



Pengaruh Ketinggian Lereng dan Intensitas Hujan Terhadap Stabilitas dan Biaya Dinding Penahan Tanah¹

The Effects of Slope Height and Rain Intensity on the Stability and Cost of Retaining Walls

Moch. Nurul Ulil Albab ^a, Bagyo Mulyono ^{a,2}, Arwan Apriyono ^a

^a Program Studi Teknik Sipil, Universitas Jenderal Soedirman, Purbalingga

ABSTRAK

Fenomena keruntuhan lereng yang sering terjadi akibat faktor geomorfologi, hidrologi, dan aktivitas manusia. Dinding Penahan Tanah (DPT) dapat menjadi solusi sebagai langkah mitigasi. DPT berfungsi menahan tekanan lateral tanah dan mencegah keruntuhan lereng, dengan ketinggian lereng dan intensitas hujan sebagai faktor kritis. Peningkatan ketinggian menurunkan stabilitas, sementara hujan mengurangi kekuatan tanah. Pemilihan material penting untuk optimasi biaya dan kinerja. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh material, ketinggian lereng, dan rasio B/H (0,3–0,7) terhadap stabilitas dan biaya menggunakan metode elemen hingga dan kesetimbangan batas. Material DPT yang digunakan adalah pasangan batu kali dan beton bertulang, dengan tinggi lereng DPT (H) 1,5–10 m. Hasil menunjukkan bahwa setiap penambahan ketinggian DPT 0,5 m mengakibatkan penurunan faktor keamanan (SF) sebesar 5,61–6,53% (pasangan batu kali) dan 5,47–6,08% (beton). DPT pasangan batu kali memberikan SF lebih tinggi rata-rata 10,39% dibanding beton, dengan peningkatan SF lebih signifikan terhadap rasio B/H. Analisis biaya menunjukkan bahwa terdapat hubungan linier antara SF dan biaya konstruksi, semakin tinggi SF maka biaya yang dibutuhkan semakin tinggi. DPT pasangan batu kali memberikan stabilitas yang lebih tinggi dan efisien untuk SF minimum.

Kata kunci: beton bertulang, biaya konstruksi, dinding penahan tanah, pasangan batu kali, stabilitas DPT.

ABSTRACT

Slope failures frequently occur due to geomorphological, hydrological, and human activity factors. Retaining walls (DPT) can serve as a mitigation solution by resisting lateral soil pressure and preventing slope collapse. The critical factors influencing stability are slope height and rainfall intensity—increased height reduces stability, while rainfall weakens soil strength. Material selection is essential for optimizing both cost and performance. This study analyzes the influence of material type, slope height, and B/H ratio (0.3–0.7) on stability and cost using finite element and limit equilibrium methods. The retaining walls were constructed using two materials: stone masonry and reinforced concrete, with wall heights (H) ranging from 1.5 to 10 meters. The results indicate that every 0.5-meter increase in wall height reduces the safety factor (SF) by 5.61–6.53% for stone masonry and 5.47–6.08% for concrete. Stone masonry walls provide a higher SF, averaging 10.39% greater than reinforced concrete, with a more significant improvement in SF relative to the B/H ratio. Cost analysis reveals a linear relationship between SF and construction costs—higher safety factors require greater expenditures. Stone masonry retaining walls demonstrate higher stability and cost efficiency in achieving the minimum required SF compared to concrete walls.

Keywords: reinforced concrete, construction cost, retaining wall, rubble stone masonry, stability of DPT.

¹ Info Artikel: Received: 26 Mei 2025, Accepted: 1 September 2025

² Corresponding Author: Bagyo Mulyono, bagyo.mulyono@unsoed.ac.id

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki geografis yang dominan berupa pegunungan dan lereng curam, sehingga berpotensi tinggi mengalami longsor. Pembangunan infrastruktur di daerah ini memerlukan struktur penahan tanah guna menjaga kestabilan lereng (Mase et al., 2022). Dalam rekayasa geoteknik, DPT menjadi solusi utama untuk meningkatkan keamanan konstruksi di wilayah bertopografi ekstrem. DPT merupakan konstruksi yang dirancang untuk menahan tekanan lateral tanah dan mencegah keruntuhan pada lereng curam. Selain itu, DPT juga berperan dalam menciptakan bidang tegak yang menopang tanah uruk atau tanah asli yang labil (Dermawan et al., 2022). Namun, stabilitas DPT dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti ketinggian lereng dan intensitas hujan. Penelitian menunjukkan bahwa peningkatan ketinggian lereng secara signifikan mengurangi faktor keamanan lereng, terutama pada ketinggian lebih dari 4 meter (Shiferaw, 2021). Sementara itu, hujan dengan intensitas tinggi, khususnya di daerah tropis, dapat meningkatkan kadar air tanah, menurunkan tekanan air pori, dan meningkatkan berat isi tanah, sehingga berpotensi mengurangi stabilitas lereng dan kinerja DPT (Aisah & Gofar, 2022). Hal ini juga berdampak pada peningkatan biaya pemeliharaan dan perbaikan akibat erosi atau tekanan air berlebih pada struktur. Pemilihan material merupakan aspek kritis dalam perencanaan DPT karena secara langsung memengaruhi stabilitas struktur, biaya konstruksi, dan kinerja jangka panjang. Pemilihan material yang tepat pada DPT tidak hanya menentukan kemampuan struktur dalam menahan tekanan tanah lateral, tetapi juga berdampak pada durabilitas struktur terhadap kondisi lingkungan (kelembaban, curah hujan), respons struktur terhadap beban dinamis seperti gempa serta efisiensi biaya konstruksi dan pemeliharaan.

Banyak penelitian yang membahas berbagai faktor yang memengaruhi stabilitas DPT, seperti ketinggian lereng, intensitas hujan, dan pemilihan material. Menurut Shiferaw (2021) menekankan hubungan langsung antara ketinggian lereng dan sudut DPT terhadap faktor keamanan, sementara penelitian yang dilakukan (Aisah & Gofar, 2022) mengkaji dampak hujan terhadap stabilitas tanah. Namun, penelitian-penelitian tersebut cenderung fokus pada faktor-faktor secara terpisah, seperti stabilitas lereng atau biaya konstruksi, tanpa mengintegrasikan pengaruh ketinggian lereng, intensitas hujan, dan pemilihan material secara simultan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh ketinggian lereng dan intensitas hujan terhadap stabilitas tanah serta biaya konstruksi DPT dengan material yang berbeda. Dengan memahami interaksi antara faktor-faktor tersebut, penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan desain DPT yang lebih efisien dari segi biaya dan tahan terhadap perubahan kondisi lingkungan.

METODE

Alat dan Bahan

Perangkat lunak GeoStudio digunakan untuk menganalisis stabilitas dan deformasi tanah melalui metode elemen hingga dan kesetimbangan batas (Carbonell et al., 2022). GeoStudio dipilih karena mampu mengintegrasikan modul SEEP/W untuk analisis aliran air tanah dan SLOPE/W untuk stabilitas lereng secara simultan (Elgamal, 2022). *Mesh* elemen segitiga

dengan ukuran hingga 0,1 m diterapkan untuk menyeimbangkan akurasi model dan efisiensi waktu komputasi (Elgamal, 2022). Geometri DPT dimodelkan menggunakan Autodesk Revit, berdasarkan dimensi minimum sesuai SNI 8460:2017. Perhitungan biaya konstruksi dilakukan menggunakan Microsoft Excel, merujuk pada Harga Satuan Dasar Kabupaten Purbalingga.

Variabel Penelitian

Beban merata diterapkan sebesar 11,96 kN/m², sesuai dengan standar SNI 1720:2020 tentang Pembebanan Gedung dan Struktur Lain pasal 4.3 untuk beban lalu lintas (SNI, 2020). Selain itu, intensitas hujan kala ulang 10 tahun sebesar 136,97 mm/hari dipilih dari penelitian (Faradiba, 2021) untuk memperhitungkan pengaruh beban hidrologis dalam kondisi curah hujan ekstrem. Jenis tanah yang digunakan dalam analisis ini adalah lempung lunak secara umum, dengan parameter geoteknik meliputi berat jenis tanah sebesar 18 kN/m³, kohesi (c) 7,5 kPa, dan sudut geser (ϕ) 15° (Das, 2014). Distribusi tanah lunak di Indonesia, terutama di daerah pesisir mendukung pemilihan parameter lempung lunak dalam analisis serta karakteristiknya yang rentan terhadap deformasi dan kegagalan geser. Berat jenis pasangan batu kali dan beton bertulang masing-masing ditetapkan sebesar 22 kN/m³ dan 24 kN/m³. Mutu material yang digunakan meliputi baja tulangan dengan tegangan leleh (fy) 420 MPa dan beton dengan kuat tekan (f'c) 25 MPa. Rasio tulangan untuk material beton bertulang ditetapkan sebesar 0,25%, sesuai dengan nilai minimum rasio tulangan pada SNI 8460:2017 (SNI, 2017).

Tabel 1 Variabel kontrol

Variabel	Besaran	Satuan	Sumber
Beban Merata	11,96	kN/m ²	SNI 1720:2020 Tentang Pembebanan Gedung Dan Struktur Lain (SNI, 2020)
Intensitas Hujan Kala Ulang 10 Tahun	136,97	mm/hari	(Faradiba, 2021)
Jenis Tanah	Lempung Lunak		
	Berat Jenis	18	kN/m ³
	Kohesi	7,5	kPa
	Sudut Geser	15	Derajat
Berat Jenis Pasangan Batu Kali	22	kN/m ³	-
Berat Jenis Beton Bertulang	24	kN/m ³	-
Mutu Baja Tulangan	fy 420	MPa	-
Mutu Beton	f'c 25	MPa	-
Rasio Tulangan Untuk Material Beton Bertulang	0,25%		SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik (SNI, 2017)

Penelitian ini menganalisis stabilitas DPT dengan mempertimbangkan dua jenis material penyusun utama, yaitu pasangan batu kali dan beton bertulang. Kedua material ini dipilih berdasarkan ketersediaan, kemudahan pelaksanaan dan karakteristik teknis yang memadai untuk konstruksi DPT. Variasi ketinggian lereng rentang 1,5 meter hingga 10 meter, dengan kenaikan 0,5 meter untuk ketinggian 1,5 - 4 meter dan kenaikan 1 meter untuk ketinggian 5 - 10 meter. Lebar telapak DPT divariasikan berdasarkan rasio terhadap ketinggian lereng (H), yaitu 0,3H; 0,4H; 0,5H; 0,6H; dan 0,7H. Pemilihan interval rasio ini berdasarkan desain minimum SNI 8690:2017 (SNI, 2017).

Tabel 2 Variabel bebas

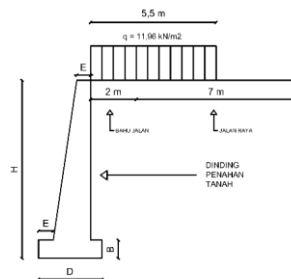
Variabel	Besar	Keterangan
Material Penyusun	Pasangan Batu Kali Beton Bertulang	-
Ketinggian Lereng	1,5 m ; 2 m ; 2,5 m ; 3 m ; 3,5 m ; 4 m ; 5 m ; 6 m ; 7 m ; 8 m ; 9 m ; 10 m	-
Dimensi lebar telapak DPT	0,3H; 0,4H; 0,5H; 0,6H; 0,7H	H = Ketinggian Lereng

Variabel terikat pada penelitian ini adalah volume, RAB (Rencana Anggaran Biaya), SF dan deformasi DPT untuk masing-masing material yang diteliti.

Model Penelitian

Model Pembebanan dan Geometri DPT

Gambar 1 menunjukkan model pembebanan dan geometri berdasarkan SNI 8460:2017 2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik (SNI, 2017) dengan asumsi pemberian beban lalu lintas di atas DPT sebesar $11,96 \text{ kN/m}^2$ sepanjang 5,5 m (SNI, 2020). Tabel 3 menampilkan berbagai variasi dimensi dan ketinggian DPT yang akan dimodelkan untuk material pasangan batu kali dan beton bertulang.



Gambar 1 Model pembebanan dan geometri DPT

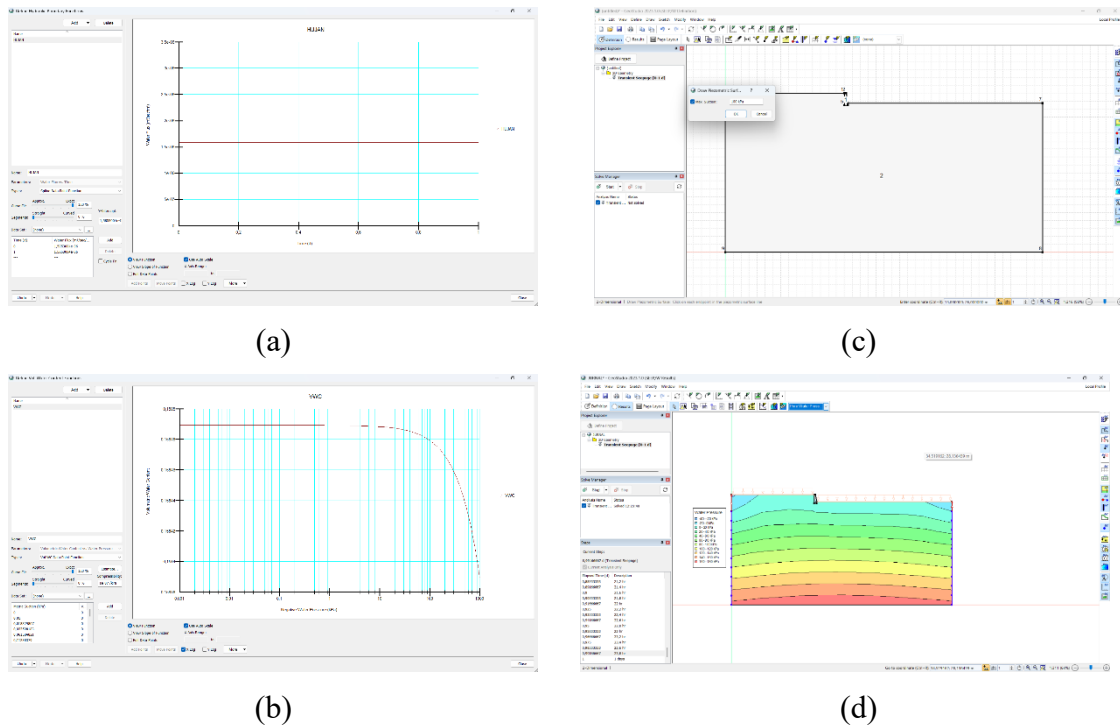
Tabel 3 Variasi dimensi DPT

Tinggi Lereng / H (m)	B (m)	C (m)		D (m)		E (m)	
		Batu Kali	Beton Bertulang	Batu Kali	Beton Bertulang	Batu Kali	Beton Bertulang
1,5	0.3 H =	0,45	0,25	0,25	0,20	0,00	0,00
	0.4 H =	0,6	0,25	0,25	0,20	0,00	0,00
	0.5 H =	0,75	0,25	0,25	0,20	0,00	0,00
	0.6 H =	0,9	0,25	0,25	0,20	0,00	0,00
	0.7 H =	1,05	0,25	0,25	0,20	0,00	0,00
2	0.3 H =	0,6	0,25	0,25	0,33	0,00	0,20
	0.4 H =	0,8	0,25	0,25	0,33	0,00	0,27
	0.5 H =	1	0,25	0,25	0,33	0,00	0,33
	0.6 H =	1,2	0,25	0,25	0,33	0,00	0,40
	0.7 H =	1,4	0,25	0,25	0,33	0,00	0,47
2,5	0.3 H =	0,75	0,25	0,25	0,42	0,21	0,25
	0.4 H =	1	0,25	0,25	0,42	0,21	0,33
	0.5 H =	1,25	0,25	0,25	0,42	0,21	0,42
	0.6 H =	1,5	0,25	0,25	0,42	0,21	0,50
	0.7 H =	1,75	0,25	0,25	0,42	0,21	0,58
3	0.3 H =	0,9	0,25	0,25	0,50	0,30	0,30
	0.4 H =	1,2	0,25	0,25	0,50	0,30	0,40
	0.5 H =	1,5	0,25	0,25	0,50	0,30	0,50
	0.6 H =	1,8	0,25	0,25	0,50	0,30	0,60

Tinggi Lereng / H (m)	B (m)		C (m)		D (m)		E (m)	
			Batu Kali	Beton Bertulang	Batu Kali	Beton Bertulang	Batu Kali	Beton Bertulang
3,5	0.7 H	= 2,1	0,25	0,25	0,50	0,30	0,25	0,70
	0.3 H	= 1,05	0,25	0,25	0,58	0,35	0,29	0,35
	0.4 H	= 1,4	0,25	0,25	0,58	0,35	0,29	0,47
	0.5 H	= 1,75	0,25	0,25	0,58	0,35	0,29	0,58
	0.6 H	= 2,1	0,25	0,25	0,58	0,35	0,29	0,70
4	0.7 H	= 2,45	0,25	0,25	0,58	0,35	0,29	0,82
	0.3 H	= 1,2	0,25	0,25	0,67	0,40	0,33	0,40
	0.4 H	= 1,6	0,25	0,25	0,67	0,40	0,33	0,53
	0.5 H	= 2	0,25	0,25	0,67	0,40	0,33	0,67
	0.6 H	= 2,4	0,25	0,25	0,67	0,40	0,33	0,80
5	0.7 H	= 2,8	0,25	0,25	0,67	0,40	0,33	0,93
	0.3 H	= 1,5	0,25	0,25	0,83	0,50	0,41	0,50
	0.4 H	= 2	0,25	0,25	0,83	0,50	0,41	0,67
	0.5 H	= 2,5	0,25	0,25	0,83	0,50	0,41	0,83
	0.6 H	= 3	0,25	0,25	0,83	0,50	0,41	1,00
6	0.7 H	= 3,5	0,25	0,25	0,83	0,50	0,41	1,17
	0.3 H	= 1,8	0,25	0,25	1,00	0,60	0,50	0,60
	0.4 H	= 2,4	0,25	0,25	1,00	0,60	0,50	0,80
	0.5 H	= 3	0,25	0,25	1,00	0,60	0,50	1,00
	0.6 H	= 3,6	0,25	0,25	1,00	0,60	0,50	1,20
7	0.7 H	= 4,2	0,25	0,25	1,00	0,60	0,50	1,40
	0.3 H	= 2,1	0,25	0,25	1,17	0,70	0,58	0,70
	0.4 H	= 2,8	0,25	0,25	1,17	0,70	0,58	0,93
	0.5 H	= 3,5	0,25	0,25	1,17	0,70	0,58	1,17
	0.6 H	= 4,2	0,25	0,25	1,17	0,70	0,58	1,40
8	0.7 H	= 4,9	0,25	0,25	1,17	0,70	0,58	1,63
	0.3 H	= 2,4	0,25	0,25	1,33	0,80	0,66	0,80
	0.4 H	= 3,2	0,25	0,25	1,33	0,80	0,66	1,07
	0.5 H	= 4	0,25	0,25	1,33	0,80	0,66	1,33
	0.6 H	= 4,8	0,25	0,25	1,33	0,80	0,66	1,60
9	0.7 H	= 5,6	0,25	0,25	1,33	0,80	0,66	1,87
	0.3 H	= 2,7	0,25	0,25	1,50	0,90	0,75	0,90
	0.4 H	= 3,6	0,25	0,25	1,50	0,90	0,75	1,20
	0.5 H	= 4,5	0,25	0,25	1,50	0,90	0,75	1,50
	0.6 H	= 5,4	0,25	0,25	1,50	0,90	0,75	1,80
10	0.7 H	= 6,3	0,25	0,25	1,50	0,90	0,75	2,10
	0.3 H	= 3	0,25	0,25	1,67	1,00	0,83	1,00
	0.4 H	= 4	0,25	0,25	1,67	1,00	0,83	1,33
	0.5 H	= 5	0,25	0,25	1,67	1,00	0,83	1,67
	0.6 H	= 6	0,25	0,25	1,67	1,00	0,83	2,00
	0.7 H	= 7	0,25	0,25	1,67	1,00	0,83	2,33

Analisis Data

Tahap pertama pemodelan analisis hidrologi menggunakan modul SEEP/W dengan parameter intensitas hujan 136,97 mm/hari (Faradiba, 2021) dan permeabilitas tanah lempung lunak 1×10^{-7} m/s (Das, 2014). Simulasi infiltrasi air hujan dilakukan selama 24 jam dengan interval waktu 1 jam. Tekanan air pori dibatasi hingga 100 kPa untuk memastikan kondisi realistis sesuai standar praktik geoteknik. Pada Gambar 2 a, b dan c menampilkan input dan tahapan pada analisis aliran air tanah dengan SEEP/W.



Gambar 2 Analisis SEEP/W

Evaluasi stabilitas lereng dilaksanakan melalui SLOPE/W dengan menerapkan metode Morgenstern-Price untuk lereng homogen (Wang et al., 2024). *Mesh* elemen segitiga berukuran 0,1 m diterapkan pada zona kritis menghasilkan keseimbangan optimal antara akurasi dan efisiensi komputasi.

Gaya setiap irisan:

$$F_i = c'_i l_i + (N_i - u_i l_i) \tan \phi'_i \quad (1)$$

Dengan c'_i = kohesi efektif, N_i = gaya normal, u_i = tekanan air pori, l_i = panjang dasar irisan dan ϕ'_i = sudut geser efektif.

Faktor keamanan:

$$SF = \frac{\sum [c'_i l_i + (N_i - u_i l_i) \tan \phi'_i]}{\sum W_i \sin \alpha_i} \quad (2)$$

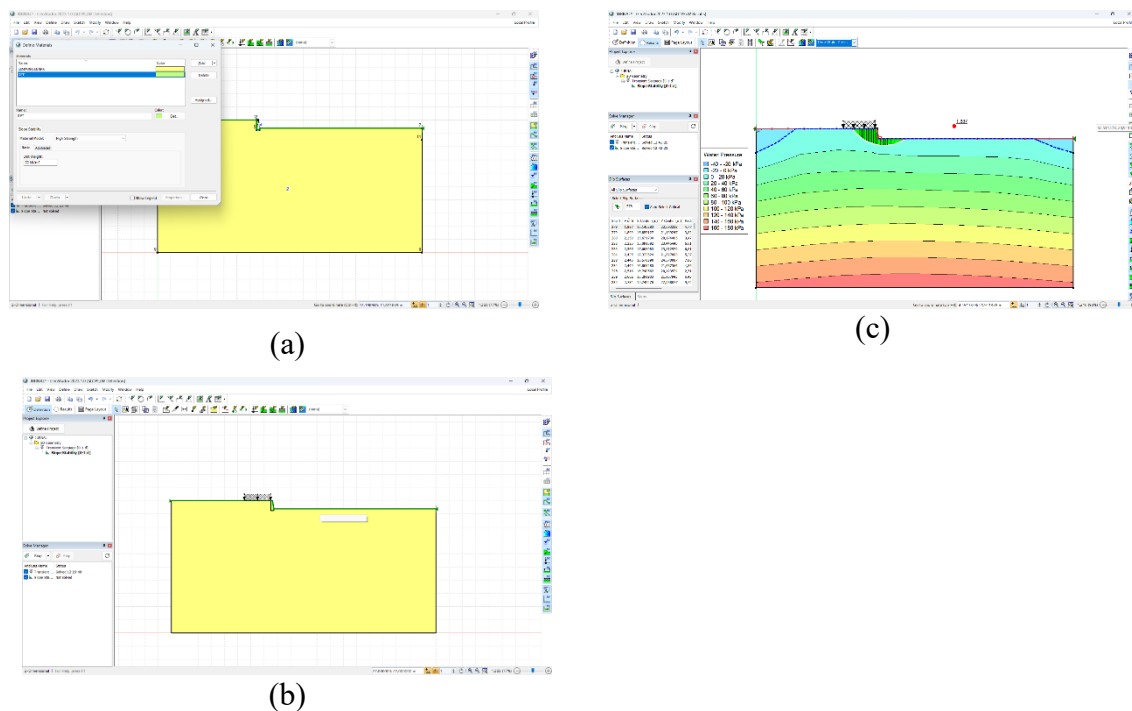
Dengan W_i = berat irisan dan α_i = sudut kemiringan dasar irisan.

Fungsi tegangan antar irisan:

$$\lambda f(x) = \frac{X}{E} \quad (3)$$

Dengan X = gaya geser antar-irisan, E = gaya normal antar-irisan dan $F(x)$ = fungsi variasi.

Pada Gambar 3 menampilkan tahapan pada analisis stabilitas DPT dengan SLOPE/W.



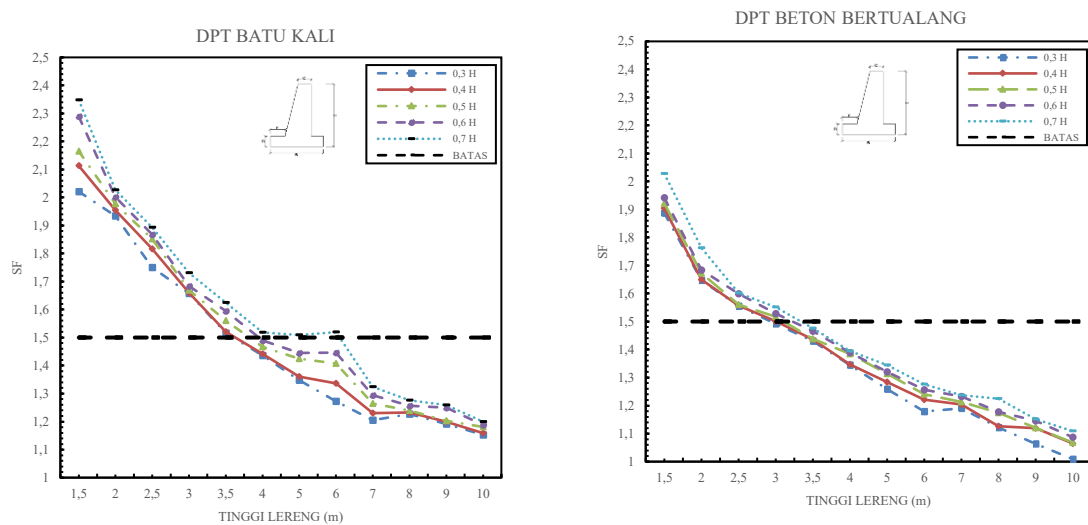
Gambar 3 Analisis SLOPE/W

Tahap akhir yaitu memodelkan geometri DPT menggunakan Autodesk Revit dengan mengacu pada dimensi minimum yang ditetapkan dalam SNI 8460:2017 (SNI, 2017). Tahap akhir melibatkan perhitungan biaya konstruksi berdasarkan volume material yang dihitung otomatis oleh Revit dan harga satuan dasar Kabupaten Purbalingga.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hubungan Ketinggian Lereng Terhadap Stabilitas DPT

Pada DPT dengan material pasangan batu kali, faktor keamanan ($SF \geq 1,5$ sesuai SNI 8460:2017) hanya terpenuhi pada ketinggian 1,5–3,5 m, dengan deformasi masih di bawah batas toleransi < 20 cm (Srokosz et al., 2021). Pada ketinggian 4–6 m, deformasi melampaui batas maksimum. Sementara itu, DPT dari beton bertulang hanya memenuhi $SF \geq 1,5$ pada ketinggian 1,5–3 m, dengan deformasi masih di bawah 20 cm. Seperti yang ditampilkan pada Gambar 4 dan Tabel 4.



(a) (b)
Gambar 4 Grafik tinggi lereng terhadap SF DPT

Tabel 4 Dimensi minimum DPT

Ketinggian (m)	Rasio Lebar Minimum		SF		Deformasi (cm)	
	Batu kali	Beton Bertulang	Batu kali	Beton Bertulang	Batu kali	Beton Bertulang
1,5	0,3 H	0,3 H	2,021	1,887	6,271	6,705
2	0,3 H	0,3 H	1,934	1,647	7,911	7,732
2,5	0,3 H	0,3 H	1,75	1,555	8,771	9,225
3	0,3 H	0,4 H	1,658	1,501	10,179	11,503
3,5	0,3 H	-	1,516	-	12,604	-
4	0,7 H	-	1,518	-	41,427	-
5	0,7 H	-	1,509	-	112,176	-
6	0,7 H	-	1,519	-	246,657	-

Tabel 5 menunjukkan penurunan rerata SF untuk setiap kenaikan ketinggian lereng sebesar 0,5 meter. Penurunan rerata SF berkisar antara 5,61% hingga 6,53%, tergantung pada rasio lebar terhadap tinggi lereng (B/H). Sementara itu, pada material beton bertulang, pola yang serupa juga terlihat. Penurunan rerata SF untuk setiap kenaikan ketinggian lereng sebesar 0,5 meter berkisar antara 5,47% hingga 6,08%.

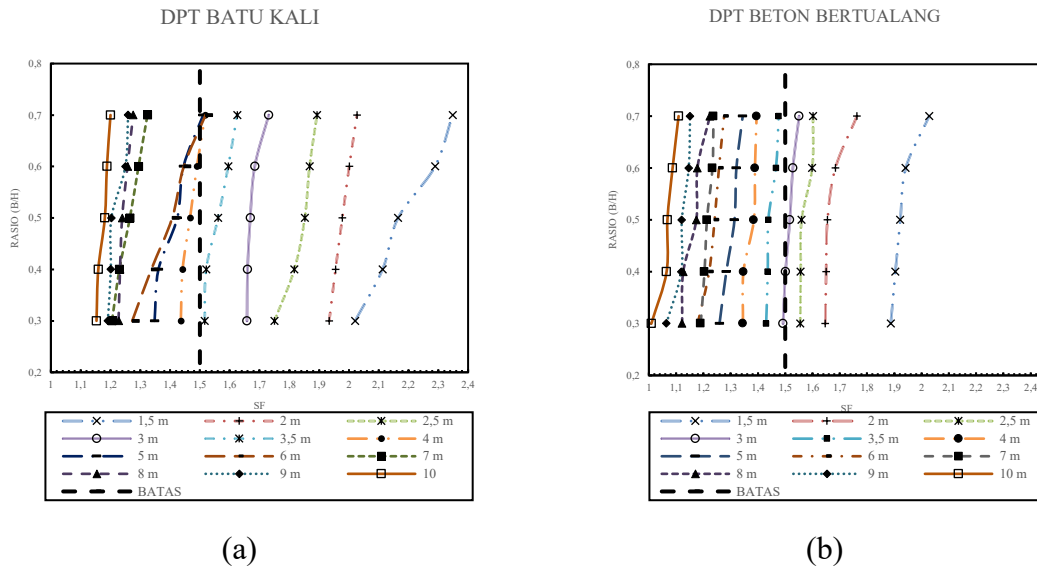
Tabel 5 Penurunan stabilitas DPT setiap peningkatan tinggi lereng 0,5 m

Rasio Lebar DPT (B)	Penurunan Minimum SF (%)		Penurunan Maksimum SF (%)		Penurunan Rerata SF (%)	
	Batu kali	Beton Bertulang	Batu kali	Beton Bertulang	Batu kali	Beton Bertulang
0,3 H	1,83	0,93	10,51	14,57	5,61	6,08
0,4 H	0,16	0,63	9,46	15,39	5,69	5,48
0,5 H	1,21	2,31	11,23	14,95	5,72	5,54
0,6 H	0,07	1,95	14,39	15,32	6,25	5,47
0,7 H	0,60	1,06	15,84	15,03	6,53	5,70

Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi ketinggian lereng, semakin rendah nilai SF untuk kedua jenis material. Hal ini menunjukkan penurunan stabilitas tanah yang terjadi seiring dengan peningkatan ketinggian lereng, yang sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Shiferaw, 2021).

Hubungan Rasio Lebar Terhadap Stabilitas DPT

Grafik pada Gambar 5 terlihat bahwa SF meningkat seiring dengan bertambahnya rasio lebar terhadap tinggi DPT. Pola ini konsisten pada semua variasi ketinggian lereng, menunjukkan bahwa semakin besar rasio (B/H), semakin tinggi pula nilai SF.



Gambar 5 Grafik rasio (B/H) terhadap stabilitas DPT

Tabel 6 menunjukkan rata-rata peningkatan SF per kenaikan rasio B/H sebesar 0,032 untuk pasangan batu kali dan 0,020 untuk beton bertulang, dengan tren peningkatan yang relatif lebih kuat pada ketinggian lereng rendah.

Tabel 6 Peningkatan stabilitas setiap peningkatan rasio 0,1 H DPT

Ketinggian Lereng (m)	Peningkatan Rerata SF	
	Batu kali	Beton Bertulang
1,5	0,082	0,035
2	0,023	0,029
2,5	0,036	0,012
3	0,018	0,015
3,5	0,027	0,012
4	0,021	0,013
5	0,040	0,021
6	0,062	0,024
7	0,030	0,012
8	0,012	0,026
9	0,017	0,022
10	0,012	0,025

Hasil analisis hubungan rasio (B/H) terhadap stabilitas di setiap variasi ketinggian lereng menunjukkan bahwa, nilai SF DPT material pasangan batu kali memiliki nilai lebih besar dibandingkan DPT material beton bertulang. Hal ini dipengaruhi faktor dimensi yang berbeda, sehingga mengakibatkan volume dan berat struktur DPT pasangan batu kali lebih besar dibandingkan dengan DPT beton bertulang. Selaras dengan penelitian dari (Zeng et al., 2024) yang menyatakan bahwa faktor keamanan stabilitas DPT meningkat secara bertahap seiring dengan bertambahnya lebar pelat dinding dan pelat kaki dinding.

Hubungan Stabilitas Terhadap Biaya Konstruksi DPT

Tabel 7 sampai **Tabel 10** menunjukkan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) merupakan metode sistematis dalam menghitung biaya yang diperlukan untuk menyelesaikan satu satuan pekerjaan konstruksi tertentu.

Tabel 7 AHSP Memasang 1 m³ Pondasi Batu Belah

No. 1	Uraian 2	Kode 3	Satuan 4	Koefisien 5	Harga Satuan (Rp) 6	Jumlah Harga (Rp) 7
A	Tenaga Kerja					
1	Pekerja	L.01	OH	1,50000	Rp 88.000,00	Rp 132.000,00
2	Tukang Batu	L.02	OH	0,75000	Rp 103.000,00	Rp 77.250,00
3	Kepala Tukang	L.03	OH	0,07500	Rp 105.000,00	Rp 7.875,00
4	Mandor	L.04	OH	0,07500	Rp 105.000,00	Rp 7.875,00
					Jumlah Harga Tenaga Kerja	Rp 225.000,00
B	Bahan					
1	Batu Belah		m ³	1,2000	Rp 290.217,00	Rp 348.260,40
2	Semen Portland (SP)		kg	117,0000	Rp 1.418,00	Rp 165.906,00
3	Pasir Pasang (PP)		m ³	0,5610	Rp 266.017,00	Rp 149.235,54
					Jumlah Harga Tenaga Kerja	Rp 663.401,94
C	Peralatan					
					Jumlah Harga Tenaga Kerja	Rp -
D	Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan dan Peralatan (A+B+C)					Rp 888.401,94
E	Overhead + Profit			15%	x D	Rp 133.260,29
F	Harga Satuan Pekerjaan per-m' (D+E)					Rp 1.021.662,23

Tabel 8 AHSP 1 m³ Pengecoran Beton Menggunakan Ready Mixed

No. 1	Uraian 2	Kode 3	Satuan 4	Koefisien 5	Harga Satuan (Rp) 6	Jumlah Harga (Rp) 7
A	Tenaga Kerja					
1	Pekerja	L.01	OH	0,40000	Rp 88.000,00	Rp 35.200
2	Tukang Batu	L.02	OH	0,10000	Rp 103.000,00	Rp 10.300
3	Kepala Tukang	L.03	OH	0,01000	Rp 105.000,00	Rp 1.050
4	Mandor	L.04	OH	0,04000	Rp 105.000,00	Rp 4.200
					Jumlah Harga Tenaga Kerja	Rp 50.750
B	Bahan					
1	Beton Ready Mixed	M.28x	m ³	1,0200	Rp 1.350.000	Rp 1.377.000
					Jumlah Harga Tenaga Kerja	Rp 1.377.000
C	Peralatan					
					Jumlah Harga Tenaga Kerja	Rp -
D	Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan dan Peralatan (A+B+C)					Rp 1.427.750
E	Overhead + Profit			15%	x D	Rp 214.163
F	Harga Satuan Pekerjaan per-m ³ (D+E)					Rp 1.641.913

Tabel 9 AHSP Penulangan Untuk BJTP Diameter ≥ 12 mm, Cara Semi Mekanis

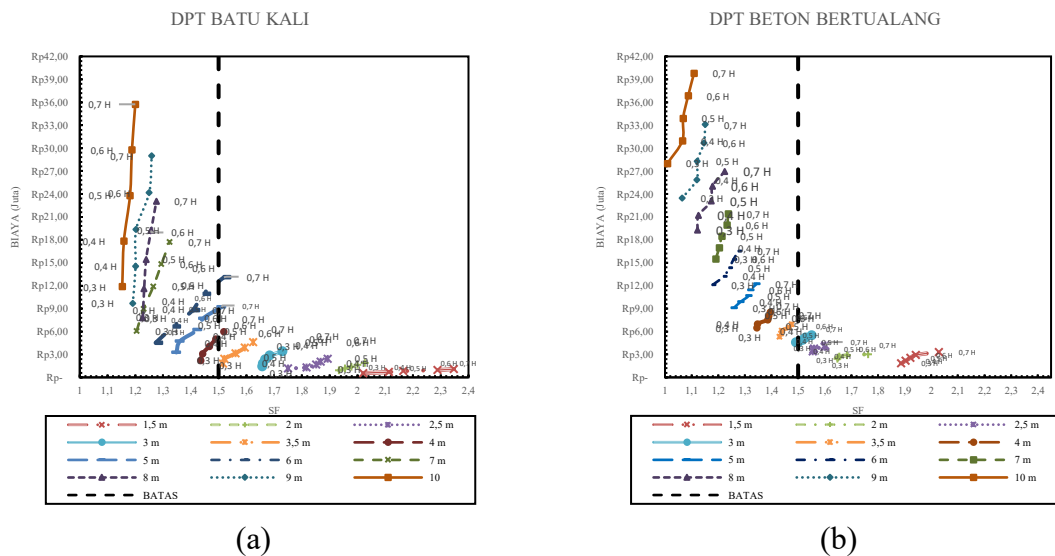
No. 1	Uraian 2	Kode 3	Satuan 4	Koefisien 5	Harga Satuan (Rp) 6	Jumlah Harga (Rp) 7
A	Tenaga Kerja					
1	Pekerja	L.01	OH	0,00160	Rp 88.000,00	Rp 141
2	Tukang Besi	L.02	OH	0,00160	Rp 103.000,00	Rp 165
3	Kepala Tukang	L.03	OH	0,00016	Rp 105.000,00	Rp 17
4	Mandor	L.04	OH	0,00016	Rp 105.000,00	Rp 17
					Jumlah Harga Tenaga Kerja	Rp 339
B	Bahan					
1	BJTP	M.60.a	kg	1,0200	Rp 13.000	Rp 13.260
2	Kawat Bendrat	M.72	kg	0,0280	Rp 21.025	Rp 589
					Jumlah Harga Tenaga Kerja	Rp 13.849
C	Peralatan					
1	Bar Cutter	To.25.c	Hari	0,04	Rp 350.000	Rp 14.000
2	Bar Bender	To.25.a	Hari	0,04	Rp 350.000	Rp 14.000
					Jumlah Harga Tenaga Kerja	Rp 28.000

No.	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
D	Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan dan Peralatan (A+B+C)					Rp 42.188
E	Overhead + Profit			15%	x D	Rp 6.328
F	Harga Satuan Pekerjaan per-kg (D+E)					Rp 48.516

Tabel 10 AHSP Pemasangan 1 m² Bekisting Dinding

No.	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
A	Tenaga Kerja					
1	Pekerja	L.01	OH	0,24000	Rp 88.000,00	Rp 21.120
2	Tukang Kayu	L.02	OH	0,12000	Rp 103.000,00	Rp 12.360
3	Kepala Tukang	L.03	OH	0,01200	Rp 105.000,00	Rp 1.260
4	Mandor	L.04	OH	0,02400	Rp 105.000,00	Rp 2.520
					Jumlah Harga Tenaga Kerja	Rp 37.260
B	Bahan					
1	Multiflex 18 mm	M.39.d	lbr	0,1280	Rp 313.833	Rp 40.171
2	Kaso 5/7 cm	M.37.a	m ³	0,0050	Rp 2.340.000	Rp 11.700
3	Paku 5 cm dan 7 cm	M.72.b	kg	0,2400	Rp 19.667	Rp 4.720
4	Minyak Bekisting	M.141	Liter	0,2000	Rp 27.250	Rp 5.450
					Jumlah Harga Bahan	Rp 40.171
C	Peralatan					
					Jumlah Harga Alat	Rp -
D	Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan dan Peralatan (A+B+C)					Rp 77.431
E	Overhead + Profit			15%	x D	Rp 11.615
F	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)					Rp 89.045

Pada Gambar 6 menunjukkan pada DPT material pasangan batu kali masih efektif digunakan hingga ketinggian 7 meter. Sedangkan, DPT material beton bertulang efektif digunakan hingga ketinggian 8 meter. Melebihi ketinggian tersebut, biaya meningkat signifikan.



Gambar 6 Grafik SF terhadap biaya DPT

Pada

Tabel 11 menunjukkan biaya minimum yang dibutuhkan untuk memenuhi stabilitas minimum DPT pada berbagai ketinggian lereng. Material pasangan batu kali cenderung memerlukan biaya lebih rendah dibanding beton bertulang untuk mencapai SF minimum.

Tabel 11 Perbandingan Biaya Konstruksi DPT

Ketinggian Lereng (m)	Rasio Minimum Lebar		Biaya	
	Batu kali	Beton Bertulang	Batu kali	Beton Bertulang
1,5	0,3 H	0,3 H	Rp561.914,23	Rp1.832.768,56
2	0,3 H	0,3 H	Rp929.712,63	Rp2.449.558,98
2,5	0,3 H	0,3 H	Rp1.164.694,94	Rp3.391.026,68
3	0,3 H	0,4 H	Rp1.420.110,50	Rp4.583.550,31
3,5	0,3 H	-	Rp1.808.342,14	-
4	0,7 H	-	Rp5.986.940,65	-
5	0,7 H	-	Rp9.215.393,29	-
6	0,7 H	-	Rp13.097.709,76	-

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan pada berbagai ketinggian lereng, dapat disimpulkan bahwa hubungan antara nilai SF dan biaya konstruksi DPT bersifat linier untuk kedua jenis material. Setiap peningkatan 0,1 nilai SF mengarah pada kenaikan biaya konstruksi, yang menunjukkan bahwa stabilitas DPT berpengaruh signifikan terhadap biaya DPT. Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan (Alexiou et al., 2020) dan (Bari et al., 2022) yang menunjukkan bahwa semakin besar nilai stabilitas DPT maka semakin tinggi pula biaya konstruksi yang dibutuhkan.

SIMPULAN

Berdasarkan analisis, ditemukan bahwa peningkatan ketinggian lereng berbanding terbalik dengan nilai faktor keamanan (SF), baik pada DPT pasangan batu kali maupun beton bertulang. Sebaliknya, peningkatan rasio lebar terhadap tinggi (B/H) secara signifikan meningkatkan stabilitas DPT. Namun, peningkatan dimensi DPT juga berpotensi memperbesar deformasi dan penurunan struktur. Hubungan antara nilai SF dan biaya konstruksi bersifat linier, di mana setiap peningkatan 0,1 nilai SF mengakibatkan kenaikan biaya konstruksi, sehingga stabilitas DPT berpengaruh signifikan terhadap biaya pembangunan. Studi lanjutan disarankan untuk mengeksplorasi material alternatif (misalnya geosintetik) yang lebih ringan dan berkelanjutan, menilai kekuatan struktur DPT terhadap gaya eksternal, serta melakukan studi parametrik menggunakan berbagai metode analisis geoteknik (Carbonell et al., 2022).

DAFTAR PUSTAKA

- Aisah, E., & Gofar, N. (2022). Studi Pengaruh Curah Hujan Terhadap Stabilitas Lereng Menggunakan Program Perisi. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 18(2), 133. <https://doi.org/10.25077/jrs.18.2.133-147.2022>
- Alexiou, A., Zachos, D., Alamanis, N., Chouliaras, I., & Papageorgiou, G. (2020). Construction Cost Analysis of Retaining Walls. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 9(4), 1909–1914. <https://doi.org/10.35940/ijeat.D8929.049420>
- Bari, F., Repadi, J. A., Andriani, Ismail, F. A., & Hakam, A. (2022). Optimal Cost of Slope Stabilization with Retaining Wall. *International Journal of GEOMATE*, 22(93), 83–90. <https://doi.org/10.21660/2022.93.3129>

- Carbonell, J. M., Monforte, L., Ciantia, M. O., Arroyo, M., & Gens, A. (2022). Geotechnical Particle Finite Element Method for Modeling of Oil-Structure Interaction Under Large Deformation Conditions. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 14(3), 967–983. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2021.12.006>
- Das, B. M. (2014). *Geotechnical Engineering Handbook*. J. Ross Publishing Inc.
- Dermawan, A., Syaiful, Alimuddin, & Fachruddin. (2022). *Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah (Studi Kasus: Desa Mekarjaya)* (Vol. 15, Issue 2).
- Elgamal, A. (2022). Guidelines for Geotechnical Finite Element Modeling. *The Open Civil Engineering Journal*, 15(1), 424–440. <https://doi.org/10.2174/1874149502115010424>
- Faradiba. (2021). Analysis of Intensity, Duration, and Frequency Rain Daily of Java Island Using Mononobe Method. *Journal of Physics: Conference Series*, 1783(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1783/1/012107>
- Mase, L. Z., Perdana, A., Hardiansyah, Amri, K., & Bahri, S. (2022). A Case Study of Slope Stability Improvement in Central Bengkulu Landslide in Indonesia. *Transportation Infrastructure Geotechnology*, 9(4), 442–466. <https://doi.org/10.1007/s40515-021-00186-3>
- Shiferaw, H. M. (2021). Study on the Influence of Slope Height and Angle on the Factor of Safety and Shape of Failure of Slopes Based on Strength Reduction Method of Analysis. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s43088-021-00115-w>
- SNI. (2017). *Standar Nasional Indonesia 8460 : 2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik*. www.bsn.go.id
- SNI. (2020). *Standar Nasional Indonesia 1727 : 2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*.
- Srokosz, P. E., Bujko, M., Bocheńska, M., & Ossowski, R. (2021). Optical Flow Method for Measuring Deformation of Soil Specimen Subjected to Torsional Shearing. *Measurement*, 174, 109064. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109064>
- Wang, X., Hu, X., Liu, C., Niu, L., Xia, P., Wang, J., & Zhang, J. (2024). Research on Reservoir Landslide Thrust Based on Improved Morgenstern-Price Method. *Journal of Earth Science*, 35(4), 1263–1272. <https://doi.org/10.1007/s12583-021-1545-5>
- Zeng, Y., Hu, W., Chen, M., Zhang, Y., Liu, X., & Zhu, X. (2024). Study On the Failure Characteristics of Sliding Surface and Stability Analysis of Inverted T-Type Retaining Wall in Active Limit State. *PLoS ONE*, 19(2 February). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0298337>