

EVALUASI KEGAGALAN STRUKTUR DINDING PENAHAN GRAVITASI PADA LERENG TANAH KOHESIF

STRUCTURE FAILURE EVALUATION OF GRAVITY RETAINING WALLS ON COHESIVE SOIL SLOPES

Rina Yuliet^{1a*}, Rifqi Luthfi Alfian^{2b}, Abdul Hakam^{3a}, Hendri Gusti Putra^{4a}

^a Universitas Andalas, Departemen Teknik Sipil, Kampus Unand Limau Manis, Padang, Indonesia

^b Universitas Andalas, Mahasiswa Departemen Teknik Sipil, Kampus Unand Limau Manis, Padang, Indonesia

e-mail: rina@eng.unand.ac.id, second author, rifqila2@gmail.com, Ahakam@eng.unand.ac.id,
hendriqp@eng.unand.ac.id

ABSTRACT

The stability of gravity walls is influenced by their own weight. The soil retained behind the wall and the soil below the base slab must know the basic parameters such as the unit weight, angle of friction, and cohesion. If the soil retained behind the wall is cohesive, then there will be a depth of the tensile crack. When it rains, water will enter into the tensile crack, which causes an increase in lateral earth pressure due to hydrostatic pressure. This study aims to evaluate the gravity wall structure's failure and find the right solution. Mazindrani and Ganjali's (1997) equation was used to get the active earth pressure at a depth after tension cracking. The checks for stability against overturning, sliding, and bearing capacity failure, show that the existing retaining wall dimensions have a safety factor greater than required, where $FS_{\text{overturning}} = 2.5$, $FS_{\text{sliding}} = 3$, and $FS_{\text{bearing capacity}} = 3$. The cause of the failure of the gravity walls is the continuation of construction not being carried out of the gravity wall on slopes close to the existing gravity wall. The right solution to prevent the failure of the gravity wall is to continue the construction of the gravity wall structure, improve drainage and cut the slope to be horizontal

Keywords: gravity walls, cohesive soil, stability, factor of safety

I. PENDAHULUAN

Pada bulan Maret tahun 2021 terjadi kegagalan struktur Dinding Penahan Tanah (DPT) yang berada di depan Gedung Science Tech Park (STP) Universitas Andalas Padang. Kegagalan struktur DPT terjadi pada saat musim hujan yang berkepanjangan. Dinding penahan tanah yang mengalami kegagalan berada dekat dengan lereng dengan kemiringan yang curam dan belum diberi dinding penahan tanah. Dari hasil pengamatan di lapangan terlihat bahwa jenis tanah yang berada di belakang dinding penahan tanah adalah tanah kohesif dan jenis dinding penahan tanah yang mengalami kegagalan adalah dinding penahan tanah gravitasi (Gambar 1).

Penelitian tentang kegagalan struktur DPT sudah banyak dilakukan. Penyebab kegagalan struktur DPT adalah karena dimensi DPT eksisting yang memiliki faktor keamanan yang rendah terhadap stabilitas guling, stabilitas geser dan stabilitas daya dukung [1]. Dimensi dinding penahan tanah yang terlalu kecil menjadi

penyebab keruntuhan dinding penahan tanah di desa Jadi Kediri Tabanan, karena DPT tidak mampu memikul gaya tekanan tanah lateral pada kondisi jenuh air [2]. Muka air tanah dan gempa sangat berpengaruh terhadap stabilitas dinding penahan tanah gravitasi [3].



Gambar 1. Kegagalan dinding penahan tanah gravitasi

Pada lereng yang tanahnya kohesif, stabilitas lereng sangat dipengaruhi oleh banyaknya air yang berinfiltrasi kedalam tanah. Hal ini akan

menambah beban lereng. Ketika tanah kohesif mengalami retak, pada saat hujan retakan akan terisi oleh air dan akan menambah beban dari lereng sehingga berpotensi terjadinya kelongsoran. Tempat terjadinya longsoran biasanya dilokasi-lokasi dimana air hujan meresap kedalam tanah dalam jumlah yang besar.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dimensi dari struktur DPT eksisting dengan menganalisis stabilitas guling, stabilitas geser lateral dan stabilitas daya dukung pada DPT yang berlokasi disekitar gedung *Science Techno Park* (STP) Universitas Andalas. Dari hasil evaluasi diharapkan dapat diketahui penyebab kegagalan dari struktur DPT tersebut dan mencari solusi yang tepat agar tidak terjadi lagi kegagalan struktur DPT pada masa-masa berikutnya.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada DPT yang berlokasi di Gedung *Science Techno Park* (STP) Universitas Andalas. Sebelum melakukan analisis stabilitas DPT, terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan lapangan untuk melihat kondisi DPT eksisting. Setelah itu dilakukan evaluasi dimensi dinding penahan tanah eksisting dengan tahapan sebagai berikut:

- Mengukur dimensi DPT eksisting dan kemiringan lereng yang berada di belakang DPT.
- Mengambil sampel tanah yang berada di belakang DPT untuk dilakukan uji laboratorium.
- Melakukan check stabilitas (guling, geser dan daya dukung) terhadap dimensi eksisting. Pada penelitian ini persamaan yang digunakan untuk menghitung tekanan tanah lateral adalah persamaan yang diturunkan oleh Mazindrani dan Ganjali (1997), seperti pada persamaan (3), persamaan (4) dan persamaan (5).
- Dari hasil check stabilitas dapat diketahui stabilitas dari DPT eksisting, jika tidak terpenuhi maka disarankan untuk melakukan perubahan dimensi dan dicek lagi stabilitas.

Pada penelitian ini untuk hitungan manual hanya dilakukan check stabilitas terhadap guling, geser dan daya dukung.

A. Dinding Penahan Tanah Gravitasi

Dinding penahan tanah gravitasi terbuat dari pasangan batu kali dimana stabilitasnya sangat dipengaruhi oleh berat sendiri dari dinding tersebut. DPT gravitasi hanya bisa digunakan untuk menahan tanah asli. Langkah pertama dalam merencanakan DPT adalah dengan menentukan dimensi DPT. Setelah itu dilakukan analisis stabilitas DPT, jika tidak memenuhi syarat stabilitas maka dilakukan penyesuaian dimensi

DPT sehingga didapatkan dimensi DPT yang optimal [4].

Kondisi tanah adalah salah satu faktor yang harus diperhatikan dalam perancangan DPT. Penurunan jangka panjang dan tergulingnya DPT dapat terjadi jika tanah lunak berada di bawah lapisan tanah yang langsung mendukung DPT [5].

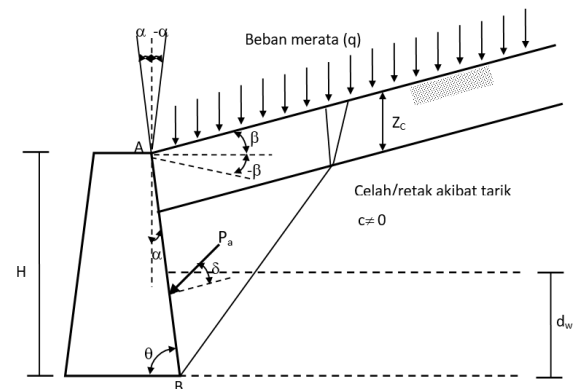
B. Tekanan Tanah Aktif pada Tanah Kohesif

Persamaan untuk menentukan tekanan tanah aktif (P_a) menurut Coulomb cukup rumit [6]. Sudut $\alpha = 90 - \theta$ adalah sudut antara kemiringan dinding dengan sumbu vertikal. Tekanan tanah aktif (P_a) pada tanah kohesif adalah:

$$P_a = \left(\frac{1}{2} \gamma_s H^2 k_\gamma + 9Hk_q + cHk_c \right) \times \gamma_{TA}^u \quad (1)$$

Untuk mendapatkan nilai k_γ , k_q dan k_c , teori Coulomb ini hanya dibatasi untuk kemiringan lereng (α) antara -10° sd 10° saja. Dari Gambar 2, kedalaman retak tarik (z_c) menurut Coulomb adalah:

$$z_c = \left[\frac{2c_u}{\gamma_s \tan\left(45 - \frac{\phi}{2}\right)} - \frac{q}{\gamma_s \tan\left(45 - \frac{\phi}{2}\right)} \right] \quad (2)$$



Gambar 2. Notasi untuk perhitungan tekanan tanah aktif Coulomb pada tanah kohesif [6]

Mazindrani dan Ganjali (1997) menurunkan persamaan yang digunakan untuk menghitung tekanan tanah aktif sesudah retak tarik [7], yaitu:

$$\sigma'_a = \gamma H' K'_a \cos \alpha \quad (3)$$

$$P_a = \frac{1}{2} H \sigma_a \quad (4)$$

Dimana K'_a adalah koefisien tekanan tanah aktif sbb:

$$K'_a = \frac{1}{\cos^2 \phi'} \left\{ 2 \cos^2 \alpha + 2 \left(\frac{c'}{\gamma z} \right) \cos \phi' \sin \phi' - \sqrt{4 \cos^2 \alpha (\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi') + 4 \left(\frac{c'}{\gamma z} \right)^2 \cos^2 \phi' + 8 \left(\frac{c'}{\gamma z} \right) \cos^2 \alpha \sin \phi' \cos \phi'} \right\} - 1 \quad (5)$$

Persamaan (5) dari Mazindrani dan Ganjali (1997) hanya bisa digunakan untuk sudut kemiringan lereng yang tidak terlalu curam. Jika sudut kemiringan lereng terlalu besar maka nilai K_a pada persamaan (5) tidak dapat didefinisikan. Akibatnya tekanan tanah aktif tidak dapat dihitung. Kedalaman retak tarik (z_c) menurut Mazindrani dan Ganjali (1997) adalah:

$$z_c = \left[\frac{2c}{\gamma} \sqrt{\frac{1+\sin\phi}{1-\sin\phi}} \right] \quad (6)$$

Gaya hidrostatik akibat air dalam retak tarik harus ditambahkan. Bila tidak ada pipa drainase pada DPT maka tekanan hidrostatik harus diperhitungkan [8].

C. Stabilitas Dinding Penahan Tanah Gravitasi

1) Check terhadap Guling (Overturning)

Faktor keamanan terhadap guling (FK) ≥ 2 (SNI 8460-2017), dimana:

$$FK_{guling} = \frac{\sum M_R}{\sum M_o} \quad (7)$$

dimana:

$\sum M_o$ = Jumlah momen dari gaya-gaya yang menyebabkan guling di titik C

$$\sum M_o = P_{a1} \left(\frac{H}{3} \right) + P_{a2} \frac{H'}{2} + P_w \left(H + \frac{2}{3} z_c \right) \quad (8)$$

$\sum M_R$ = Jumlah momen dari gaya-gaya yang menahan guling di titik C. Untuk menghitung momen penahan maka P_p diabaikan. Yang diperhitungkan sebagai momen penahan adalah berat sendiri dari DPT yang terbuat dari pasangan batu kali.

2) Check terhadap Geser di Sepanjang Dasar Slab (Sliding)

Faktor Keamanan terhadap geser (FK) ≥ 1.5 (SNI 8460-2017), dimana:

$$FK_{geser} = \frac{\sum F'_R}{\sum F_d} \quad (9)$$

dimana:

$\sum F'_R$ = Jumlah gaya-gaya yang menahan pada arah horizontal

$\sum F'_d$ = Jumlah gaya-gaya yang menyebabkan pada arah horizontal

Persamaan (9) dapat ditulis sebagai berikut:

$$FK_{geser} = \frac{\sum V \tan \phi + Bc + P_p}{P_{a1} + P_{a2} + P_w} \quad (10)$$

3) Check Terhadap Keruntuhan Daya Dukung (Bearing Capacity Failure)

Faktor keamanan terhadap keruntuhan daya dukung adalah (FK) ≥ 3 (SNI 8460-2017), dimana:

$$q_{max} = \frac{\sum V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right) \quad (11)$$

$$q_{min} = \frac{\sum V}{B} \left(1 - \frac{6e}{B} \right) \quad (12)$$

dimana:

$$e = \frac{B}{2} - \left[\frac{\sum M_R - \sum M_o}{\sum V} \right] \quad (13)$$

Perlu diketahui bahwa ketika nilai eksentrisitas $> B/6$, q_{min} menjadi negatif [lihat persamaan (13)]. Hal ini menunjukkan bahwa akan ada tegangan tarik pada ujung dari penampang *heel*. Tegangan ini tidak diperlukan karena kekuatan tarik tanah sangat kecil. Jika analisis dari disain yang diberikan menunjukkan bahwa $e > B/6$, maka disain harus diganti dan perhitungan dilakukan kembali. Rumus daya dukung fondasi diberikan sebagai berikut:

$$q_u = cN_c F_{cd} F_{ci} + qN_q F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma d} F_{\gamma i} \quad (14)$$

$$q = \gamma D_f \quad (15)$$

Karena dasar DPT terletak dimuka tanah maka $D_f = 0$, sehingga q pada suku kedua persamaan 15 sama dengan nol.

$$F_{cd} = 1 + 0.4 \frac{D}{B} \quad (16)$$

$$F_{\gamma d} = 1 \quad (17)$$

$$F_{ci} = \left(1 - \frac{\psi}{90^\circ} \right)^2 \quad (18)$$

$$F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\psi}{\phi^\circ} \right)^2 \quad (19)$$

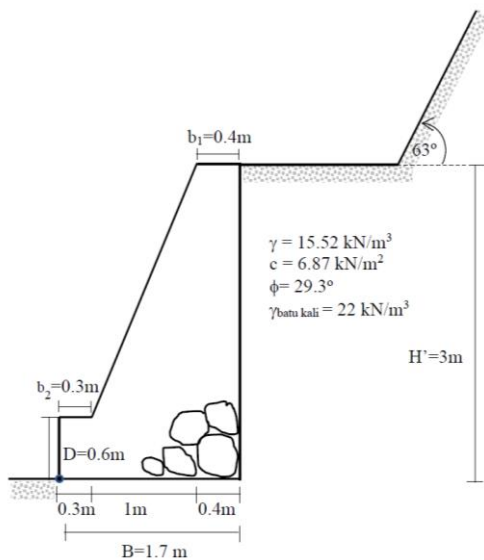
$$\psi^\circ = \tan^{-1} \left(\frac{\sum H}{\sum V} \right) \quad (20)$$

Faktor keamanan terhadap keruntuhan daya dukung adalah:

$$FK_{(daya\ dukung)} = \frac{q_u}{q_{max}} \quad (21)$$

III. HASIL EVALUASI DIMENSI DPT GRAVITASI EKSISTING

Gambar 3 merupakan hasil pengukuran dimensi dari DPT gravitasi eksisting di lapangan.



Gambar 3. Dimensi DPT gravitasi eksisting

Hasil pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa terdapat beberapa kegagalan pada struktur DPT, dimana dinding mengalami retakan besar (patah) dan satu sisi dinding lebih maju dibandingkan sisi dinding lainnya. Kemudian terjadinya longsor pada lereng alam yang belum diberi DPT. Pengambilan sampel tanah dibelakang DPT eksisting dilakukan untuk mendapatkan parameter tanah.

Dari hasil uji analisa saringan didapatkan persentase tanah lempung sebesar 68,7%, lanau 16, 6%, pasir 9,4% dan kerikil 5,3%. Persentase tanah lempung (tanah kohesif) lebih mendominasi dan sesuai dengan hasil pengamatan di lapangan. Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Andalas.

Berdasarkan SNI 8460-2017, dimensi eksisting sudah memenuhi syarat minimal dimensi tipikal dan dapat dilihat pada Tabel 2.

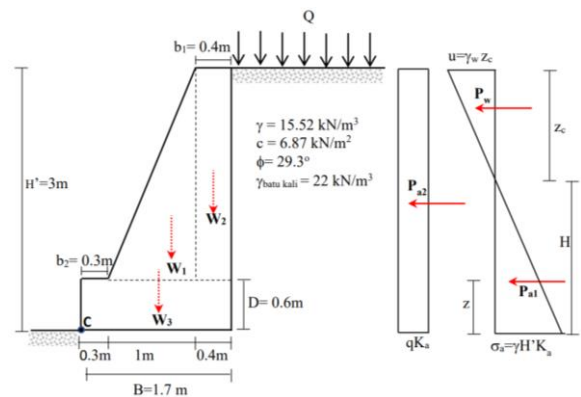
Tabel 1 Hasil uji parameter tanah

Parameter tanah	Nilai
Kohesi, c (kN/m ²)	6.87
Berat volume tanah, γ (kN/m ³)	15.52
Berat volume batu kali, γ (kN/m ³)	22
Sudut geser dalam, φ (°)	29.3

Tabel 2. Syarat minimal dari dimensi tipikal DPT Gravitasi

Dimensi Tipikal	Syarat minimal	Dimensi eksisting	Keterangan
Tinggi (H)	-	3	-
Lebar dasar slab (B)	0.5H-0.7H	1.75	Ok
Lebar atas (b ₁)	0.3m-H/12	0.4	Ok
Tinggi slab (D)	H/8-H/6	0.6	Ok
Lebar atas toe dan heel (b ₂)	D/2-D	0.3	Ok
Kemiringan minimal	1:48	1:3	Ok

Gambar 4 menunjukkan komponen gaya-gaya yang bekerja pada DPT. Pada analisis stabilitas DPT eksisting, dilakukan dengan variasi tinggi timbunan di atas DPT yaitu h=0 m, h = 0.5 m, h = 1 m, h = 1.5 m dan h =2 m. Dengan mengetahui ketinggian timbunan dan berat volume tanah timbunan yang diasumsikan sama dengan berat volume tanah asli, maka dapat diidealisasikan menjadi beban merata (Q) dimana Q = h γ. Sebagai contoh untuk tinggi timbunan 2 m maka Q = 2m x 15.52 kN/m³ = 31.04 kN/m².



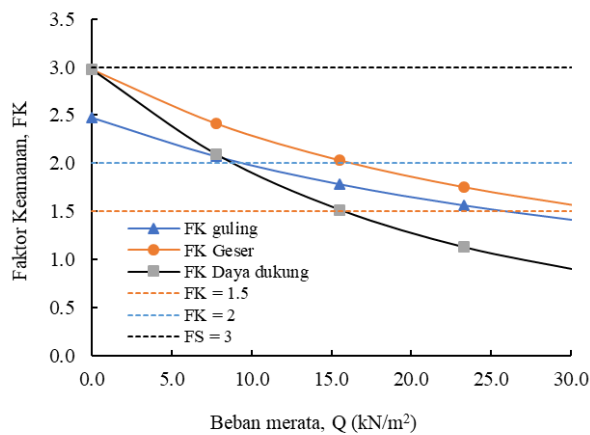
Gambar 4. Komponen gaya-gaya yang bekerja pada DPT gravitasi

Jika air hujan mengisi retakan yang terbuka, maka gaya tekan hidrostatik (P_w) yang bekerja pada sisi retakan menambah momen yang menggerakkan tanah untuk longsor. Hasil perhitungan faktor keamanan terhadap guling, geser dan daya dukung dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi hasil perhitungan Faktor Keamanan DPT Gravitasi pada tanah kohesif

Notasi	Tinggi lereng dari atas DPT (meter)				
	0	0.5	1	1.5	2
Koef. Tek. Tanah aktif, K_a'	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
Beban merata, Q (kN/m ²)	0.00	7.76	15.52	23.28	31.04
Eksentrisitas, e (meter)	0.20	0.29	0.37	0.46	0.54
q_{max} (kN/m ²)	70.37	82.71	95.04	107.38	119.72
q_{min} (kN/m ²)	11.94	-0.40	-12.74	-25.08	-37.41
Faktor daya dukung, N_c	27.80	27.80	27.80	27.80	27.80
Faktor daya dukung, N_q	16.44	16.44	16.44	16.44	16.44
Faktor daya dukung, N_γ	19.34	19.34	19.34	19.34	19.34
kedalaman fondasi, D_f (m)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Faktor kedalaman, F_{cd}	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Faktor kemiringan, F_{ci}	0.72	0.66	0.61	0.56	0.52
Faktor kedalaman, $F_{\gamma d}$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Faktor kemiringan, $F_{\gamma i}$	0.28	0.18	0.11	0.05	0.02
Sudut, ψ (°)	13.73	16.75	19.68	22.50	25.22
Daya dukung ultimit, q_u (kN/m ²)	209.07	173.21	144.02	121.08	103.85
FS (daya dukung)	3.0	2.1	1.5	1.1	0.9
Jumlah momen dari gaya2 yang menahan guling, ΣM_R	76.27	76.27	76.27	76.27	76.27
Jumlah momen dari gaya2 yang menyebabkan guling, ΣM_o	30.88	36.82	42.77	48.71	54.65
FS (guling)	2.5	2.1	1.8	1.6	1.4
Jumlah gaya2 vertikal, ΣV	69.96	69.96	69.96	69.96	69.96
Jumlah gaya2 horizontal, ΣH	17.10	21.06	25.02	28.98	32.94
FS (geser)	3.0	2.4	2.0	1.8	1.5

Dari Tabel 3 dapat dibuat grafik hubungan antara pembebanan dengan Faktor Keamanan (FK) seperti pada Gambar 5 berikut ini:



Gambar 5. Grafik hubungan antara pembebanan dengan faktor keamanan

Gambar 5 menunjukkan bahwa makin besar pembebanan (Q) maka makin berkurang faktor keamanan dan DPT menjadi tidak Stabil. Dari grafik terlihat bahwa ketika beban di atas dinding (Q) = 0, maka $FK_{guling} = 2.57 \geq 2$, $FK_{geser} = 3 \geq 1.5$ dan $FK_{daya\ dukung} \geq 3$, dinding tidak mengalami kegagalan. Sementara hasil analisis stabilitas ketika beban $Q=7.76$ kN/m², $Q=15.52$ kN/m², $Q=23.28$ kN/m² dan $Q=31.04$ kN/m², DPT menjadi tidak stabil. Dari hasil analisis stabilitas DPT dapat disimpulkan bahwa pemberian beban

di atas DPT menyebabkan terjadinya kegagalan DPT. DPT lebih aman ketika tidak diberi beban karena tekanan tanah aktif menjadi lebih kecil. Pemberian beban di atas DPT tidaklah tepat karena beban tersebut dapat menyebabkan bertambahnya tekanan tanah lateral dan mengakibatkan kegagalan DPT.

Untuk menghindari kegagalan DPT, lereng ditanami dengan rerumputan atau pepohonan. Dengan mengurangi kemiringan lereng berarti mengurangi beban pada dinding penahan tanah. Saluran drainase juga perlu dibuat untuk mempercepat air mengalir menyusuri lereng, sehingga mengurangi infiltrasi air hujan ke tanah.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil evaluasi terhadap dinding penahan tanah eksisting pada lereng tanah kohesif dapat disimpulkan bahwa dimensi DPT eksisting sudah sesuai dengan syarat minimal menurut SNI 8460-2017 sehingga dimensi DPT eksisting tidak perlu dirubah. Hasil analisis stabilitas menunjukkan bahwa kegagalan DPT eksisting bukan disebabkan karena dimensi DPT yang tidak aman terhadap guling, geser dan daya dukung, tapi lebih disebabkan karena terjadinya longoran pada lereng curam yang belum diberi DPT dan berada dekat dengan DPT eksisting.

Untuk mencegah terjadinya kegagalan DPT eksisting maka perlu dilanjutkan pembangunan DPT pada lereng curam yang berada dekat dengan

DPT eksisting dengan terlebih dahulu memperbaiki kembali DPT eksisting yang mengalami kegagalan. Untuk meningkatkan stabilitas DPT, sebaiknya lereng tanah yang berada di atas DPT dibuat horizontal dengan cara memotong lereng dan menanaminya dengan tanaman yang akarnya dapat menembus batuan dasar atau dengan tanaman yang dapat mengurangi infiltrasi aliran air ke dalam tanah seperti rerumputan serta membuat saluran drainase.

ACKNOWLEDGEMENT

Ucapan terimakasih kepada Fakultas Teknik Universitas Andalas Padang.

REFERENCES

- [1] Lestari, A. D., Putra, P. P., dan Nurtjahjaningtyas, I., *Evaluasi Kegagalan Dinding Penahan Tanah Pada Lereng Jalan Raya Rembang Kabupaten Jember*, Jurnal Bentang, Vol 10, No 2, hal. 58-168, Juli 2022.
- [2] Wiraga, I. W., Negera DRS, I. G. A. G. S., Arya, I. W., dan Wibawa, I. G. S., *Penyebab runtuhnya Dinding Penahan Tanah Pada Perumahan Karania Graha di Desa Jadi Kediri Tabanan*, Jurnal Logic, Vol 15, No 2, hal. 131-136, Juli 2015.
- [3] Kalalo, M., Ticoh, J. H., dan Mandagi, A. T., *Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah (Studi kasus: Sekitar Areal PT. Trakindo, Desa Maubi, Kabupaten Minahasa Utara)*, Jurnal Sipil Statik, Vol. 5, No 5, hal. 85-294, Juli 2017.
- [4] Badan Standarisasi Nasional, *Persyaratan Perancangan Geoteknik*, SNI 8460-2017, Jakarta, Indonesia: 2017, 191-198.
- [5] Badan Standarisasi Nasional, *Peraturan Pembebanan untuk Jembatan*, SNI 1725-2016, Jakarta, Indonesia: 2016, 13-15.
- [6] Directorate General of Highways, Ministry of Public Works Republic of Indonesia, *Bridge Design Manual Section 10. Design of Earth Retaining Wall*, Jakarta, Indonesia: 1992, 10.13.
- [7] B.M. Das, Sivakugan, N., *Principles of Geotechnical Engineering*. 9th edition, CENGAGE Learning, Boston, USA: 2019, 638-720.
- [8] H. C. Hardiyatmo, *Mekanika Tanah II*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta, Indonesia: 2004, 445-448.