

Perancangan Dan Analisis Galian Dalam Dengan Turap Serta *Strut* Pada Tanah Lempung Kaku

Rina Yuliet¹⁾, Mita Marina²⁾

^{1, 2)} Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang,
Sumatra Barat

Email: rina@eng.unand.ac.id¹⁾ mita@student.unand.ac.id²⁾,

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v15i1.1209>

(Received: 09 December 2024 / Revised: 07 January 2025 / Accepted: 25 February 2025)

Abstrak

Tanah lempung kaku adalah tanah yang memiliki kohesi yang tinggi untuk menahan tekanan tanah pada kedalaman tertentu. Meskipun memiliki kohesi yang tinggi, galian pada tanah lempung kaku tetap dapat mengalami pergerakan atau longsor jika galian tidak diberi turap dan penyangga (*strut*) yang cukup karena gaya geser yang bekerja pada sisi galian menyebabkan tanah bergerak atau runtuh. Di beberapa negara, banyak insiden keruntuhan galian dalam yang disebabkan oleh kegagalan sistem galian berturap yang mengakibatkan kerugian finansial dan korban jiwa oleh karena itu, perencanaan sistem galian berturap yang aman dan efektif sangat penting untuk mencegah kegagalan dalam konstruksi galian. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kedalaman pemancangan turap, spesifikasi turap dan kapasitas *strut* untuk kedalaman galian 10 m dan lebar galian 6.9 m. Hasil perancangan didapatkan kedalaman pemancangan turap aktual 10,2 m sehingga panjang total turap adalah 20,2 m. Hasil perhitungan analitis didapatkan nilai momen lentur sebesar 78,3 kN.m/m dan dari hasil analisis numerik didapatkan nilai momen lentur sebesar 62,10 kN/m/m. Berdasarkan kedua nilai tersebut didapatkan spesifikasi turap profil U dengan penampang tipe II. Hasil analisis kapasitas *strut* didapatkan nilai kekuatan tekan aksial yang diizinkan sebesar 2.500,9 kN lebih besar dari beban rencana *strut* yaitu 518,9 kN, maka *strut* mampu menahan beban yang diterima oleh turap.

Kata kunci: kohesi, kedalaman pemancangan, spesifikasi, momen lentur, kapasitas *strut*

Abstract

Stiff clay is soil with high cohesion to withstand soil pressure at a certain depth. Despite having high cohesion excavations in stiff clay can still experience movement or landslides if the excavation is not supported sufficiently because the shear force acting on the side of the excavation causes the soil to move or collapse. In various countries, there have been many incidents of deep excavation collapse caused by the failure of the sheet pile excavation system, which resulted in financial losses and casualties. Therefore, planning a safe and effective sheet pile excavation system is essential to prevent failure in excavation construction. This study aims to obtain the actual depth of sheet pile penetration, specifications, and the capacity of the struts for an excavation depth of 10 m and an excavation width of 6.9 m. The design results obtained the actual penetration depth of 10.2 m, so that the total length of the sheet pile 20.2 m. The analytical calculation results obtained a bending moment value of 78.3 kN.m/m, and numerical analysis results obtained a bending moment value of 62.10 kN/m/m. Based on these two values, the specifications of the U-profile sheet pile with a type II cross-section were obtained. The analysis of the strut's capacity obtained an allowable axial compressive strength value of 2,500.9 kN greater than the design load of the struts, which is 518.9 kN, so that the struts can withstand the load.

Keywords: cohesion, penetration depth, specification, bending moment, struts capacity

1. Latar Belakang

Di daerah perkotaan, lalu lintas yang padat dan kurangnya ruang yang memadai telah memaksa para insinyur sipil untuk menggali lebih dalam ke dalam tanah guna menciptakan ruang lantai tambahan untuk memenuhi kebutuhan ruang yang semakin meningkat untuk fasilitas, tempat parkir, dan untuk perumahan utilitas bangunan (Dinagr dan Prasad, 2013). Di daerah perkotaan juga banyak bangunan dan jalan terletak di dekat area konstruksi. Saat penggalian berlangsung, dinding penahan ditopang oleh komponen horizontal yang dikenal sebagai *strut*. Pergeseran lateral dinding dan perpindahan vertikal permukaan tanah terjadi secara bersamaan, yang pada gilirannya dapat secara langsung memengaruhi stabilitas infrastruktur di sekitarnya. Oleh karena itu, salah satu aspek penting dari penggalian bawah tanah adalah penurunan tanah di sekitarnya (Chowdhury, Deb dan Sengupta, 2013). Galian dalam diperlukan untuk pembangunan struktur bawah tanah, seperti ruang parkir bawah tanah, ruang utilitas, saluran pembuangan, atau *basement*. *Basement* menjadi solusi karena keterbatasan lahan di kota besar (Wibisono, Zayadi dan Ruwaida, 2012; Suwandi dan Rahayu, 2014; Febrian dan Makarim, 2019; Livando dan Kawanda, 2020; Maharani, Nurtjahjaningtyas dan Wicaksono, 2021; Susanto dan Susilo, 2022). Pembangunan *basement* perlu mengetahui kondisi tanah di lapangan (Christian, Suwarno dan Arif, 2021; Kefas, Rahardjo dan Lim, 2022).

Galian berturap pada tanah lempung kaku adalah sebuah metode konstruksi yang digunakan untuk menggali dan menahan tanah yang digali, dengan tujuan untuk mencegah keruntuhan atau longsoran pada lereng atau dinding galian, terutama pada tanah yang memiliki sifat lempung kaku. Tanah lempung kaku memiliki karakteristik yang khas, seperti nilai kohesi yang tinggi biasanya berada pada rentang daya dukung yang tinggi namun cenderung rapuh (Ciancimino *et al.*, 2024) jika tidak dikelola dengan benar, lempung kaku mudah menjadi sangat keras saat kering atau lengket ketika basah. Lempung kaku biasanya memiliki nilai kuat tekan bebas (q_u) pada rentang 96 – 192 kPa, N-SPT 8-16 dan berat volume 18,8 - 22 kN/m³ (Hannigan dkk., 2006).

Berdasarkan pengalaman, keruntuhan dinding turap diangkur (*anchored sheet pile walls*) dan galian berturap (*braced cut*) jarang terjadi sebagai akibat dari ketidakcukupan teori tekanan tanah modern. Sebaliknya, keruntuhan tersebut disebabkan karena mengabaikan beban timbunan, ketidakstabilan tanah, kondisi cuaca yang buruk, desain yang kurang tepat, atau konstruksi yang tidak memadai (Puller, 1996). Kestabilan galian harus diperhatikan karena dapat berpengaruh terhadap keselamatan manusia (Aldo and Susilo, 2018). Sistem *strut* sangat perlu diperhatikan dalam konstruksi terowongan untuk menahan beban terowongan. Kasus keruntuhan kebanyakan disebabkan karena kegagalan sistem *strut* seperti kerusakan terowongan yang pernah terjadi di London tahun 2005 (Apriyono dan Sumiyanto, 2010). Millennium tower yang dibangun di kota Downtown San Fransisco USA, dibangun pada tahun 2005 hingga 2009 mengalami retak pada dinding bawah tanah (*basement*) yang menimbulkan kebocoran (Advanced Structural Analysis and Design, 2021).

Faktor-faktor teknis yang perlu diperhatikan dalam perencanaan dan pelaksanaan galian dalam adalah tekanan air tanah, rembesan (*seepage*), air artesis, *squeezing* (*soil flow*), *heaving*, *software* (kesalahan penerapan model tanah dan kesalahan pemilihan parameter tanah) serta faktor pelaksanaan (Gouw, 2004). Galian dalam semakin banyak dilakukan di daerah perkotaan, namun proses

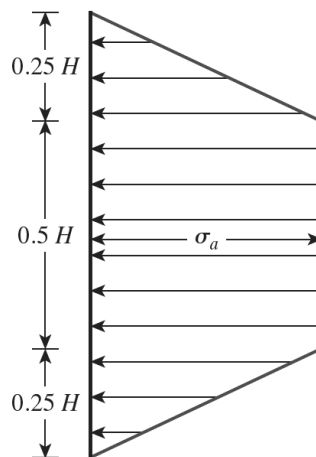
penggalian pasti mengubah keadaan tegangan di bawah tanah dan dapat menyebabkan deformasi dinding dan pergerakan tanah yang signifikan, yang akan menyebabkan kerusakan potensial pada properti yang berdekatan. Untuk mengurangi deformasi yang disebabkan oleh penggalian maka dinding penahan dan sistem pendukung yang tepat harus dirancang melalui metode konstruksi yang memadai (Zhang dkk., 2019).

Sebagian besar penelitian tentang galian dalam didasarkan pada pemodelan analitis dan numerik. Metode elemen batas telah digunakan untuk mempelajari tekanan tanah, beban *strut*, momen lentur, dan defleksi horizontal untuk *strut* dan pola penurunan tanah (Ng and Lings, 1995; Vaziri, 1996; Costa, Borges and Fernandes, 2007; Chungsik and Dongyeob, 2008). Metode analitis perlu dilakukan untuk mendapatkan profil komponen galian berturap. Berdasarkan hal tersebut perancangan dan analisis galian dalam dengan turap dan *strut* pada tanah lempung kaku sangat penting dalam berbagai proyek konstruksi yang melibatkan penggalian tanah. Tanah lempung kaku, yang cenderung keras dan rapat terutama saat kering, memerlukan perhatian khusus dalam proses perancangannya, baik dari segi stabilitas lereng maupun struktur turap yang digunakan.

2. Metode Penelitian

2.1 Tekanan Tanah Lateral untuk Perancangan Galian Dalam

Tekanan lateral pada galian dalam dipengaruhi oleh jenis tanah, metode konstruksi, dan peralatan yang digunakan. Menurut Peck (1969) dalam (Das, Endah dan Mochtar, 1995; Das dan Sivakugan, 2019) diagram tekanan lateral untuk galian dalam pada tanah lempung kaku ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Tekanan Tanah Lateral pada Tanah Lempung Kaku
(Das, Endah dan Mochtar, 1995; Das dan Sivakugan, 2019)

Tanah lempung kaku adalah tanah yang memiliki rasio tegangan terhadap kohesi kecil sama dengan 4 seperti pada persamaan (1).

$$\frac{\gamma H}{c} \leq 4 \quad (1)$$

Keterangan

- γ = berat satuan tanah (kN/m³)
 H = kedalaman atau tinggi tanah yang ditahan (m)
 c = kohesi tanah (kN/m²)

2.2 Variasi Desain Komponen Galian Berturap

Strut merupakan elemen horizontal yang mengalami lentur. Dalam proyek konstruksi, standar minimal untuk jarak vertikal antara *strut* adalah $\geq 2,75$ m. Pada tanah kohesif, kedalaman *strut* pertama sebaiknya lebih kecil dari kedalaman retak tarik (Z_c). Nilai Z_c dapat dihitung menggunakan persamaan (2).

$$Z_c = \frac{2c}{\gamma} \quad (2)$$

Dalam menentukan jenis penampang turap, diperlukan nilai momen lentur maksimum (M_{max}). Sehingga modulus penampang dari turap dapat dirumuskan sebagai:

$$S = \frac{M_{max}}{\sigma_{all}} \quad (3)$$

Keterangan:

- M_{max} = momen lentur maksimum yang bekerja pada turap (kNm)
 σ_{all} = tegangan lentur yang diizinkan pada material turap (kN/m²)

2.3 Tekuk Lentur pada Komponen Struktur Tanpa Elemen Langsing

Kekuatan tekan nominal (P_n) harus ditentukan berdasarkan keadaan batas berupa tekuk lentur yaitu dijelaskan pada persamaan (4).

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g \quad (4)$$

Tegangan kritis (F_{cr}) ditentukan dengan persamaan (5) dan persamaan (6).

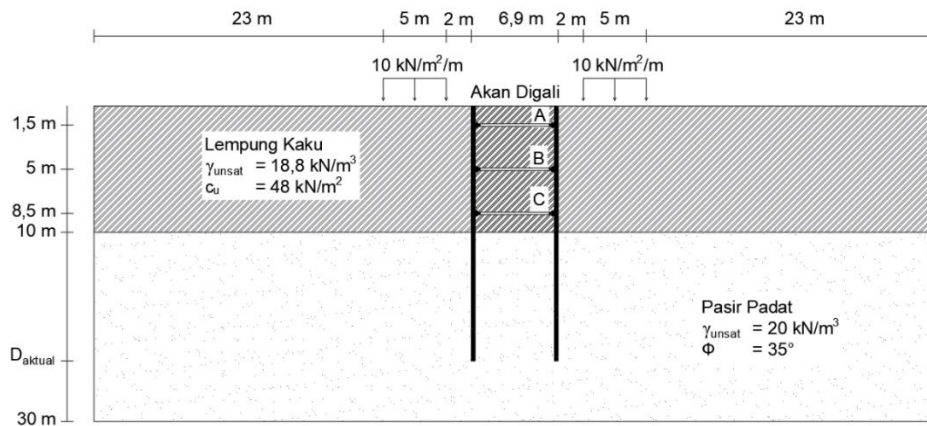
$$\begin{aligned} \text{Jika } \frac{L_c}{r} &\leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (\text{atau } \frac{F_y}{F_e} \leq 2,25) \\ \text{Maka } F_{cr} &= \left(0,658 \frac{F_y}{F_e} \right) F_y \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{Jika } \frac{L_c}{r} &> 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (\text{atau } \frac{F_y}{F_e} \leq 2,25) \\ \text{Maka } F_{cr} &= 0,887 F_e \end{aligned} \quad (6)$$

Di mana A_g adalah luas penampang melintang bruto komponen struktur (mm²), E adalah modulus elastisitas baja (200.000 MPa) dan F_e adalah tegangan tekuk elastis, atau melalui suatu analisis tekuk elastis (MPa), F_y adalah tegangan leleh minimum terspesifikasi untuk tipe baja yang digunakan (MPa), dan r adalah radius girasi (mm)

Perancangan konstruksi galian berturap dengan lebar 6,9 m pada tanah lempung kaku pada kedalaman 10 m yang terpenetrasi pada tanah lempung kaku. Perancangan ini mempertimbangkan beban untuk jalan kelas I di kedua sisi galian dengan beban maksimum 10 kN/m² yang terletak 2 m dari dinding galian berturap. Karena keterbatasan lokasi, penggunaan angkur tidak memungkinkan, sehingga digunakan balok penahan berupa *strut*. Tiga *strut* dirancang dengan jarak vertikal 3,5 m, di mana *strut* pertama ditempatkan pada kedalaman 1,5 m dari permukaan

tanah, yang lebih kecil dari kedalaman retak tarik (5,1 m). Parameter tanah lempung kaku dan pasir padat dapat dilihat pada Gambar 2.

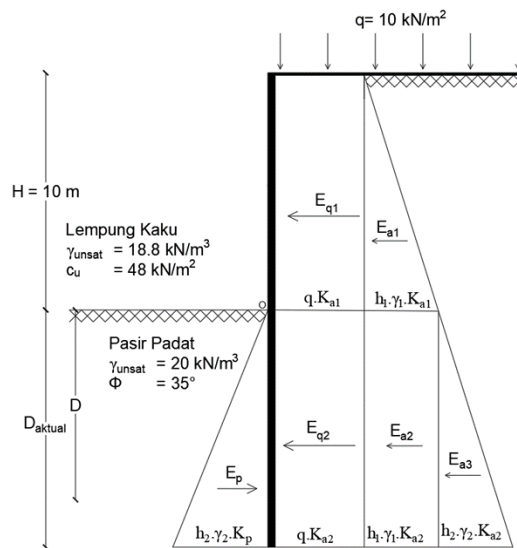


Gambar 2 Konstruksi Galian Berturap pada Tanah Lempung Kaku

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Kedalaman Pemancangan Turap

Gambar 3 adalah diagram tekanan tanah lateral pada perancangan konstruksi galian berturap.

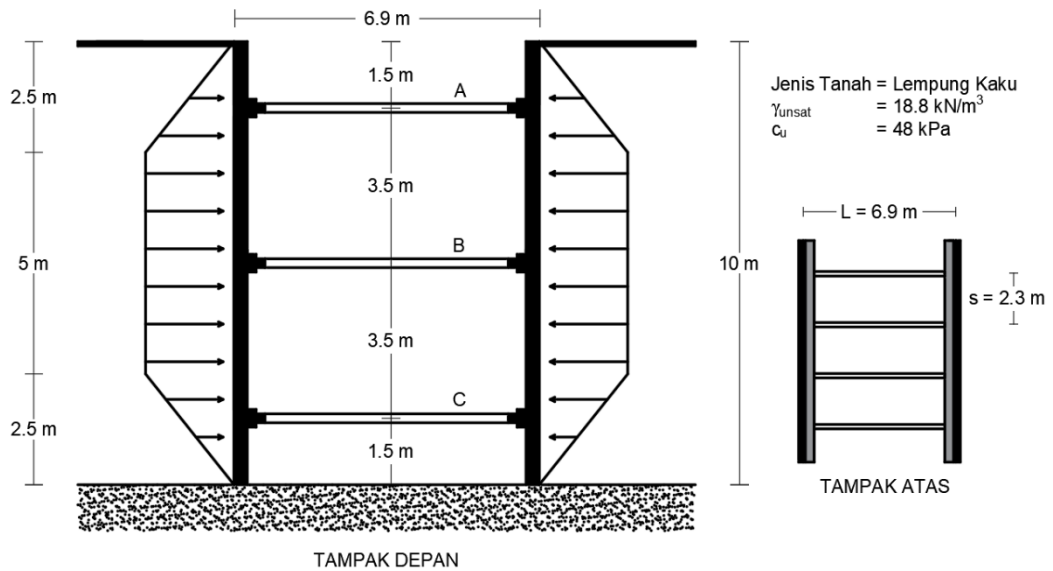


Gambar 2 Diagram Tekanan Tanah Lateral Galian Berturap

Kedalaman teoritis yang didapatkan dari hasil analisis adalah 8,5 m, maka kedalaman aktual adalah 10, 2 m untuk meningkatkan keamanan dan keselamatan dalam perancangan konstruksi galian berturap.

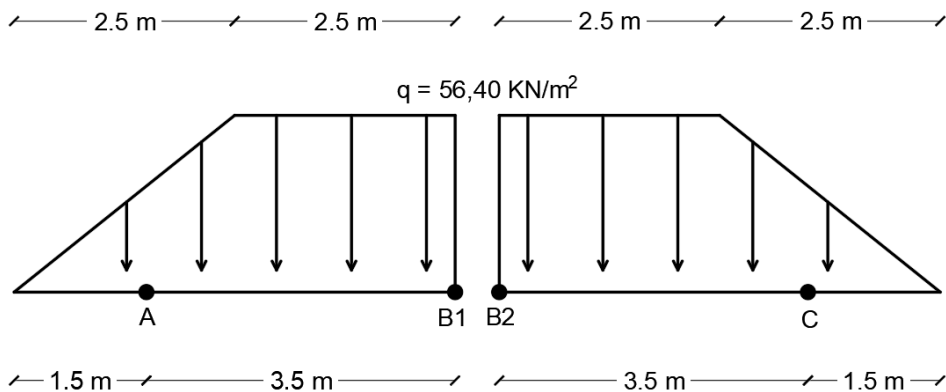
3.2 Hasil Perancangan Galian Berturap

Gambar 4 menunjukkan komponen-komponen pada turap galian dan beban yang bekerja pada turap galian.



Gambar 4 Komponen Galian Berturap dan Diagram Tekanan

Penentuan beban yang harus dipikul oleh setiap *strut* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Beban *strut* A, B, dan C

Reaksi vertikal yang terjadi pada *strut* jika ditinjau dari titik B₁ dijelaskan dalam Tabel 1.

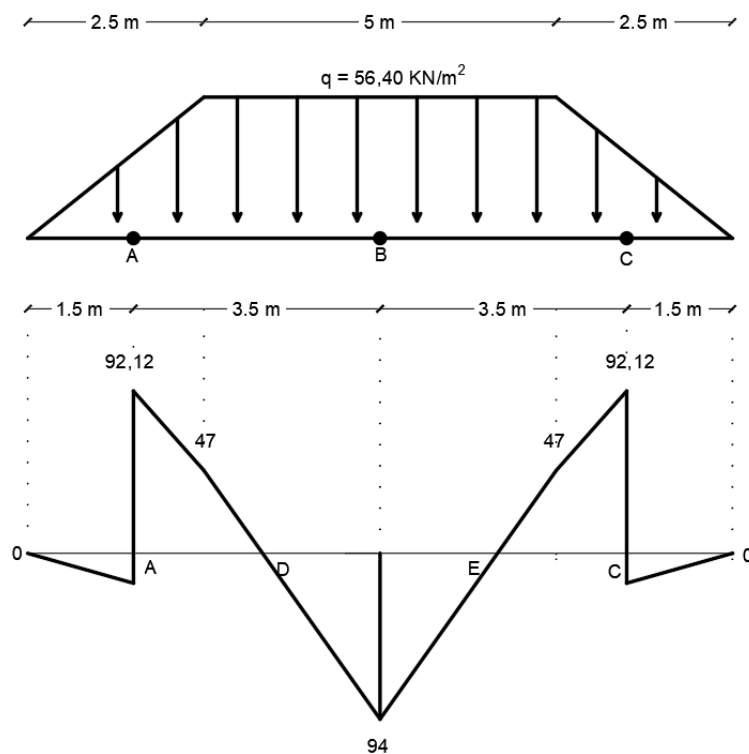
Tabel 1 Reaksi vertikal dan beban pada *strut*

<i>strut</i>	Reaksi Vertikal	Beban Rencana <i>strut</i>
A	117,5 kN/m	270,25 kN
B	94 kN/m	432,4 kN
C	117,5 kN/m	270,25 kN

Gaya geser yang terjadi pada diagram tekanan tanah lateral dijelaskan pada Tabel 2 dan diagram gaya geser ditunjukkan oleh Gambar 6.

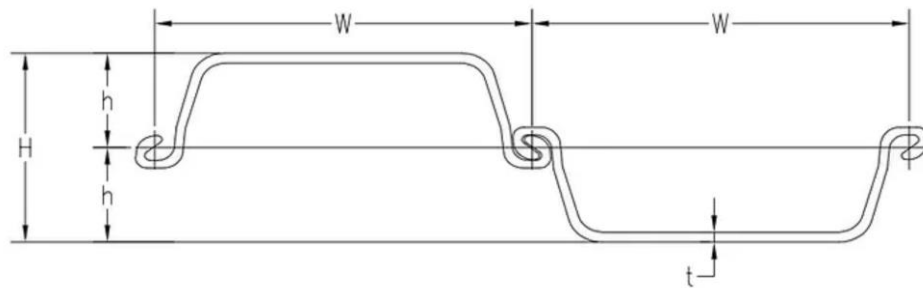
Tabel 2 Gaya geser

Peletakan	Bentang	Nilai x	Gaya Geser
Kiri	$0 \leq x \leq 1,5$	0	0 kN
		1,5	16,92 kN
	$1,5 \leq x \leq 2,5$	1,5	-92,12 kN
		2,5	-47 kN
Kanan	$0 \leq x \leq 2,5$	0	94 kN
		2,5	-47 kN



Gambar 6 Diagram Gaya Geser

Momen lentur maksimum terbesar terjadi pada titik D atau E (gaya geser nol) sebesar 78,3 kN.m/m panjang dinding. Dengan menggunakan persamaan (3) didapatkan modulus penampang turap (S) sebesar $460,78 \text{ cm}^3/\text{m}$, tipe turap yang sesuai adalah turap profil U tipe II (Gambar 7), di mana nilai modulus penampang turap untuk tipe U ini adalah $874 \text{ cm}^3/\text{m}$. Panjang turap yang tersedia biasanya dalam ukuran 6 m, 9 m, 12 m, dan 15 m serta dapat difabrikasi hingga panjang maksimum 27 m sehingga tidak perlu disambung.



Gambar 7 Turap Profil U Tipe II (ESC Steel Indonesia, n.d)

3.3 Kapasitas *Strut*

Kapasitas *strut* dihitung untuk menentukan apakah *strut* tersebut mampu atau tidak mampu untuk menahan beban lateral yang diterima oleh turap. Tentukan kekuatan tekan nominal (P_n) menggunakan persamaan (4). Modulus elastisitas baja (E) yang digunakan 200×10^3 MPa dan kuat leleh (F_y) sebesar 320 MPa. Pada penelitian ini profil *strut* diasumsikan sama dengan profil turap. Tabel 3 menunjukkan hasil perhitungan kapasitas *strut* di mana hasil analisis menunjukkan bahwa nilai kekuatan tekan aksial yang diizinkan 2.400,98 kN lebih besar dari pada beban *strut* terbesar yang direncanakan 518,88 kN, maka *strut* mampu menahan beban yang diterima oleh turap, sehingga kapasitas *strut* dapat digunakan.

Tabel 3 Hasil perhitungan kapasitas *strut*

Keterangan	Hasil
Tegangan kritis (F_{cr})	181.744,085 KN/m ²
Kekuatan tekan nominal (P_n)	2.778,867 KN
Kekuatan tekan aksial yang diizinkan	2.500,980 kN
Beban <i>strut</i> yang direncanakan	518,88 kN

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Dari hasil perancangan analisis turap dan *strut* pada lempung kaku didapatkan profil turap jenis U Tipe II merupakan pilihan yang aman dan efektif untuk konstruksi galian berturap pada tanah lempung kaku. Turap tipe II memiliki nilai modulus penampang yang lebih besar dibandingkan nilai modulus penampang yang direncanakan, sehingga kapasitas *strut* yang digunakan juga dapat memenuhi kebutuhan. Kedalaman penetrasi aktual dari turap didapatkan sebesar 10,2 m, sehingga panjang turap yang diperlukan adalah 20,2 m.

4.2 Saran

Untuk galian dalam sangat disarankan untuk mengetahui jenis tanah dan sifat-sifat mekanisnya, seperti daya dukung, kohesi, dan sudut geser tanah. Ini sangat penting untuk menentukan desain turap yang tepat. Jika galian cukup dalam perlu pertimbangkan kestabilan lereng galian serta pastikan untuk menghitung kemungkinan adanya pergeseran tanah atau risiko longsor yang bisa merusak

struktur turap. Dengan mengikuti pertimbangan tersebut maka galian berturap akan dapat dirancang dengan aman, efisien, dan dapat berfungsi dalam jangka panjang tanpa menimbulkan risiko terhadap stabilitas tanah atau struktur lainnya.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kepada LPPM Universitas Andalas yang sudah mendanai penelitian ini dengan skema Penelitian Skripsi Sarjana (PSS) nomor kontrak 243/UN16.19/PT.01.03/PSS/2024, tanggal 17 Juli 2024.

Daftar Kepustakaan

- Advanced Structural Analysis and Design (2021) *Millennium Tower – Bangunan Tinggi yang Tenggelam (Part 1)*, <https://ryanrakhmats.wordpress.com/2021/09/19/millennium-tower-bangunan-tinggi-yang-tenggelam-part-1/>.
- Aldo, A. and Susilo, A.J. (2018) ‘Analisis Pengaruh Tahapan Penggalian Basement Menggunakan Aplikasi Bmcolpy/G dan Plaxis 2d’, *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 1(2), pp. 149–158.
- Apriyono, A. and Sumiyanto (2010) ‘Tinjauan Kekuatan Sistem Penyangga Terowongan dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga’, *Dinamika Rekayasa*, 6(1), pp. 33–38.
- Chowdhury, S.S., Deb, K. and Sengupta, A. (2013) ‘Estimation of Design Parameters for Braced Excavation: Numerical Study’, *International Journal of Geomechanics*, pp. 234–247.
- Christian, M.A., Suwarno and Arif, M. (2021) ‘Alternatif Perencanaan Dinding Penahan Tanah dan Pondasi pada Basement Gedung Menara Mandiri Denpasar’, *Jurnal Teknik ITS*, 10(2).
- Chungsik, Y. and Dongyeob, L. (2008) ‘Deep Excavation-Induced Groundsurface Movement Characteristics’, *Computers and Geotechnics*, 32(2), pp. 231–252.
- Ciancimino, A. *et al.* (2024) ‘A Preliminary Investigation on The Mechanical Behaviour of A Stiff Italian Clay in The Context of Hydrogen Storage’, *Geomechanics for Energy and the Environment*, 38, p. 100562. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.gete.2024.100562>.
- Costa, P.A., Borges, J.L. and Fernandes, M.M. (2007) ‘Analysis of a Braced Excavation in Soft Soils Considering the Consolidation Effect’, *Geotechnical and Geological Engineering*, 25(6), pp. 617–629.
- Das, B.M., Endah, N. and Mochtar, I.B. (1995) *Mekanika Tanah: Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis*. Jilid 1. Erlangga.
- Das, B.M. and Sivakugan, N. (2019) *Principles of Foundation Engineering*. Ninth edition. Boston, USA: Cengage Learning, Inc.
- Dinagr, K.M. and Prasad, R.K. (2013) ‘Effect of Deep Excavation on Adjacent Buildings By Diaphragm Wall Technique Using PLAXIS ’, *Journal of Mechanical and Civil Engineering* [Preprint].

- ESC Steel Indonesia (no date) *ESC Hot Rolled U Sheet Piles Inventory - Readily Available In Indonesia*, <https://www.escsteel.co.id/u-series>.
- Febrian, A. and Makarim, C.A. (2019) 'Analisis Perilaku Tanah Dispersif Terhadap Dinding Penahan Tanah Dalam Pekerjaan Dewatering Konstruksi Basement', *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(1), pp. 87–94.
- Gouw, T.L. (2004) 'Keruntuhan Galian Dalam - Apakah Penyebabnya?', *Pertemuan Ilmiah Tahunan HATTI*, pp. 1–16.
- Kefas, P., Rahardjo, P.P. and Lim, A. (2022) 'Analisis Galian Dalam Dengan Perkuatan Angkur dan Strut Menggunakan Model 3D di Jakarta Utara', *Teras Jurnal*, 12(2).
- Livando, R. and Kawanda, A. (2020) 'Perancangan Dinding Penahan Tanah pada Basement dengan Dukungan Strut-Beam', *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 3(3), p. 823. Available at: <https://doi.org/10.24912/jmts.v3i3.8748>.
- Maharani, T., Nurtjahjaningtyas, I. and Wicaksono, L.A. (2021) 'Desain Ulang Dinding Penahan Tanah Menggunakan Dinding Diafragma dan Angkur pada Tanah Lunak (Studi Kasus: Grand Dharmahusada Lagoon) 1 Redesign Retaining Wall Using Diaphragm Wall and Ground Anchor in Soft Soil (Case Study: Grand Dharmahusada Lagoon)', *Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan*, 5(2), pp. 142–154.
- Mini M.P., Kurian, B. and James, A. (2018) 'Theoretical Study on the Analysis of Diaphragm Wall', *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 5(5), pp. 4089–4092.
- Ng, C.W.W. and Lings, M.L. (1995) 'Effects of Modeling soil Non-Linearity and Wall Installation on Back-Analysis of Deep Excavation in Stiffclay', *Journal of Geotechnical Engineering*, 121(10).
- Puller, M. (1996) *Deep Excavations a Practical manual*. First edition. Thomas Telford Publishing.
- Susanto, M.M. and Susilo, A.J. (2022) 'Perencanaan Sistem Penunjang untuk Mengatasi Penambahan Deformasi Dinding Diafragma pada Proyek Galian Basemen', *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 5(4), pp. 751–766.
- Suwandi and Rahayu, T. (2014) 'Evaluasi Penggunaan Dinding Penahan Tanah pada Tanah Berkohesi Rendah terhadap Penambahan Soldier Pile', *Jurnal Konstruksia / Volume 6 Nomer 1/ Desember 2014*, 6(1), pp. 103–112.
- Vaziri, H.H. (1996) 'Numerical Study of Parameters Influencing the Response of Flexible Retaining Walls', *Canadian Geotechnical Journal*, 33, pp. 290–308.
- Wibisono, Zayadi, J.E. and Ruwaida (2012) 'Evaluasi Pergerakan Tanah pada "Diaphragm Wall dan Soldier Piles" Selama Pelaksanaan Konstruksi Galian Dalam', *Jurnal Geoteknik*, 6, pp. 66–74.
- Zhang, W. *et al.* (2019) 'Estimation of Strut Forces for Braced Excavation in Granular Soils from Numerical Analysis and ase Histories', *Computers and Geotechnics*, 106, pp. 286–295.