

ANALISIS DESAIN DINDING PENAHAN TANAH DENGAN WASTE MATERIAL

Denniss Abiezer¹ dan Aniek Prihatiningsih²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
dennissabiezer1899@gmail.com

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

Masuk: 07-09-2022, revisi: 10-10-2022, diterima untuk diterbitkan: 17-10-2022

ABSTRACT

Slope is a plane on the ground level that connects higher ground level with lower ground level. On every slope there is always the possibility of landslides because on uneven ground, the component of gravity tends to move the soil from a high elevation to a lower elevation. One of the efforts that can be made to prevent landslide is to build a retaining wall. Retaining walls are generally made of concrete, but in some conditions, the use of common materials can be problematic, especially in terms of cost. The alternative that can be done is to use waste material. The use of waste material can reduce costs, save main material, and can reduce waste material disposal. In this calculation, the retaining wall is designed to use the gabion type using the waste material as filler material. The waste material is placed into the gabion, and the soil lateral pressure is calculated, followed by calculating the capacity of retaining wall, and calculating the potential for failure of the retaining wall. Based on the research conducted, it was found that the retaining wall with blasting stone is the most effective to be used as a substitute for the main material.

Keywords: Retaining wall, gabion, waste material, soil lateral pressure

ABSTRAK

Lereng adalah suatu bidang di permukaan tanah yang menghubungkan permukaan tanah yang lebih tinggi dengan permukaan tanah yang lebih rendah. Pada setiap lereng selalu ada kemungkinan terjadi longsor karena pada tanah yang tidak rata, komponen gravitasi cenderung menggerakkan tanah dari elevasi tinggi ke elevasi yang lebih rendah. Untuk mencegah terjadinya kelongsoran, salah satu upaya yang dapat diusahakan adalah dengan membangun dinding penahan tanah. Dinding penahan tanah umumnya terbuat dari beton, tetapi dalam beberapa kondisi, penggunaan material umum dapat mengalami kendala terutama dalam hal biaya. Salah satu alternatif yang bisa dilakukan adalah dengan menggunakan limbah konstruksi (*waste material*). Penggunaan limbah konstruksi ini dapat mengurangi biaya, menghemat material utama, serta dapat mengurangi pembuangan limbah konstruksi. Dalam perencanaan ini, dinding penahan tanah direncanakan menggunakan tipe bronjong dengan material pengisinya menggunakan waste material. Material dimasukan ke dalam bronjong, dan perhitungan dilakukan dengan memperhitungkan tekanan lateral tanah, dilanjutkan dengan menghitung kapasitas dinding penahan tanah, dan memperhitungkan potensi terjadinya kegagalan pada dinding penahan tanah. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, didapatkan bahwa dinding penahan tanah dengan blasting stone merupakan yang paling efektif untuk digunakan sebagai pengganti material utama.

Kata Kunci: Dinding penahan tanah, bronjong, waste material, tekanan lateral tanah

1. PENDAHULUAN

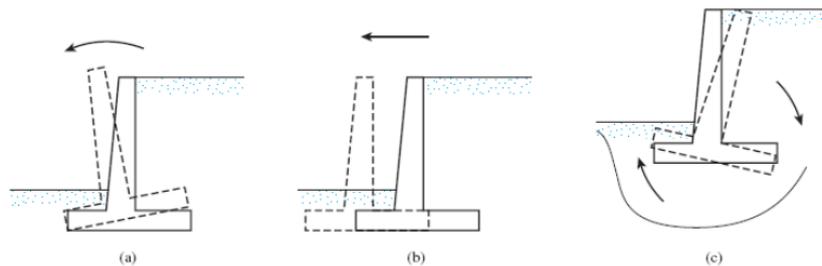
Latar Belakang

Dinding penahan tanah merupakan suatu struktur yang relatif kaku dan dibangun untuk menahan tanah secara lateral pada suatu lereng yang stabilitas tanahnya tidak dapat dijamin oleh tanah itu sendiri. Dinding penahan tanah dibagi menjadi beberapa jenis, di antaranya adalah *gravity wall* dan *cantilever wall*.

Gravity wall merupakan dinding penahan tanah yang mengandalkan berat sendiri untuk memberikan stabilitas yang diperlukan untuk menahan beban dari tanah maupun air di dalamnya (Al-Shukur & Al-Rammah, 2017). Jenis dinding ini biasanya dibangun menggunakan beton dan pasangan bata. Penggunaan dinding penahan tanah jenis ini sangat tidak ekonomis karena ukurannya yang besar. *Cantilever wall* merupakan dinding penahan tanah yang biasa terbuat dari beton bertulang. Dinding jenis ini merupakan jenis dinding penahan tanah yang umum digunakan. *Cantilever*

wall terdiri dari batang yang relatif tipis dan *base plate*. Bagian alasnya juga terbagi menjadi dua bagian, yaitu *heel* dan *toe*. Dinding penahan tanah jenis ini dapat menahan lereng setinggi 6 – 8 meter.

Dalam melakukan perencanaan dinding penahan tanah, pihak perencana perlu memperhitungkan apakah desain yang direncanakan dapat mengalami kegagalan atau tidak. Dalam aplikasinya, terdapat beberapa kegagalan yang dapat terjadi pada dinding penahan tanah. Yang pertama adalah kegagalan guling (*overturning failure*). Kegagalan guling adalah kegagalan yang disebabkan karena momen akibat gaya lateral lebih besar daripada momen akibat dinding. Sehingga dinding tidak mampu menahan momen yang timbul. Berikutnya adalah kegagalan geser (*sliding failure*). Kegagalan geser akan terjadi jika gaya dorong lateral melebihi tahanan gesek yang terjadi antara dasar dinding dan tanah. Yang ketiga adalah kegagalan terhadap daya dukung tanah (*soil-bearing failure*). Kegagalan daya dukung tanah dapat terjadi apabila daya dukung ultimit terlampaui yang diakibatkan oleh tekanan normal antara dasar dinding dan tanah di bawahnya. Biasanya nilai tekanan yang diijinkan adalah sepertiga dari nilai ultimit.



Gambar 1. Kegagalan-Kegagalan Dinding Penahan Tanah (Raouf, 2017)

Dinding penahan tanah biasanya dibuat dengan beton sebagai material utamanya. Tetapi dalam beberapa kondisi, penggunaan beton sulit untuk dilakukan, terutama pada medan yang cukup sulit. Salah satu alternatif yang bisa dilakukan adalah dengan menggunakan *waste material* seperti batu karang atau *blasting stone*. Selain sebagai pengganti beton sebagai material utama, penggunaan *waste material* juga ditujukan untuk mengurangi limbah yang ada. Kualitas *waste material* lebih jelek dibandingkan dengan material umum. Oleh karena itu digunakan bronjong untuk memperkuat dinding penahan tanah. Bronjong adalah anyaman kawat baja yang dilapisi dengan seng atau galvanis. Anyaman kawat baja ini membentuk kotak atau balok yang bagian dalamnya diisi dengan material tertentu.

Penelitian ini ditujukan untuk menentukan *waste material* yang paling efektif untuk digunakan sebagai pengganti material utama, yaitu dengan membandingkan nilai-nilai faktor keamanan (geser, guling, daya dukung tanah, dan *slope stability*).



Gambar 2. Penggunaan Bronjong sebagai Dinding Penahan Tanah (Arifin, 2020)

Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah atau retaining wall merupakan elemen struktur yang berfungsi sebagai penahan gaya lateral tanah yang timbul akibat perbedaan elevasi permukaan tanah (Thomson & Prihatiningsih 2021). Struktur buatan ini dibuat untuk mencegah terjadinya kelongsoran atau keruntuhan suatu lereng yang mempunyai kestabilan rendah. Dinding penahan tanah biasa ditemukan di daerah dataran tinggi, pantai, sungai, dan basement gedung. Material umum yang biasa digunakan dalam konstruksi dinding penahan tanah adalah beton.

C&D Material

C&D (*Construction and Demolition*) Material merupakan material yang dihasilkan dari adanya konstruksi baru, rehabilitasi, ataupun pembongkaran bangunan (Yuan et al., 2011). Jumlah C&D Material semakin meningkat setiap tahunnya karena adanya perkembangan konstruksi baru (Febrian & Prihatiningsih, 2021). Wang et al., (2004) mendefinisikan *C&D Material* sebagai puing-puing bangunan, tanah, beton, baja, kayu, dan bahan campuran untuk pembersihan lokasi, yang timbul dari berbagai kegiatan konstruksi, termasuk penggalian tanah, konstruksi gedung dan bangunan, pembersihan lokasi, kegiatan pembongkaran, perbaikan jalan, dan renovasi bangunan. *C&D Material* dihasilkan ketika adanya pembangunan bangunan atau struktur teknik sipil yang baru dan ketika bangunan atau struktur teknik sipil yang sudah ada direnovasi atau dibongkar. Struktur teknik sipil yang dimaksud disini adalah pekerjaan umum seperti bangunan, jalan raya, jembatan, dermaga, dan bendungan. *C&D Material* sering kali mengandung bahan yang besar dan berat, seperti beton, batu bata, kayu, kaca, dan hasil pembersihan lokasi konstruksi.

Bronjong

Bronjong merupakan salah satu jenis dinding penahan tanah yang sudah digunakan secara luas selama lebih dari satu abad (Giani, 1988/ 1992). Bronjong dapat dirancang sebagai struktur kaku, semi-kaku, atau fleksibel, tergantung pada area konstruksi, muka air tanah, biaya, dan tujuan dibangunnya dinding bronjong tersebut. Dinding bronjong dibuat dari jaring baja berbentuk persegi panjang yang diisi oleh batu. Bronjong memiliki beberapa jenis, tergantung pada kebutuhannya di lapangan. Penentuan tipe bronjong yang akan digunakan sangat penting terutama dari segi biaya dan fungsinya. Jenis bronjong yang banyak digunakan saat ini adalah bronjong keranjang (*basket gabion*), bronjong matras (*matresses gabion*), bronjong karung (*sack gabion*), dan bronjong jaring (*wire mesh gabion*) (Toprak et al., 2016).

Tekanan Lateral Tanah

Gaya tanah dalam arah horizontal atau lateral menjadi penentu desain dinding penahan tanah (Thomson & Prihatiningsih, 2021). Ada 3 jenis kondisi tekanan tanah lateral, yaitu:

-Saat diam

-Saat kondisi tanah aktif, dimana tanah mendorong dinding penahan tanah dan berpotensi untuk mengurangi keseimbangan dinding penahan tanah

-Saat kondisi pasif, dimana tanah menahan dinding penahan tanah

Perhitungan tekanan tanah aktif dan tekanan tanah pasif dapat dilakukan dengan menggunakan teori Rankine.

$$Pa = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot Ka \quad (1)$$

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

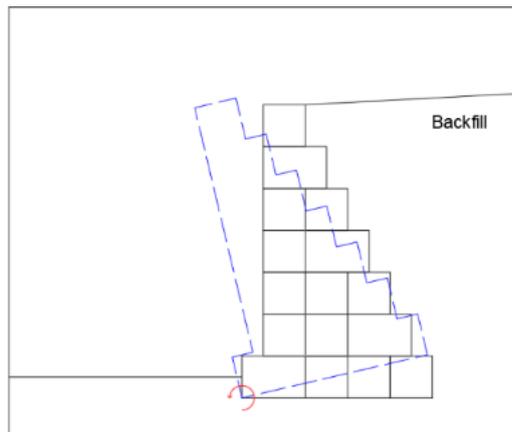
$$Pp = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot Kp \quad (3)$$

$$Kp = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \quad (4)$$

Stabilitas Guling

Tekanan lateral tanah menyebabkan adanya momen. Momen guling merupakan hasil kali tekanan lateral dan jaraknya ke dasar pondasi. Momen guling ini harus dapat ditahan oleh momen tahanan, yang merupakan momen dengan arah yang berlawanan dengan momen guling. Momen tahanan ini merupakan hasil kali antara gaya vertikal dikalikan dengan jaraknya ke ujung toe. Faktor keamanan terhadap kegagalan guling merupakan perbandingan antara momen penahan dibagi dengan momen guling, dan minimal nilainya adalah 2 berdasarkan SNI 8460:2017.

$$SF = \frac{\Sigma M_r}{\Sigma M_o} \quad (5)$$

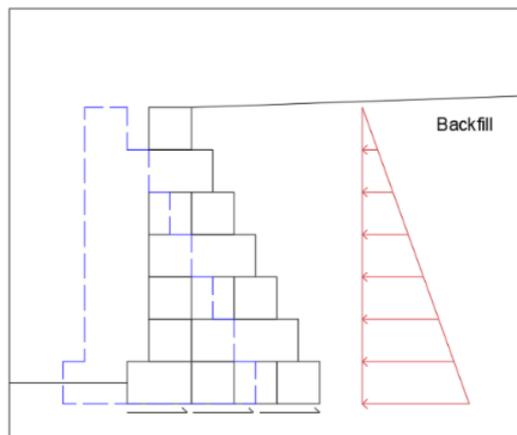


Gambar 3. Ilustrasi Kegagalan Guling

Stabilitas Geser

Semua gaya lateral yang bekerja pada dinding penahan tanah memiliki potensi untuk menggeser dinding. Gaya gesek antara pelat dasar dan tanah dibawahnya merupakan faktor utama yang membuat dinding penahan tanah mampu menahan gesekan. Gaya gesek tersebut dapat dihitung dengan mengalikan koefisien gesek (tanah dengan dinding) dengan resultan tekanan tanah. Faktor keamanan untuk kegagalan geser merupakan perbandingan antara gaya penggeser dengan gaya penahannya dan nilainya harus lebih dari 1.5 berdasarkan SNI 8460:2017

$$SF = \frac{\Sigma F_r}{\Sigma F_s} \quad (6)$$

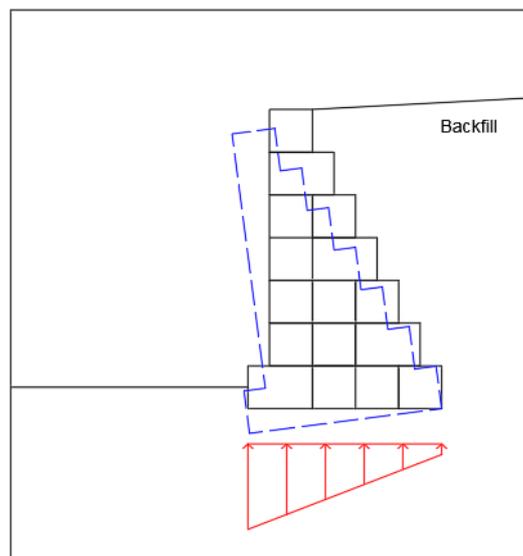


Gambar 4. Ilustrasi Kegagalan Geser

Stabilitas Daya Dukung Tanah

Tanah dapat menahan sejumlah tekanan dari luar. Kemampuan tanah untuk menahan tekanan ini disebut dengan daya dukung tanah. Tekanan yang mampu ditahan oleh tanah tersebut dapat dicari melalui studi geoteknik. Apabila desain pada dinding membuat tanah mengalami tekanan yang lebih besar daripada tekanan ijin, maka akan terjadi kegagalan dimana tanah tidak mampu untuk menahan dinding dan menyebabkan posisi dinding menjadi turun. Kegagalan ini dapat dicegah dengan mendesain lebar plat dasar sedemikian rupa untuk mendistribusikan gaya-gaya vertikal. Faktor keamanan untuk daya dukung tanah merupakan perbandingan antara tegangan ultimit dan tegangan ijin. Nilai faktor keamanan daya dukung tanah disyaratkan minimal 3 berdasarkan SNI 8460:2017.

$$SF = \frac{\Sigma Q_{ult}}{\Sigma Q_{all}} > 3 \quad (7)$$

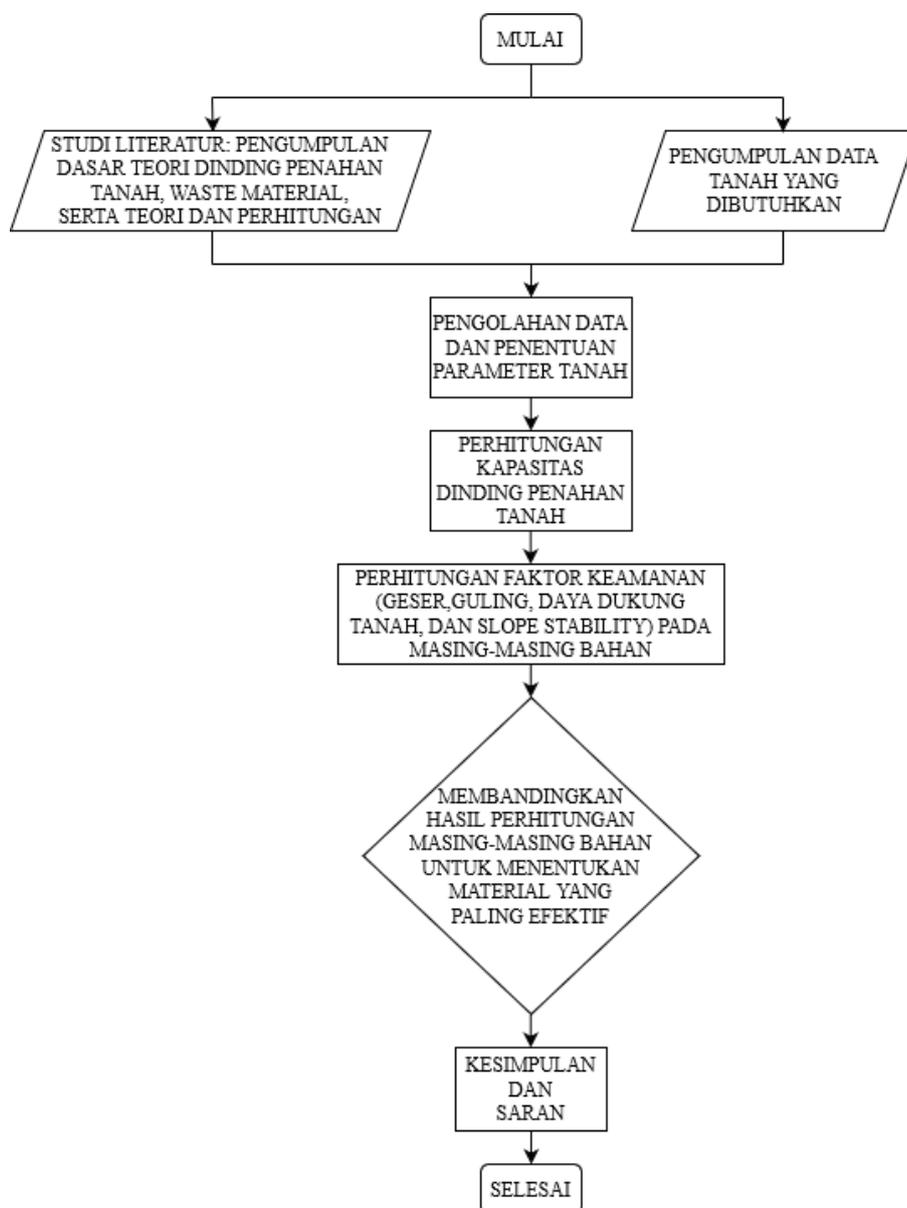


Gambar 5. Ilustrasi Kegagalan Daya Dukung Tanah

2. METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian yang digunakan untuk menyelesaikan penelitian ini dilakukan secara urut sebagai berikut:

- a. Penentuan topik penelitian yang akan dianalisis.
- b. Melakukan studi literatur dengan mencari dan mengumpulkan dasar-dasar teori, parameter, serta rumus-rumus dari buku, jurnal, artikel, dan juga *website* yang digunakan untuk melakukan perencanaan dinding penahan tanah dengan menggunakan *waste material*.
- c. Mencari dan mengelola data tanah pada lereng .
- d. Mencari *waste material* yang akan digunakan.
- e. Mendesain dinding penahan tanah.
- f. Menghitung kapasitas momen, kapasitas geser, serta daya dukung tanah untuk mencari tau apakah kegagalan dapat terjadi.
- g. Mencari *waste material* yang paling optimum dengan membandingkan nilai faktor keamanan geser, guling, daya dukung tanah, dan *slope stability*.
- h. Membuat kesimpulan dan saran secara menyeluruh dari hasil analisis skripsi.



Gambar 6. Diagram Alir Penelitian

Studi Literatur

Melakukan studi pustaka dengan tujuan untuk mengetahui teori-teori terkait dengan dinding penahan tanah dan *waste material*, jenis-jenis dinding penahan tanah, serta parameter dari *waste material* agar dapat melakukan perencanaan dinding penahan tanah.

Pengumpulan Data

Data yang digunakan merupakan data tanah pada lereng. Lereng tersebut memiliki potensi untuk terjadinya longsor. Beberapa data merupakan hasil langsung di lapangan sehingga data-data didapatkan dengan melakukan korelasi.

Pengolahan Data

Data yang akan digunakan dalam analisis penelitian ini adalah data bor dari 2 titik yang berbeda elevasinya. Data bor tersebut kemudian disusun secara informatif untuk menentukan parameter tanah desain yang nantinya akan digunakan dalam perencanaan dinding penahan tanah.

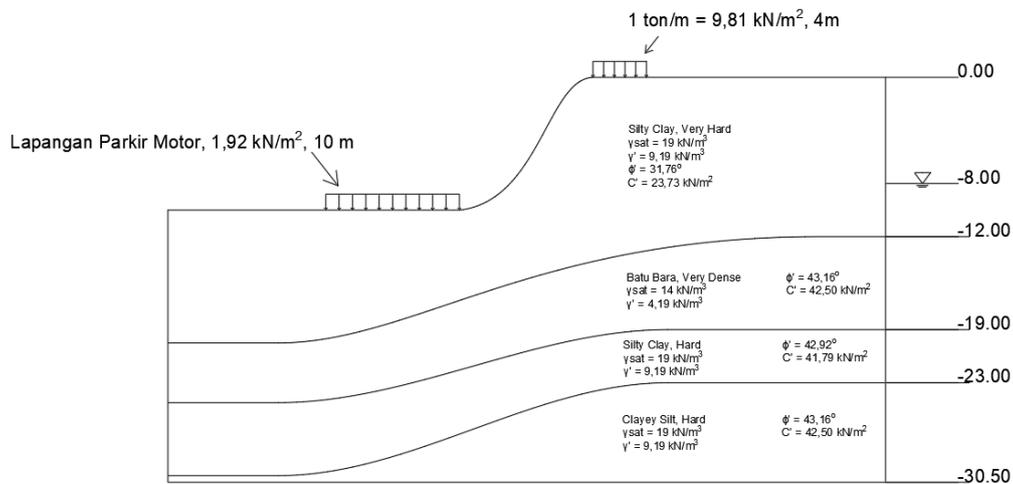
Analisis dan Pembahasan

Analisis dilakukan dengan melakukan desain dinding penahan tanah tipe gravitasi dengan menggunakan material-material yang berbeda, yang sudah ditentukan. Penelitian ini juga akan membahas mengenai perbandingan kekuatan masing-masing jenis material untuk dijadikan sebagai bahan dinding penahan tanah, sehingga bisa didapatkan material mana yang paling efektif sebagai pengganti bahan utama.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

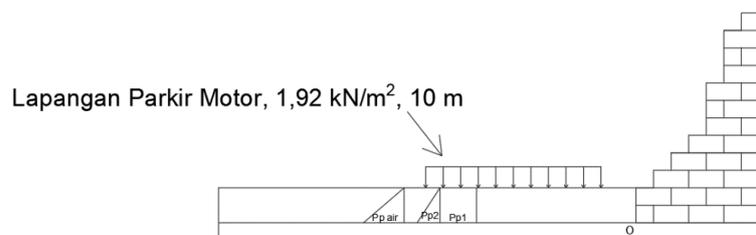
Parameter Tanah

Perhitungan dinding penahan tanah pada studi ini menggunakan hasil data tanah yang didapat dari suatu proyek rumah sakit di Balikpapan dengan 2 titik bor. Elevasi untuk titik bor 1 berada 10 meter dibawah elevasi titik bor 2. Nilai parameter tanah yang digunakan dapat dilihat di bawah.

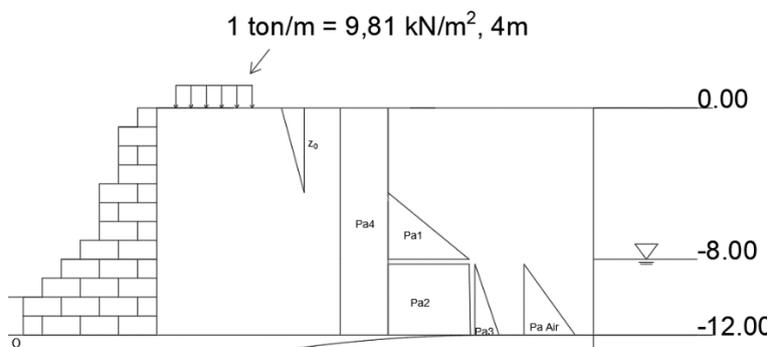


Gambar 7. Potongan Lapisan Tanah dan Parameter Tanah

Perhitungan Tekanan Lateral Tanah



Gambar 8. Diagram Tekanan Lateral Pasif



Gambar 9. Diagram Tekanan Lateral Aktif

Berikut merupakan tabel hasil perhitungan gaya dan momen tekanan lateral.

Tabel 1. Perhitungan Gaya dan Momen Tekanan Lateral

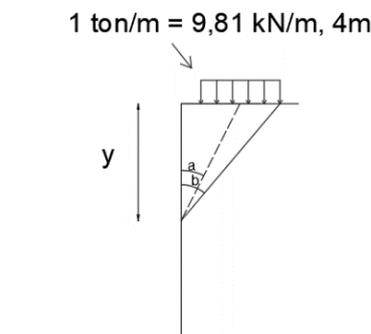
	Gaya (kN)	y ₀	Momen (kNm)
Pa1	36,44	5,17	188,46
Pa2	82,91	2	165,83
Pa3	22,81	1,33	30,42
Pa4	36,53	6	219,17
Pa5	78,48	1,33	104,38
ΣP_a	257,18	ΣM_{Pa}	708,26
Pp1	12,37	1	12,37
Pp2	59,23	1	59,23
Pp3	19,62	0,67	13,08
ΣP_p	91,23	ΣM_{Pp}	84,69

Perhitungan *Surcharge Load*

Perhitungan *surcharge load* dilakukan pada tanah aktif setiap kedalaman (y) 1 meter. *Surcharge load* yang diperhitungkan merupakan beban merata sebesar 9,81 kN/m². Perhitungan diawali dengan menentukan nilai intensitas tekanan lateral (σ_H) pada setiap meter kedalaman. Perhitungan intensitas tekanan lateral dilakukan dengan rumus berikut

$$\sigma_H = \frac{2q}{\pi} (\beta - \sin \beta \cos 2\alpha) \tag{8}$$

Nilai α merupakan sudut terhadap vertikal yang dibentuk oleh garis diagonal dari kedalaman tertentu ke titik tengah beban merata yang bekerja pada permukaan tanah. Sementara β adalah sudut vertikal yang dibentuk oleh garis diagonal dari kedalaman tertentu ke titik ujung terjauh dari beban merata yang berkerja pada permukaan tanah. Besarnya sudut α dan β dapat dicari dengan menggunakan aturan sinus.

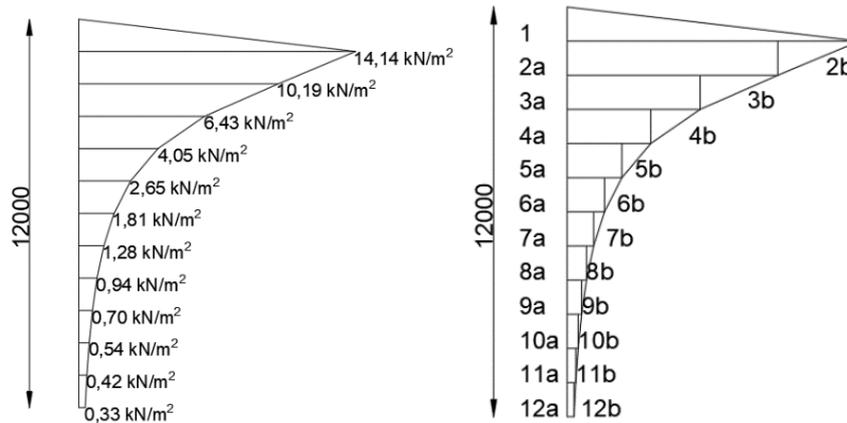


Gambar 10. Gambaran Nilai α dan β

Tabel 2. Hasil Perhitungan Intensitas Tekanan Lateral

y (m)	a (deg)	b (deg)	b (rad)	σ _H (kN/m ²)
1	71,57	78,69	1,37	14,14
2	56,31	68,20	1,19	10,19
3	45,00	59,04	1,03	6,43
4	36,87	51,34	0,90	4,05
5	30,96	45,00	0,79	2,65
6	26,57	39,81	0,69	1,81
7	23,20	35,54	0,62	1,28
8	20,56	32,01	0,56	0,94
9	18,43	29,05	0,51	0,70
10	16,70	26,57	0,46	0,54
11	15,26	24,44	0,43	0,42
12	14,04	22,62	0,39	0,33

Hasil perhitungan intensitas tekanan lateral kemudian dibuat menjadi diagram. Besar *surcharge load* merupakan luas dari diagram tersebut.



Gambar 11. Diagram Intensitas Tekanan Lateral dan Pembagian Bidang Diagram

Hasil penelitian yang didapat merupakan perbandingan *safety factor* masing-masing bahan untuk kegagalan geser, kegagalan guling, kegagalan daya dukung tanah, dan stabilitas lereng.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Surcharge Load

No.	Bentuk	Luas (kN)	y0 (m)	Mo (kNm)
1	Segitiga	7,07	11,33	80,12
2a	Persegi Panjang	10,19	10,50	107,04
2b	Segitiga	1,97	10,67	21,04
3a	Persegi Panjang	6,43	9,50	61,13
3b	Segitiga	1,88	9,67	18,17
4a	Persegi Panjang	4,05	8,50	34,39
4b	Segitiga	1,19	8,67	10,35
5a	Persegi Panjang	2,65	7,50	19,87
5b	Segitiga	0,70	7,67	5,35
6a	Persegi Panjang	1,81	6,50	11,77
6b	Segitiga	0,42	6,67	2,80
7a	Persegi Panjang	1,28	5,50	7,06
7b	Segitiga	0,26	5,67	1,49
8a	Persegi Panjang	0,94	4,50	4,22
8b	Segitiga	0,17	4,67	0,81
9a	Persegi Panjang	0,70	3,50	2,46
9b	Segitiga	0,12	3,67	0,43
10a	Persegi Panjang	0,54	2,50	1,35
10b	Segitiga	0,08	2,67	0,22
11a	Persegi Panjang	0,42	1,50	0,63
11b	Segitiga	0,06	1,67	0,10
12a	Persegi Panjang	0,33	0,50	0,17
12b	Segitiga	0,04	0,67	0,03
SFs		43,32	SMs	390,98

Perhitungan Berat dan Momen Dinding

Dinding dibagi menjadi beberapa bagian untuk memudahkan perhitungan.



Gambar 12. Pembagian Bidang Dinding

Tabel 4 dan 5 menunjukkan hasil perhitungan berat dan momen dinding.

Tabel 4. Perhitungan Berat Dinding

	Beton	Batu Karang	Blasting Stone	Beton C&D	Batu Bata C&D
γ (kN/m ²)	24	15,69	26,77	21,87	16,49
W1	24	15,69	26,77	21,87	16,49
W2	144	94,14	160,62	131,22	98,94
W3	216	141,21	240,93	196,83	148,41
W4	96	62,76	107,08	87,48	65,96
W5	120	78,45	133,85	109,35	82,45
W6	144	94,14	160,62	131,22	98,94
W7	336	219,66	374,78	306,18	230,86
V	1.080	706,05	1.204,65	984,15	742,05

Tabel 5. Perhitungan Momen Dinding

W	x_o (m)	Mo (kNm)				
		Beton	Batu Karang	Blasting Stone	Beton C&D	Batu Bata C&D
W1	6,5	156	101,99	174,01	142,16	107,19
W2	6	864	564,84	963,72	787,32	593,64
W3	5,5	1188	776,66	1325,12	1082,57	816,26
W4	5	480	313,8	535,4	437,4	329,8
W5	4,5	540	353,03	602,33	492,08	371,03
W6	4	576	376,56	642,48	524,88	395,76
W7	3,5	1176	768,81	1311,73	1071,63	808,01
SMw		4.980	3.255,68	5.554,78	4.538,03	3.421,68

Gaya Gesek Dasar Dinding

Gaya gesek dasar dinding merupakan komponen yang membantu dinding dalam menahan tekanan lateral sehingga harus diperhitungkan. Hasil perhitungan gaya gesek untuk masing-masing bahan dapat dilihat pada tabel 6.

$$\phi r' = 0,67\phi = 0,67(31,76) = 21,28^\circ$$

$$C'r = 0,67C = 0,67(23,73) = 15,90 \text{ kPa}$$

$$Fr = C'r \cdot B + V \tan \phi r'$$

Tabel 6. Perhitungan Gaya Gesek Dinding untuk Masing-Masing Bahan

	V	ϕ (deg)	C (kPa)	ϕ_r' (deg)	C'r (kPa)	Fr
Beton	1080					531,92
Batu Karang	706,05					386,28
Blasting Stone	1.204,65	31,76	23,73	21,28	15,90	580,46
Beton C&D	984,15					494,59
Batu Bata C&D	742,05					400,30

Pengecekan terhadap Kegagalan

Pengecekan terhadap kegagalan dilakukan dengan mengacu pada SNI 8460:2017. Pengecekan dilakukan terhadap geser, guling, daya dukung tanah, dan slope stability. Hasil pengecekan masing-masing bahan dapat dilihat pada tabel 7 sampai 11.

Tabel 7. Perhitungan Safety Factor Stabilitas Geser

Bahan	Komponen Penahan			Komponen Penggeser			Faktor Keamanan	
	SPp	Fr	Gaya Penahan	SPa	SFs	Gaya Penggeser	SF	Keterangan
Beton		531,92	623,14				2,07	OK
Batu Karang		386,28	477,50				1,59	OK
Blasting Stone	91,23	580,46	671,69	257,18	43,32	300,50	2,24	OK
Beton C&D		494,59	585,81				1,95	OK
Batu Bata C&D		400,30	491,52				1,64	OK

Tabel 8. Perhitungan Safety Factor Stabilitas Guling

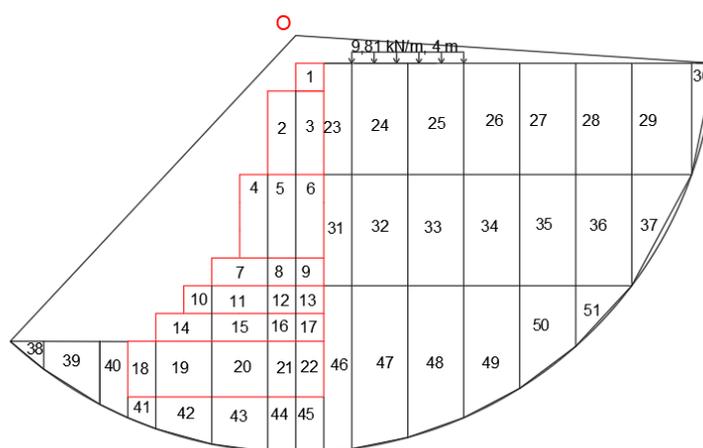
Bahan	Komponen Penahan			Komponen Pengguling			Faktor Keamanan	
	Momen			Momen			SF	Ket
	SMw	SMpp	Penahan	SMpa	SMs	Pengguling		
Concrete	4.980		5.064,69				4,61	OK
Coral	3.255,68		3.340,36				3,04	OK
Blasting Stone	5.554,78	84,69	5.639,46	708,26	390,98	1.099,24	5,13	OK
Beton C&D	4.538,03		4.622,71				4,21	OK
Batu Bata C&D	3.421,68		3.506,36				3,19	OK

Tabel 9. Perhitungan Safety Factor Daya Dukung Tanah

Bahan	Qall	Qult Terzaghi	Qult Meyerhoff	SF Terzaghi	SF Meyerhoff
Beton	639.85		8690.97	9.06	13,58
Batu Karang	375.29		7789.16	15.44	20,76
Blasting Stone	784.04	5795.78	8882.95	7.96	12,20
Beton C&D	572.04		8514.97	10.13	14,89
Batu Bata C&D	400.76		7907.36	14.46	19,73

Pengecekan Stabilitas Lereng

Pengecekan stabilitas lereng dilakukan untuk mengetahui apakah ada kemungkinan terjadinya longsor pada lereng. *Safety factor* untuk stabilitas lereng dihitung berdasarkan SNI 8460:2017. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan metode irisan sederhana. Lereng dibagi menjadi beberapa bidang seperti pada gambar 13.



Gambar 13. Pembagian Bidang Lereng untuk Pengecekan Stabilitas Lereng

Tabel 10. Perhitungan Safety Factor Stabilitas Lereng

Bahan	Akibat Tanah			Akibat Beban Luar			Faktor Keamanan	
	$\Sigma W \cos \alpha \tan \phi$	$\Sigma W \sin \alpha$	$\Sigma c \cdot \Delta L$	$\Sigma W \cos \alpha \tan \phi$	$\Sigma W \sin \alpha$	$\Sigma c \cdot \Delta L$	SF	Ket
Beton	1.958,02	968,73					2,92	OK
Batu Karang	1.729,39	1.005,73					2,6	OK
Blasting Stone	2.034,23	956,39	800,27	98,8	69,88	32,37	3,04	OK
Beton C&D	1.899,42	978,21					2,84	OK
Batu Bata C&D	1.751,40	1.002,17					2,63	OK

Summary

Tabel 11. Perbandingan Safety Factor untuk Lima Bahan yang Digunakan

Bahan	Safety Factor				
	Geser	Guling	Daya Dukung Tanah		Slope Stability
			Terzaghi	Meyerhoff	
Beton	2,07	3,15	10,03	15,04	2,92
Batu Karang	1,59	2,08	18,51	24,88	2,60
Blasting Stone	2,24	3,51	8,7	13,34	3,04
Beton C&D	1,95	2,88	11,37	16,07	2,84
Batu Bata C&D	1,64	2,18	17,12	23,35	2,63

Dari kelima bahan yang ada, dapat dilihat bahwa *blasting stone* merupakan bahan yang paling efektif karena nilai faktor keamanannya secara umum lebih besar jika dibandingkan dengan keempat bahan lainnya, bahkan melebihi material umum yaitu beton. Properti bahan yang digunakan dalam perhitungan dinding penahan tanah adalah massa jenis. Massa jenis *blasting stone* merupakan yang tertinggi di antara kelima bahan yang diperhitungkan. Tiga dari empat variabel yang dicari nilai faktor keamanannya, yaitu ketahanan guling, ketahanan geser, dan stabilitas lereng, menunjukkan bahwa semakin besar massa jenis bahan, akan semakin besar pula nilai faktor keamanannya. Untuk ketahanan geser, massa jenis bahan yang besar menyebabkan gaya gesek pada dasar dinding dan tanah menjadi semakin besar sehingga gaya yang menahan menjadi lebih besar pula. Pada ketahanan guling, massa jenis bahan yang besar juga akan menimbulkan momen dinding yang besar pula. Momen dinding merupakan salah satu komponen penahan dalam ketahanan guling sehingga jika nilai momen dinding semakin besar, faktor keamanan juga akan semakin besar. Hal yang sama juga dapat dilihat pada stabilitas lereng, dimana bahan yang memiliki massa jenis terbesar juga merupakan bahan yang memiliki faktor keamanan terbesar. Pada perhitungan faktor keamanan daya dukung tanah, semakin besar massa jenis suatu bahan, maka semakin berat pula dinding penahan tanah yang dibuat.

Berat dinding penahan ini akan menyebabkan nilai tegangan maksimum (Q_{all}) dinding penahan tanah menjadi tinggi sehingga membuat faktor keamanan semakin kecil.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan perhitungan faktor keamanan, *blasting stone* merupakan material yang secara keseluruhan paling efektif untuk digunakan.
2. Semakin besar massa jenis suatu bahan akan memberikan hasil yang lebih baik untuk dinding dalam menahan geser.
3. Faktor keamanan daya dukung tanah pada tabel akan semakin kecil jika massa jenis bahan yang digunakan semakin besar.
4. Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan metode meyerhoff, dinding yang terbuat dari *blasting stone* memiliki nilai daya dukung tanah yang paling besar, yaitu 8.882,95 kN/m².
5. Massa jenis dinding yang semakin besar akan membuat faktor keamanan guling semakin besar.

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, adapun saran untuk melengkapi studi ini adalah:

1. Memperbanyak penggunaan *waste material* sehingga lebih hemat baik dari segi bahan maupun biaya sambil tetap memperhatikan efeknya terhadap lingkungan.
2. Disarankan menggunakan *waste material* berupa beton C&D. Karena kekuatannya hampir sama dengan beton biasa dan lebih mudah didapat dibandingkan dengan bahan yang lainnya.
3. Untuk lereng yang tinggi, disarankan untuk menggunakan material umum dengan dinding tipe kantilever untuk menghindari desain dinding yang terlalu besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Shukur, A. K., & Al-Rammah, A. M. (2017). Optimum Design of Gravity Wall Founded on Specially Random Soil Subjected to Earthquake Load. *Journal of Kerbala University*, 15(2), 212-214.
- Arifin, J. (2020, October 23). Brojong Tebing Tol Gempol-Pandaan Rampung Lebih Cepat. Retrieved from Radar Bromo: <https://radarbromo.jawapos.com/daerah/pandaan/23/10/2020/bronjong-tebing-tol-gempol-pandaan-rampung-lebih-cepat/>
- Febrian, A., & Prihatiningsih, A. (2021). Peningkatan Kekuatan Tanah Organik dengan Pencampuran Empat Jenis Limbah Ramah Lingkungan. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 4(4), 867-874.
- Giani, G. P. (1992). Rock Slope Stability Analysis. (Original work published
- Raouf, M. E. (2018, August). Retaining Wall. Retrieved from Research Gate: https://www.researchgate.net/publication/326843673_Retaining_Wall
- Badan Standarisasi Nasional. (2017). *Persyaratan Perancangan Geoteknik (SNI 8460:2017)*. <http://sispk.bsn.go.id/SNI/DaftarList>.
- Thomson, D., & Prihatiningsih, A. (2021). Analisis Keefektivitasan Jenis Dinding Penahan Tanah pada Tanah Gambut. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 4(3), 695-710.
- Toprak, B., Sevim, O., & Kalkan, I. (2016). Gabion Walls and Their Use. *International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering*, 3(4), 56-58.
- Wang, J. Y., Kang, X. P., Shen, L. Y., & Tan, Y. E. (2004). Research on Management Measures for Reducing Construction Waste. *Architecture Technology*, 35(10), 732-734.
- Yuan, H., Shen, L., Hao, J. J., & Lu, W. (2011). A Model for Cost-Benefit Analysis of Construction and Demolition Waste Management Throughout the Waste Chain. *Resource Conservation Recycle*, 55(6), 604-612.

