-------------------|-------|-------------------------------------|------------|-------------|----------|----------|-----|-----------|
| 18-22 | Silt | Hard | 0,70 | 16,8 | 5,0 | 32 | 38,0 | 31,4 | 6,8 | 8,64E-03 |
| 22-26 | Silt | Stiff | 0,70 | 16,7 | 5,9 | 28 | 45,5 | 26,5 | 2,4 | 8,64E-03 |
| 26-34 | Clay | Very Stiff | 0,60 | 18,3 | 7,2 | 29 | 86,3 | 40,3 | 2,3 | 8,64E-05 |
| 34-52 | Silt | Very Stiff | 0,67 | 17,0 | 9,9 | 31 | 70,1 | 33,3 | 2,1 | 2,59E-02 |

Tabel 7.

Tabel 2. Parameter tanah jenuh

| Kedalaman (m) | Jenis Tanah | Konsistensi Tanah | e_0 | γ_{sat} (kN/m ³) | c' (kPa) | ϕ' (°) | Su (kPa) | Eu (MPa) | OCR | k (m/day) |
|---------------|-------------|-------------------|-------|-------------------------------------|------------|-------------|----------|----------|-----|-----------|
| 0-2 | Clay | Soft | 1,00 | 18,1 | 1,6 | 22 | 16,2 | 7 | 4,0 | 8,64E-05 |
| 2-6 | Clay | Medium | 0,90 | 18,7 | 2,3 | 25 | 23,7 | 17 | 4,0 | 8,64E-05 |
| 6-8 | Clay | Stiff | 0,60 | 20,8 | 2,8 | 28 | 27,1 | 37 | 5,0 | 8,64E-05 |
| 8-14 | Silt | Hard | 0,67 | 20,3 | 2,7 | 33 | 20,9 | 45 | 9,0 | 5,79E-03 |
| 14-18 | Silt | Very Stiff | 0,70 | 19,7 | 3,7 | 30 | 28,1 | 35 | 6,0 | 8,64E-03 |
| 18-22 | Silt | Hard | 0,70 | 19,8 | 4,5 | 33 | 33,3 | 30 | 7,0 | 8,64E-03 |
| 22-26 | Silt | Stiff | 0,70 | 19,7 | 5,3 | 28 | 40,7 | 25 | 2,5 | 8,64E-03 |
| 26-34 | Clay | Very Stiff | 0,60 | 21,1 | 7,8 | 29 | 78,7 | 38 | 2,5 | 8,64E-05 |
| 34-52 | Silt | Very Stiff | 0,67 | 19,9 | 9,3 | 31 | 65,6 | 32 | 2,0 | 2,59E-02 |

Tabel 3. Parameter tanah tidak jenuh derajat saturasi 75%

| Kedalaman (m) | Jenis Tanah | Konsistensi Tanah | e_0 | γ_{sat} (kN/m ³) | c' (kPa) | ϕ' (°) | Su (kPa) | Eu (MPa) | OCR | k (m/day) |
|---------------|-------------|-------------------|-------|-------------------------------------|------------|-------------|----------|----------|-----|-----------|
| 0-2 | Clay | Soft | 1,00 | 16,8 | 2,3 | 22 | 20,6 | 8,3 | 3,8 | 8,64E-05 |
| 2-6 | Clay | Medium | 0,90 | 17,6 | 3,2 | 25 | 32,6 | 19,7 | 3,5 | 8,64E-05 |
| 6-8 | Clay | Stiff | 0,60 | 19,9 | 4,4 | 27 | 39,2 | 41,6 | 3,4 | 8,64E-05 |
| 8-14 | Silt | Hard | 0,67 | 19,4 | 3,7 | 33 | 28,6 | 47,3 | 8,5 | 5,79E-03 |
| 14-18 | Silt | Very Stiff | 0,70 | 18,7 | 4,7 | 30 | 35,7 | 37,3 | 5,0 | 8,64E-03 |
| 18-22 | Silt | Hard | 0,70 | 18,8 | 5,5 | 32 | 40,7 | 32,2 | 6,3 | 8,64E-03 |
| 22-26 | Silt | Stiff | 0,70 | 18,7 | 6,3 | 28 | 48,3 | 27,3 | 2,2 | 8,64E-03 |
| 26-34 | Clay | Very Stiff | 0,60 | 20,2 | 9,0 | 29 | 90,5 | 41,6 | 2,3 | 8,64E-05 |
| 34-52 | Silt | Very Stiff | 0,67 | 18,9 | 10,3 | 30 | 72,7 | 34,1 | 2,0 | 2,59E-02 |

Tabel 4. Parameter tanah tidak jenuh derajat saturasi 50%

| Kedalaman (m) | Jenis Tanah | Konsistensi Tanah | e_0 | γ_{sat} (kN/m ³) | c' (kPa) | ϕ' (°) | Su (kPa) | Eu (MPa) | OCR | k (m/day) |
|---------------|-------------|-------------------|-------|-------------------------------------|------------|-------------|----------|----------|-----|-----------|
| 0-2 | Clay | Soft | 1,00 | 15,6 | 2,1 | 22 | 19,4 | 8,1 | 4,1 | 8,64E-05 |
| 2-6 | Clay | Medium | 0,90 | 16,4 | 3,0 | 25 | 30,3 | 19,0 | 3,8 | 8,64E-05 |
| 6-8 | Clay | Stiff | 0,60 | 18,9 | 4,1 | 27 | 36,5 | 40,8 | 3,5 | 8,64E-05 |
| 8-14 | Silt | Hard | 0,67 | 18,4 | 3,5 | 33 | 27,2 | 46,9 | 8,5 | 5,79E-03 |
| 14-18 | Silt | Very Stiff | 0,70 | 17,7 | 4,5 | 30 | 34,3 | 36,9 | 5,0 | 8,64E-03 |
| 18-22 | Silt | Hard | 0,70 | 17,8 | 5,0 | 32 | 39,3 | 31,8 | 6,5 | 8,64E-03 |
| 22-26 | Silt | Stiff | 0,70 | 17,7 | 6,1 | 28 | 46,9 | 26,9 | 2,2 | 8,64E-03 |
| 26-34 | Clay | Very Stiff | 0,60 | 19,3 | 8,5 | 29 | 88,4 | 40,9 | 2,3 | 8,64E-05 |
| 34-52 | Silt | Very Stiff | 0,67 | 17,9 | 9,6 | 31 | 71,4 | 33,7 | 2,1 | 2,59E-02 |

Tabel 5. Parameter tanah tidak jenuh derajat saturasi 25%

| Kedalaman (m) | Jenis Tanah | Konsistensi Tanah | e_0 | γ_{sat} (kN/m ³) | c' (kPa) | ϕ' (°) | Su (kPa) | Eu (MPa) | OCR | k (m/day) |
|---------------|-------------|-------------------|-------|-------------------------------------|------------|-------------|----------|----------|-----|-----------|
| 0-2 | Clay | Soft | 1,00 | 14,4 | 1,9 | 22 | 18,5 | 7,8 | 4,6 | 8,64E-05 |
| 2-6 | Clay | Medium | 0,90 | 15,3 | 2,8 | 25 | 28,1 | 18,3 | 4,1 | 8,64E-05 |
| 6-8 | Clay | Stiff | 0,60 | 18,0 | 3,8 | 27 | 33,9 | 40,0 | 3,7 | 8,64E-05 |
| 8-14 | Silt | Hard | 0,67 | 17,4 | 3,3 | 33 | 25,8 | 46,4 | 8,8 | 5,79E-03 |
| 14-18 | Silt | Very Stiff | 0,70 | 16,7 | 4,3 | 30 | 33,0 | 36,5 | 5,3 | 8,64E-03 |

Tabel 6 (lanjutan). Parameter tanah tidak jenuh derajat saturasi 25%

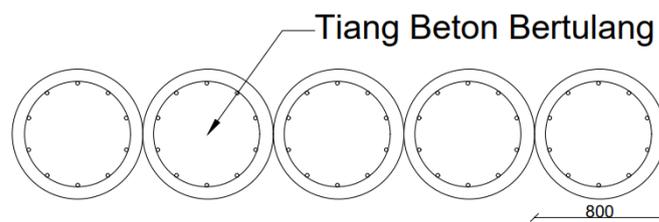
| Kedalaman (m) | Jenis Tanah | Konsistensi Tanah | e_0 | γ_{sat} (kN/m ³) | c' (kPa) | ϕ' (°) | Su (kPa) | Eu (MPa) | OCR | k (m/day) |
|---------------|-------------|-------------------|-------|-------------------------------------|------------|-------------|----------|----------|-----|-----------|
| 18-22 | Silt | Hard | 0,70 | 16,8 | 5,0 | 32 | 38,0 | 31,4 | 6,8 | 8,64E-03 |
| 22-26 | Silt | Stiff | 0,70 | 16,7 | 5,9 | 28 | 45,5 | 26,5 | 2,4 | 8,64E-03 |
| 26-34 | Clay | Very Stiff | 0,60 | 18,3 | 7,2 | 29 | 86,3 | 40,3 | 2,3 | 8,64E-05 |
| 34-52 | Silt | Very Stiff | 0,67 | 17,0 | 9,9 | 31 | 70,1 | 33,3 | 2,1 | 2,59E-02 |

Tabel 7. Parameter tanah tidak jenuh derajat saturasi 0%

| Kedalaman (m) | Jenis Tanah | Konsistensi Tanah | e_0 | γ_{sat} (kN/m ³) | c' (kPa) | ϕ' (°) | Su (kPa) | Eu (MPa) | OCR | k (m/day) |
|---------------|-------------|-------------------|-------|-------------------------------------|------------|-------------|----------|----------|-----|-----------|
| 0-2 | Clay | Soft | 1,00 | 13,1 | 1,8 | 22 | 17,4 | 7,4 | 5,0 | 8,64E-05 |
| 2-6 | Clay | Medium | 0,90 | 14,1 | 2,5 | 25 | 25,9 | 17,7 | 4,4 | 8,64E-05 |
| 6-8 | Clay | Stiff | 0,60 | 17,1 | 3,5 | 27 | 31,2 | 39,2 | 4,1 | 8,64E-05 |
| 8-14 | Silt | Hard | 0,67 | 16,4 | 3,2 | 33 | 24,4 | 46,0 | 9,3 | 5,79E-03 |
| 14-18 | Silt | Very Stiff | 0,70 | 15,7 | 4,2 | 30 | 31,6 | 36,1 | 5,5 | 8,64E-03 |
| 18-22 | Silt | Hard | 0,70 | 15,8 | 5,0 | 32 | 36,7 | 31,0 | 6,8 | 8,64E-03 |
| 22-26 | Silt | Stiff | 0,70 | 15,7 | 5,7 | 28 | 44,2 | 26,1 | 2,4 | 8,64E-03 |
| 26-34 | Clay | Very Stiff | 0,60 | 17,4 | 8,4 | 29 | 84,2 | 39,6 | 2,4 | 8,64E-05 |
| 34-52 | Silt | Very Stiff | 0,67 | 16,0 | 9,7 | 31 | 68,9 | 33,0 | 2,2 | 2,59E-02 |

Perencanaan Struktur *Retaining Wall*

Dalam penelitian ini, dinding penahan tanah yang akan dipilih sebagai dinding *basement* adalah *soldier piles*. Hal ini dikarenakan pekerjaan *soldier piles* dengan menggunakan pengeboran yang dimiringkan telah diterapkan sebelumnya di Eropa (Puller, 2003). Pada penelitian ini, dimensi tiang bor yang direncanakan adalah tiang berdiameter 800 mm. Ilustrasi konfigurasi dari *soldier piles* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Konfigurasi *soldier piles*

Perencanaan *soldier piles* akan memakai mutu beton f'_c 35 MPa dengan *poisson ratio* yang diambil sebesar 0,2. Analisis pemrograman akan dilakukan terhadap 1 m struktur *retaining wall* ke arah *plain strain*. Tabel 8 merupakan parameter-parameter yang akan di-input pada program.

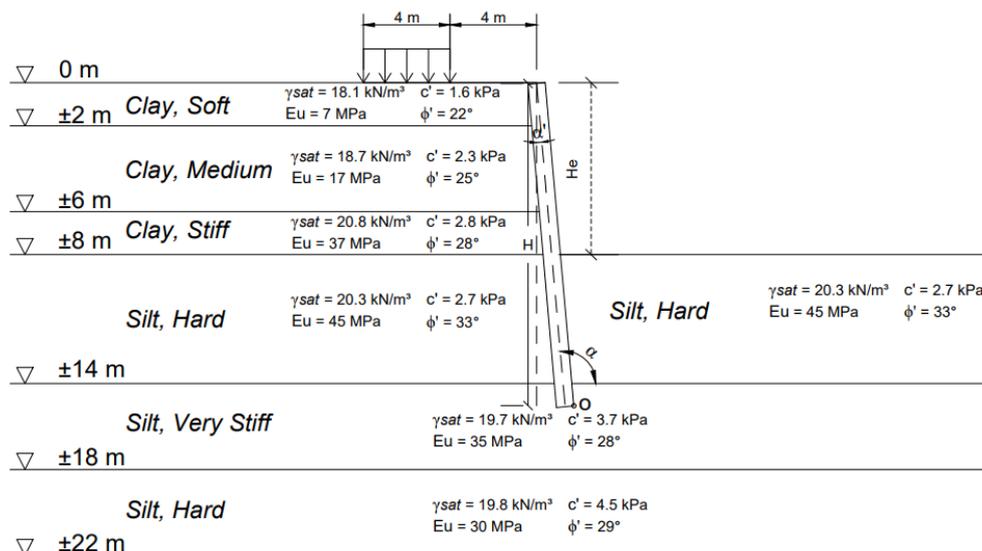
Tabel 8. Rekapitulasi parameter struktural *soldier piles*

| Parameter | Dinding Vertikal |
|--------------------------------|------------------|
| <i>Material</i> | <i>Elastic</i> |
| d (m) | 0,8 |
| γ (kN/m ³) | 24 |
| f'c (MPa) | 35 |
| E (kPa) | 27805574,98 |
| <i>Poisson ratio</i> (μ) | 0,2 |
| EA (kN) | 16709048,48 |
| EI (kNm ²) | 629833,4 |
| w (kN/m) | 14,42 |

Pemodelan struktur akan menggunakan R_{inter} sebesar 0,85 karena material stuktur merupakan beton serta didominasi dengan tanah lempung dan lanau.

Pemodelan dengan Program Berbasis Elemen Hingga

Pemodelan yang dilakukan adalah pemodelan 2 dimensi. Dari pemodelan yang dilakukan, diharapkan dapat menggambarkan kondisi stabilitas dan deformasi retaining wall seperti kondisi asli di lapangan. Tahap pertama adalah memodelkan *vertical retaining wall* dan *inclined retaining wall* pada kondisi tanah jenuh. Kemiringan dari *retaining wall* akan menggunakan beberapa asumsi kemiringan α' pada Gambar 4. Nilai α' menggunakan asumsi yang dimulai dari 0°, 2,5°, 5°, 7,5°, dan 10°. Setelah dimodelkan, analisis perbandingan akan dilakukan terhadap deformasi dari setiap *inclined retaining wall* agar dapat mengetahui efektivitas dari desain dinding penahan tanah yang dimiringkan.



Gambar 4. Ilustrasi perencanaan *inclined retaining wall* untuk tanah jenuh

Tahapan Konstruksi Galian Dalam

Tahapan konstruksi (*stage construction*) harus dipertimbangkan dalam menganalisis dinding *soldier piles*. Hal ini dilakukan agar pemodelan yang dilakukan dapat menggambarkan kondisi asli ketika melakukan konstruksi. Selain itu, deformasi maksimum dari setiap tahapan juga dapat dikontrol agar tidak terjadi kegagalan pada struktur.

Metode konstruksi galian yang akan digunakan adalah metode *bottom-up*. Metode *bottom up* merupakan metode di mana pekerjaan galian harus dilakukan sampai elevasi yang direncanakan, dan setelah itu dapat dilanjutkan dengan pelaksanaan konstruksi struktur *basement*. Penggalian akan dilakukan setiap 2 m secara bertahap sampai galian rencana. Untuk pemodelan dengan program berbasis elemen hingga, *stage construction* akan dimodelkan secara bertahap. Berikut merupakan tahapan-tahapan *stage construction* pada program:

- Fase awal yaitu ketika kondisi tanah pada keadaan *at-rest*. Untuk *calculation type* pada fase ini menggunakan *K0 procedure*
- Penempatan beban yang bekerja sebesar 10 kN/m² dan konstruksi *soldier piles*. Untuk *calculation type* pada tahap ini adalah tipe *plastic*
- *Dewatering* pertama sampai kedalaman 3 meter

- Galian pertama sampai kedalaman 2 meter
- *Dewatering* kedua sampai kedalaman 5 meter
- Galian kedua sampai kedalaman 4 meter
- *Dewatering* ketiga sampai kedalaman 7 meter
- Galian ketiga sampai kedalaman 6 meter
- *Dewatering* keempat sampai kedalaman 9 meter
- Galian keempat sampai kedalaman 8 meter

Setelah *stage construction* dilakukan sampai kedalaman rencana, dilakukan analisis *safety* untuk mengetahui nilai $\sum M_{sf}$ pada saat sudah mencapai kedalaman galian yang diinginkan. Nilai $\sum M_{sf}$ tersebut akan dijadikan sebagai nilai faktor keamanan yang harus memenuhi kestabilan yang disyaratkan oleh SNI 8460:2017 sesuai dengan ketidakstabilan yang terjadi pada pemodelan struktur dinding penahan tanah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Model pada Tanah Jenuh

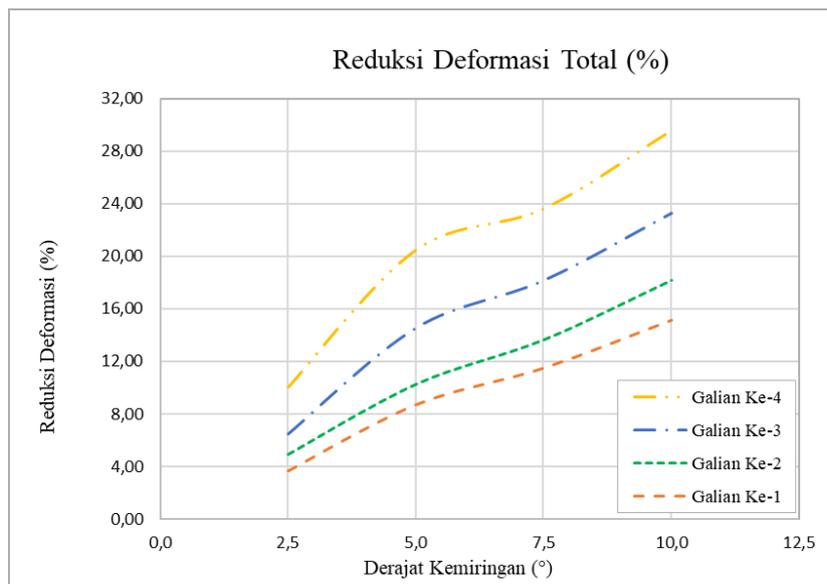
Pada pemodelan tanah jenuh, struktur *soldier piles* akan menggunakan tiang bor dengan kemiringan bervariasi yaitu 0°, 2,5°, 5°, 7,5, dan 10° dengan kedalaman tiang 17 m. Tabel 9 merupakan deformasi maksimum pada setiap tahapan galian berdasarkan *output* pemodelan.

Tabel 9. Hasil deformasi pada setiap kemiringan dinding

| Kemiringan (°) | Kedalaman Tiang (m) | <i>Safety Factor</i> | Deformasi (mm) | | | |
|----------------|---------------------|----------------------|----------------|----------|----------|----------|
| | | | Galian 4 | Galian 3 | Galian 2 | Galian 1 |
| 0,0 | 17,0 | 1,821 | 74,79 | 46,29 | 27,11 | 12,87 |
| 2,5 | 17,0 | 1,866 | 67,30 | 43,28 | 25,78 | 12,40 |
| 5,0 | 17,0 | 1,835 | 59,48 | 39,56 | 24,33 | 11,75 |
| 7,5 | 17,0 | 1,797 | 55,13 | 37,89 | 23,41 | 11,39 |
| 10,0 | 17,0 | 1,798 | 52,68 | 35,53 | 22,18 | 10,92 |

Berdasarkan hasil pemodelan pada 2 kondisi kedalaman tiang bor berbeda, deformasi tiang *soldier piles* akan berkurang seiring dengan penambahan kemiringan dinding. Dinding yang direncanakan pada setiap kemiringan juga memenuhi faktor keamanan dari stabilitas global yaitu sebesar 1,5.

Grafik persentase reduksi total pada Gambar 5 memperlihatkan reduksi deformasi total terbesar terjadi ketika dinding dimiringkan sebesar 10° yaitu sebesar 29,56% dengan nilai deformasi 52,68 mm. Hasil deformasi ini memenuhi deformasi izin yang disyaratkan SNI 8460:2017 yaitu sebesar 56 mm. Apabila dilakukan analisis terhadap dinding yang dimiringkan sampai 12,5°, deformasi yang dihasilkan pada galian ke-4 sebesar 48,5 mm, dengan persentase reduksi deformasi sebesar 35,15% dan *safety factor* 1,74. Akan tetapi, terdapat keterbatasan alat dalam melakukan pengeboran jika dinding dimiringkan sampai 12,5. Oleh karena itu, dinding dengan kemiringan 10° akan dipilih sebagai dinding dengan kemiringan paling efektif dalam mereduksi deformasi lateral.



Gambar 5. Reduksi deformasi dinding total dengan kedalaman tiang 17 m

Analisis Model pada Tanah Tidak Jenuh

Pada analisis perbandingan dengan kondisi tanah tidak jenuh, kemiringan dinding yang akan digunakan adalah dinding dengan kemiringan 10° . Pemodelan dinding dengan kemiringan 10° akan dilakukan terhadap setiap kondisi tanah tidak jenuh, yang terdiri dari tanah derajat saturasi 75%, 50%, 25%, serta 0% dengan parameter tanah yang telah ditentukan.

Analisis pada tanah tidak jenuh dilakukan dengan memodelkan muka air tanah berada pada 8 meter di bawah permukaan tanah. Sehingga tanah yang berada di atas muka air tanah dianggap sebagai tanah tidak jenuh. Hasil deformasi pada tiap tahapan galian dengan derajat kejenuhannya masing-masing dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Deformasi pada tiap tahapan galian dengan derajat kejenuhannya

| Deformasi Galian Ke-X | Derajat Kejenuhan (%) | | | | |
|-----------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 100 | 75 | 50 | 25 | 0 |
| 4 | 52,68 | 41,11 | 42,19 | 45,10 | 46,52 |
| 3 | 35,53 | 27,96 | 29,78 | 32,90 | 34,38 |
| 2 | 22,18 | 16,98 | 18,80 | 21,28 | 24,54 |
| 1 | 10,92 | 7,64 | 8,93 | 10,48 | 11,50 |
| <i>Safety Factor</i> | 1,798 | 2,010 | 2,058 | 2,114 | 2,188 |

Deformasi yang terjadi pada semua tahapan galian memenuhi persyaratan SNI 8460:2017 yaitu sebesar 56 mm, meskipun pada tanah yang memiliki kecenderungan terjadinya kenaikan muka air tanah secara signifikan, akan lebih baik apabila ditambahkan sistem penunjang tambahan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan perbandingan hasil analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal yaitu sebagai berikut:

- Reduksi deformasi total terbesar antara setiap kemiringan dinding *soldier piles* terjadi pada kemiringan $12,5^\circ$ dan akan bertambah apabila lebih dimiringkan. Akan tetapi, karena adanya keterbatasan alat konstruksi di lapangan serta kontrol pengeboran yang susah, kemiringan dinding diizinkan sampai 10° sehingga akan dipilih sebagai dinding dengan kemiringan paling efektif untuk mereduksi deformasi.
- Pada kondisi tanah jenuh, deformasi dinding akan mencapai deformasi yang diizinkan SNI 8460:2017 yaitu sebesar 56 mm pada kemiringan $7,5^\circ$.

- Dinding *soldier piles* akan mencapai nilai kestabilan terhadap global maksimum pada kemiringan $2,5^\circ$. Nilai stabilitas tersebut akan mengalami penurunan apabila kemiringan dinding bertambah.
- Pada kondisi tanah tidak jenuh, deformasi yang dihasilkan akan semakin rendah jika dibandingkan dengan kondisi tanah jenuh. Hal ini diakibatkan oleh perubahan parameter tanah seperti peningkatan pada modulus elastisitas tanah dan kohesi, serta penurunan pada berat jenis tanah. Selain itu, tekanan akibat muka air tanah tidak terjadi pada kondisi tanah tidak jenuh.
- Akibat adanya perubahan parameter tanah pada kondisi tanah tidak jenuh, nilai faktor keamanan pada stabilitas global mengalami peningkatan bersamaan dengan berkurangnya derajat kejenuhan tanah.

Saran

Terdapat beberapa saran yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk melakukan penelitian lebih lanjut. Adapun saran-saran yang akan disampaikan adalah sebagai berikut:

- Pada penelitian ini, data pengujian laboratorium sangat diperlukan untuk menampilkan kondisi parameter tanah yang lebih akurat pada tanah jenuh dan tidak jenuh, sehingga analisis pada 2 kondisi tanah tersebut akan lebih tepat.
- Pada pemodelan dinding dengan bantuan program berbasis metode elemen hingga, pengaruh intensitas hujan sebaiknya dipertimbangkan, sehingga hasil yang diperoleh dapat menggambarkan kondisi dinding ketika terpengaruh faktor-faktor eksternal.
- Pemodelan yang dilakukan pada tanah tidak jenuh mengasumsi muka air tanah di lapangan berada sedalam 8 m. Analisis pada kondisi tanah tidak jenuh juga dapat dilakukan dengan asumsi muka air tanah mencapai permukaan tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2017). *SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik*. BSN.
- Hidayat, W. (2021). Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah Tipe Mechanically Stabilized Earth (MSE) Wall Terhadap Curah Hujan. *Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan dan Rekayasa Sipil*, 4(2), 69-76.
- Maeda, T., Shimada, Y., Takahashi, S., & Sakahira, Y. (2013). Design and Construction of Inclined-Braceless Excavation Support Applicable to Deep Excavation. *Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering* (hal. 2051-2054). Presses des Ponts.
- Ou, C. Y. (2006). *Deep Excavation Theory and Practice*. Taylor & Francis Group.
- Puller, M. (2003). *Deep Excavations: A Practical Manual*. Thomas Telford.
- Raynaldi, & Susilo, A. J. (2021). Perbandingan Deformasi Dinding pada Basement Metode Top-Down dengan Analisis Construction Stage dan Analisis Konvensional. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 4(3), 591-606.
- Terzaghi, K. V. (1936). The Shearing Resistance of Saturated Soils and the Angle between the Planes of Shear. *1st International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 54-56. <https://www.issmge.org/publications/publication/the-shearing-resistance-of-saturated-soils-and-the-angle-between-the-planes-of-shear>