

VARIASI *SHEAR KEY* TERHADAP STABILITAS DINDING PENAHAN TANAH KANTILEVER BETON BERTULANG

Ni Putu Silvi¹ dan Made Novia Indriani²

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Ngurah Rai, Jl. Kampus Ngurah Rai No.30, Denpasar, Email: silvi@unr.ac.id

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hindu Indonesia, Jl. Sangalagit, Penatih, Denpasar Timur, Email: madenovia@gmail.com

ABSTRAK

Parameter stabilitas sangat penting dalam analisis dan desain struktur dinding penahan tanah kantilever beton bertulang. Salah satu parameter untuk meningkatkan stabilitas dinding penahan tanah ini adalah dengan menambahkan struktur *shear key* atau penahan geser. *Shear key* dapat meningkatkan stabilitas dinding, menahan geser, meningkatkan kekakuan, menahan beban lateral dan meningkatkan kapasitas beban. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat stabilitas (guling dan geser) dinding penahan tanah kantilever beton bertulang dengan memvariasikan dimensi *shear key* dengan luas penampang yang sama. Metode yang digunakan adalah metode kuantitatif menggunakan data properties material tanah, beton bertulang dan geometri struktur dinding penahan tanah. Analisis menggunakan bantuan *software Geo5* yang merupakan *software* geoteknik untuk mengatasi problem di bidang geoteknik. Pada penelitian ini telah dibuat empat buah model dinding penahan tanah kantilever beton bertulang antara lain: model 1 ($b/h = 0$) yaitu model tanpa penahan geser, model 2 ($b/h = 1$) yaitu penahan geser bujur sangkar, model 3 ($b/h = 1/4$) yaitu penahan geser persegi panjang vertikal dan model 4 ($b/h = 4/1$) yaitu penahan geser persegi panjang horisontal. Hasil analisis menghasilkan stabilitas guling dengan peningkatan momen guling dan penurunan momen tahanan rata-rata masing-masing sebesar 8.32% dan 4.43% terhadap model tanpa *shear key* dengan *safe factor* guling maksimum pada model *shear key* persegi panjang horisontal 2.24. Demikian juga stabilitas geser model dengan *shear key* menghasilkan peningkatan gaya geser tanah dan penurunan gaya geser aktif rata-rata masing-masing sebesar 11.76% dan 105.93% terhadap model tanpa *shear key* dengan *safe factor* geser maksimum pada model *shear key* persegi panjang horisontal 3.96.

Kata kunci: *shear key*, stabilitas, kantilever, dinding penahan tanah, beton bertulang

ABSTRACT

Stability parameters are very important in the analysis and design of reinforced concrete cantilever retaining wall structures. One of the parameters to increase the stability of this retaining wall is to add a shear key structure. Shear keys can increase wall stability, resist shear, increase stiffness, resist lateral loads and increase load capacity. The purpose of this research is to determine the level of stability (overturning and shearing) of reinforced concrete cantilever retaining walls by varying the shear key dimensions with the same cross-sectional area. The method used is a quantitative method using data on the properties of soil materials, reinforced concrete and the geometry of retaining wall structures. The analysis uses the help of Geo5 software, which is geotechnical software for solving problems in the geotechnical field. In this research, four models of reinforced concrete cantilever retaining walls have been created, including: model 1 ($b/h = 0$), namely model without shear key, model 2 ($b/h = 1$), namely square shear key, model 3 ($b/h = 1/4$) is a vertical rectangular shear key and model 4 ($b/h = 4/1$) is a horizontal rectangular shear key. The results of the analysis produce rolling stability with an increase in rolling moment and a decrease in moment of resistance on average of 8.32% and 4.43% respectively for the model without shear key with a maximum rolling safe factor in the horizontal rectangular shear key model of 2.24. Likewise, the shear stability of the model with shear key results in an increase in ground shear force and a decrease in active shear force on average of 11.76% and 105.93% respectively compared to the model without shear key with a maximum shear safe factor in the horizontal rectangular shear key model of 3.96.

Keywords: *shear key*, stability, cantilever, retaining wall, reinforced concrete.

1. PENDAHULUAN

Shear key merupakan elemen penting dalam desain dinding penahan tanah beton bertulang dalam memastikan kinerja struktur yang optimal dan ketahanan jangka panjang struktur tersebut. Alasan penambahan struktur *shear key* ini adalah dapat

meningkatkan stabilitas, menahan geser, distribusi beban, meningkatkan kekakuan, meningkatkan daya tahan terhadap beban gempa dan meningkatkan kapasitas beban. Meningkatkan stabilitas dapat mencegah deformasi horizontal akibat tekanan tanah, sehingga dapat mencegah terjadinya kegagalan

struktural pada dinding. *Shear key* didesain untuk menahan gaya geser dari tanah dan dapat mendistribusikan beban dari tanah ke struktur dinding dengan merata, sehingga dapat mengurangi konsentrasi tegangan pada dinding dan mengurangi risiko retak. *Shear key* juga dapat meningkatkan kekakuan dinding dengan mengurangi deformasi dan meningkatkan performa secara keseluruhan pada dinding serta memperkuat dinding penahan tanah terhadap gaya-gaya lateral dari beban gempa. Penelitian-penelitian sebelumnya mengenai struktur *shear key* ini telah dilakukan oleh beberapa peneliti. (Sichani, 2012) menganalisis perilaku seismik dinding penahan beton dengan *shear key* dengan mempertimbangkan interaksi tanah dan struktur. Metode analisis menggunakan analisis elemen hingga. Beban gempa menggunakan beban gempa Tabas dan Loma Prieta. Perilaku seismik dinding ditinjau dalam dua kondisi dengan dan tanpa kaki geser pada telapak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan kaki geser mempunyai dampak positif dan negatif antara lain mengurangi geser dan meningkatkan momen pada dinding. Kaki geser dapat menahan gaya dan deformasi yang lebih besar akibat beban gempa. (Sari et al., 2020) melakukan analisis tentang kajian stabilitas variasi desain dinding penahan tanah konvensional. Ada 3 model dinding penahan tanah tipe gravitasi konvensional dengan variasi desain kemiringan vertikal 3 meter dengan batasan terdapat dua lapisan tanah kohesif di belakang dinding penahan tanah. Hasil penelitian menunjukkan semakin besar dinding penahan tanah maka faktor keamanan semakin meningkat. Desain dinding miring menghasilkan faktor keamanan lebih besar dibandingkan bentuk ramping. (Sable & Patil Archana, 2012) melakukan penelitian tentang perbandingan optimasi dan dinding penahan kantilever konvensional dengan *software Matlab*. Hasil analisis dapat mengoptimalkan biaya 15 - 30% dan berat 33 - 38% untuk dinding tinggi 3 - 6.5m. Faktor keamanan hasil analisis sesuai yang ditentukan oleh I.S. kode dan prosedur konvensional. Pada *Optimtool* di *Mathcad*, merupakan metode yang lebih iteratif. (Kurniawan et al., 2020) menganalisis pengaruh kekuatan *shear key* terhadap angka keamanan dan penurunan maksimum pada kondisi tanah lunak. Dalam penelitian ini dibuat dalam 2 model yaitu model arah luar dan dalam timbunan dengan kemiringan lereng timbunan 1:2. Variasi model dengan kedalaman (H) 2m, 3m, 4m, 5m dan lebar bawah (L) 1m, 2m dan 3m. Tujuan analisis ini adalah untuk mengetahui pengaruh kekuatan *shear key* terhadap angka keamanan dan penurunan maksimum dengan metode *finite element*. Hasil analisis menunjukkan angka keamanan maksimum terjadi pada arah luar sebesar 1.419 meningkat 11.88% dan penurunan maksimum 0.353m. Angka keamanan maksimum arah dalam 1.313 meningkat 3.54%,

dengan lendutan sebesar 0.409 m. Pemasangan arah luar menjadi perkuatan paling efektif dengan dimensi optimum tinggi 4m dan lebar 3m. (Kalateh-Ahani & Sarani, 2019) melakukan desain secara optimal dinding penahan kantilever berbasis kinerja. Studi ini menggunakan optimasi metaheuristik dengan konsep desain berbasis kinerja. Tinggi dinding kantilever yang dianalisis adalah 8 meter dengan pelat pada kaki dan tumit. Hasilnya menunjukkan bahwa solusi optimal Pareto memberikan informasi bagi pemilik untuk memilih paling ekonomis antara biaya konstruksi dan kinerja struktur. (Aminjavaheri & Karami, 2014) melakukan kajian penerapan *shear key* pada lereng bendungan dengan mengetahui stabilitas lereng dalam proses desain dan konstruksi bendungan. Tidak adanya lapisan aluvial meningkatkan faktor keamanan dan tidak memerlukan pembangunan tanggul di hilir pada bendungan. Konsekuensinya diperlukan pemindahan tanah dari lokasi yang memerlukan biaya mahal dan tidak praktis. Konstruksi tanggul juga meningkatkan stabilitas bendungan timbunan tanah. Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa metode *shear key* merupakan metode paling tepat karena metode ini lebih praktis dan ekonomis. (Du & Chen, 2010) melakukan studi numerikal mengenai pengaruh *shear key* terhadap stabilitas dinding penahan kantilever. Metode yang digunakan dalam analisis adalah metode elemen hingga 2D. Analisis menunjukkan *shear key* meningkatkan kapasitas geser. Faktor keamanan meningkat dari 1.038 menjadi 1.268, meningkat 22%, seiring bertambahnya panjang *shear key* dari 0m menjadi 0.6m. Faktor keamanan meningkat dan menurun akibat pergeseran *shear key* dari ujung kaki ke tumit. Faktor keamanan maksimal saat *shear key* dipasang dekat tengah tumit. (Jadhav & Prashant, 2020) melakukan studi analisis perpindahan translasi dan rotasi seismik dinding penahan kantilever dengan *shear key*. Studi ini mengusulkan metodologi desain berbasis perpindahan. Metode analisis menggunakan analisis dinamis elemen hingga regangan bidang dua dimensi. Terdapat 64 model telah dilakukan analisis dengan memvariasikan tinggi dan lebar dinding dan empat model skala gempa 0.12g, 0.24g, 0.36g dan 0.6g. Hasil analisis mengusulkan faktor perpindahan puncak sebesar 3.5, faktor perpindahan sisa sebesar 2.5 dan faktor geser sebesar 1. Berdasarkan 64 kasus analisis, penelitian ini mengusulkan faktor perpindahan puncak sebesar 3,5, faktor perpindahan sisa sebesar 2,5 dan faktor geser sebesar 1. Faktor-faktor tersebut masing-masing digunakan untuk memperkirakan perpindahan rotasi puncak, perpindahan rotasi sisa, dan perpindahan puncak geser. Faktor keamanan (*safety factor*) untuk guling dan geser = 1.5 dan daya dukung = 2 dijelaskan oleh (Terzaghi, 1967), (Das, 1998) dan (Bowles, 1991). Tekanan tanah horisontal merupakan tekanan tanah bidang tegak lurus dinding penahan tanah (DPT).

Tekanan ini dipengaruhi oleh perpindahan dan properties tanahnya. Analisis tekanan horisontal ditinjau berdasarkan sistem keseimbangan kondisi plastis. Besarnya tekanan ini ditentukan oleh koefisien tekanan tanah aktif dan pasif saat terjadi gempa, kohesi tanah dan beban. Parameter-parameter stabilitas terhadap guling adalah momen tahanan guling harus lebih besar dari momen yang menyebabkan guling. Stabilitas geser adalah gaya untuk menahan geser antara tanah dan fondasi serta tekanan tanah pasif pada tanah timbunan. Sedangkan stabilitas terhadap daya dukung yaitu gaya akibat beban harus lebih kecil dari daya dukung tanah ijin. Dinding penahan tanah ini digunakan untuk menangani material tanah agar tidak terjadi kelongsoran atau pergesaran. Fungsi dari DPT ini adalah menahan tekanan tanah dan melindungi sudut kemiringan dan memperkuat kemiringan dengan kekuatan. DPT dibagi menjadi: dinding gravitasi, semi gravitasi, dinding kantilever, dinding *counterfort*, dinding *buffers*, *abutment* jembatan dan dinding *cribb*. Langkah umum analisis dinding penahan tanah kantilever beton bertulang adalah sebagai berikut: (1) estimasi tekanan tanah, (2) perhitungan eksentrisitas, (3) tegangan ijin tanah, (4) perhitungan momen dan gaya geser, (5) perhitungan stabilitas momen guling dan geser. Persamaan faktor keamanan untuk guling dan geser adalah sebagai berikut:

$$SF_{guling} = \frac{M_{berat\ sendiri}}{M_{guling}} \quad (1)$$

$$SF_{geser} = \frac{V_{vertikal}}{V_{geser}} \quad (2)$$

Alat bantu dalam analisis kekuatan *shear key* ini adalah menggunakan *software Geo5*. *Geo5* merupakan *software* untuk memberikan pemecahan permasalahan geoteknik, analisis dan desain struktur pondasi, menghitung galian tanah, penurunan tanah, tingkat stabilitas dan kondisi tanah

Berdasarkan latar belakang dan penelitian-penelitian sebelumnya, maka dalam penelitian ini akan menganalisis variasi *shear key* terhadap stabilitas dinding penahan tanah kantilever beton bertulang. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat stabilitas dinding penahan tanah kantilever beton bertulang dengan memvariasikan dimensi *shear key* dengan luas penampang yang sama.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini adalah penelitian kuantitatif menggunakan data geometri struktur, properties material beton bertulang dan material tanah. Properties material beton bertulang disajikan pada Tabel 1. Properties material tanah disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1. Properties material beton bertulang

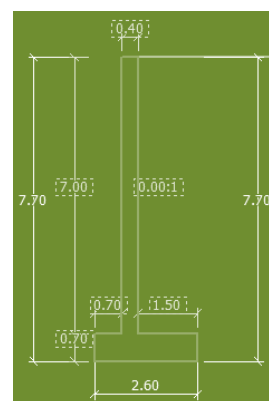
Parameter	Nilai
Mutu beton (f'_c)	30 MPa
Modulus elastisitas beton (E_c)	$4700\sqrt{f'_c}$ MPa
Berat volume beton (W_c)	2400 kg/m ³
Mutu baja (f_y)	400 MPa
Modulus elastisitas baja (E_s)	200000 MPa

Tabel 2. Properties material tanah

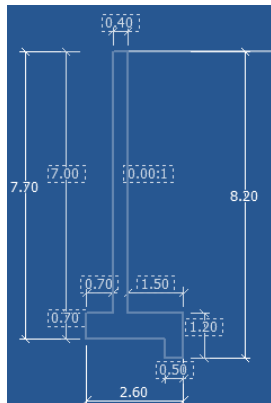
Parameter	Nilai
Berat volume (γ)	17 kN/m ³
Tegangan	Efektif
Sudut geser dalam (ϕ_{ef})	25 ⁰
Kohesi (c_{ef})	21 KPa
Tanah	cohesionless
Berat saturated (γ_{sat})	17 kN/m ³
Tegangan ijin tanah	400 KPa

Model Struktur

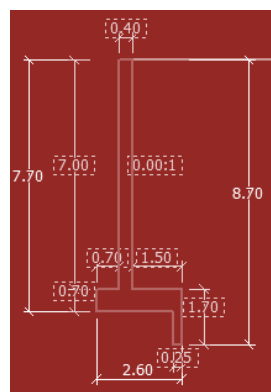
Dalam penelitian ini, dibuat empat buah model dinding penahan tanah kantilever beton bertulang dengan dan tanpa *shear key*. Luas *shear key* 0.25 m² adalah sama untuk model 2,3 dan 4. Model 1 adalah model tanpa *shear key* dengan rasio lebar (b) dan tinggi (h) *shear key* adalah b/h = 0 (Gambar 1). Model 1 ini adalah model original tanpa kekuatan dimana tebal dinding adalah 0.4 m, tinggi dinding tidak termasuk pondasi adalah 7m, tebal telapak = 0.7 m dengan lebar telapak 2.6m (Gambar 1). Jarak sisi luar lebar telapak terhadap sisi luar dinding bagian kiri terhadap sisi luar telapak adalah 0.7m sedangkan jarak sisi luar dinding bagian kanan terhadap sisi luar telapak adalah 1.5m. Model 2 adalah model dengan rasio *shear key* b/h = 1 (bujur sangkar) disajikan pada Gambar 2. Model 3 adalah model dengan rasio *shear key* b/h = 1/4 (persegi panjang vertikal) disajikan pada Gambar 3. Model 4 adalah model dengan rasio *shear key* b/h = 4/1 (persegi panjang horisontal) disajikan pada Gambar 4.



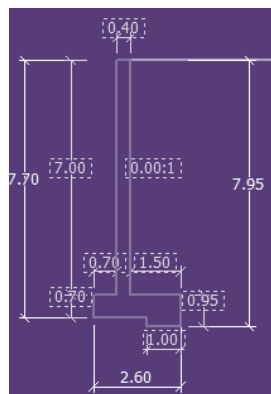
Gambar 1. Model 1 (b/h = 0) tanpa *shear key*



Gambar 2. Model 2 ($b/h = 1$) dengan *shear key* bujur sangkar

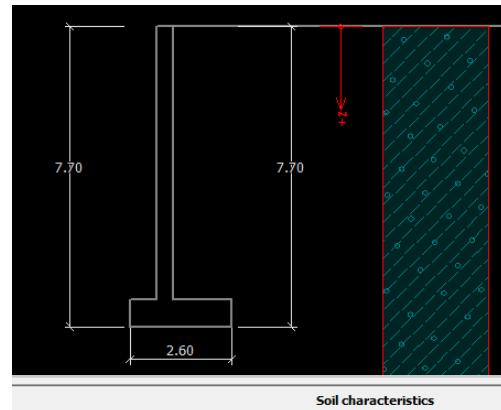


Gambar 3. Model 3 ($b/h = 1/4$) dengan *shear key* persegi panjang vertikal



Gambar 4. Model 4 dengan *shear key* persegi panjang horisontal

Gambar 5 menjelaskan pembebanan dinding penahan tanah, dimana tekanan tanah aktif berada di sebelah kanan dinding penahan tanah dengan karakteristik beban tanah seperti disajikan pada Gambar 5. Karakteristik beban tanah pada dinding penahan tanah ini adalah sama sepanjang tinggi dinding penahan tanah termasuk pondasi dinding penahan tanah ini. Beban lateral yang bekerja pada dinding ini adalah beban lateral tekanan tanah saja, sedangkan beban lateral seperti beban gempa tidak diperhitungkan dalam analisis ini.



Soil characteristics	
Unit weight :	$\gamma = 17.00 \text{ kN/m}^3$
Stress-state :	effective
Angle of internal friction :	$\phi_{ef} = 25.00^\circ$
Cohesion of soil :	$c_{ef} = 21.00 \text{ kPa}$
Angle of friction struc.-soil :	$\delta = 25.00^\circ$
Soil :	cohesionless
Saturated unit weight :	$\gamma_{sat} = 17.00 \text{ kN/m}^3$

Gambar 5. Pembebanan dinding penahan tanah

3. HASIL

Hasil analisis stabilitas terhadap ke empat model, model dengan rasio $b/h = 1$ dan $1/4$ menghasilkan momen tahanan, momen guling, gaya geser tahanan dan gaya geser aktif masing-masing sebesar 414.97 kNm, 207.42 kNm, 139.46 kN dan 79.19 kN dengan *safety factor* untuk guling adalah 2 dan untuk geser adalah 1.76 (Tabel 3). Seiring peningkatan dan penurunan stabilitas guling, maka *safety factor* guling model 2, 3 dan 4 mengalami peningkatan masing-masing 8.85%, 8.85% dan 18.49% terhadap Model 1. Sedangkan peningkatan dan penurunan stabilitas geser, maka *safety factor* geser mengalami peningkatan masing-masing sebesar 40.16%, 40.16% dan 73.36% (Tabel 4).

Tabel 3. Stabilitas guling

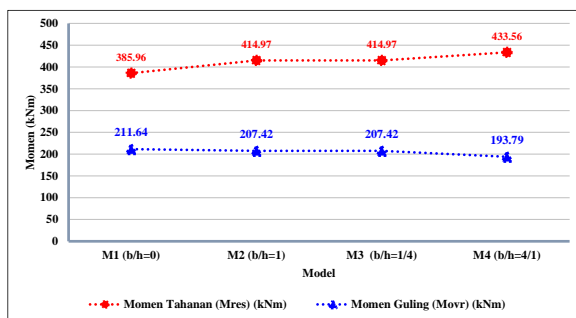
Model	Momen Tahanan (M_{res}) (kNm)	Momen Guling (M_{ovr}) (kNm)	<i>Safety Factor</i>
M1 ($b/h=0$)	385.96	211.64	1.82
M2 ($b/h=1$)	414.97	207.42	2.00
M3 ($b/h=1/4$)	414.97	207.42	2.00
M4 ($b/h=4/1$)	433.56	193.79	2.24

Tabel 4. Stabilitas geser

Model	Gaya Geser Tahanan (M_{res}) (kNm)	Gaya Geser Aktif (M_{ovr}) (kN)	<i>Safety Factor</i>
M1 ($b/h=0$)	125.85	119.42	1.05
M2 ($b/h=1$)	139.46	79.19	1.76
M3 ($b/h=1/4$)	139.46	79.19	1.76
M4 ($b/h=4/1$)	149.4	37.77	3.96

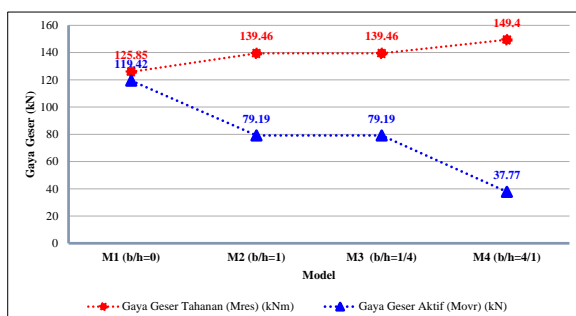
Penambahan *shear key* pada struktur dinding penahan tanah kantilever beton bertulang menghasilkan stabilitas guling dimana momen tahanan model 2, model 3 dan model 4 semakin meningkat masing-masing sebesar 6.99%, 6.99% dan 10.98% terhadap model 1, sedangkan momen guling model 2, model 3 dan model 4 semakin menurun masing-masing sebesar 2.03%, 2.03% dan 9.21% terhadap model 1. Model 2 dan 3 memiliki peningkatan momen tahanan dan penurunan momen guling sama (Gambar 6).

Penambahan *shear key* pada struktur dinding penahan tanah kantilever beton bertulang juga menghasilkan stabilitas geser dimana gaya geser tahanan model 2, model 3 dan model 4 semakin meningkat masing-masing sebesar 9.76%, 9.76% dan 15.76% terhadap model 1, sedangkan gaya geser aktif model 2, model 3 dan model 4 semakin menurun masing-masing sebesar 50.80%, 50.80% dan 216.18% terhadap model 1. Model 2 dan 3 memiliki peningkatan gaya geser tahanan dan penurunan gaya geser aktif sama (Gambar 7).



Gambar 6. Momen tahanan dan momen guling

Bentuk *shear key* bujur sangkar dan persegi panjang vertikal memberikan stabilitas momen dan geser signifikan sama. Sedangkan untuk bentuk *shear key* persegi panjang horisontal menghasilkan momen tahanan, momen guling, gaya geser tahanan dan gaya geser aktif masing-masing sebesar 433.56 kNm, 193.56 kNm, 149.4 kN dan 37.77 kN dengan *safety factor* untuk guling adalah 2.24 dan untuk geser adalah 3.96 (Tabel 4).



Gambar 7. Gaya geser tahanan dan gaya geser aktif

4. KESIMPULAN

Hasil analisis menunjukkan bahwa dinding penahan tanah kantilever beton bertulang dengan luas penampang *shear key* sama dengan bentuk penampang bujur sangkar (model 2), persegi panjang vertikal (model 3) dan persegi panjang horisontal (model 4) menghasilkan stabilitas guling dengan peningkatan momen guling dan penurunan momen tahanan rata-rata masing-masing sebesar 8.32% dan 4.43% terhadap model tanpa *shear key* dengan *safe factor* guling maksimum pada model *shear key* persegi panjang horisontal 2.24. Demikian juga stabilitas geser model dengan *shear key* menghasilkan peningkatan gaya geser tahanan dan penurunan gaya geser aktif rata-rata masing-masing sebesar 11.76% dan 105.93% terhadap model tanpa *shear key* dengan *safe factor* geser maksimum pada model *shear key* persegi panjang horisontal 3.96.

DAFTAR PUSTAKA

Aminjavaheri, A., & Karami, M. (2014). *Application of Shear Keys to Improve the Slope Stability of Earth Dams on Weak Alluvial Foundations*. May 2014, 642–650. <https://doi.org/10.1061/9780784413388.067>

Bowles, J. E. (1991). *Analisis dan Desain Pondasi* (4th ed.). Erlangga.

Das, B. M. (1998). *Mekanika Tanah (prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)* (1st ed.). Erlangga.

Du, C., & Chen, J. (2010). Numerical study of the effect of shear keys on the stability of cantilever retaining walls. *Sci-En-Tech.Com*, 2007. <https://www.sci-en-tech.com/ICCM2022/PDFs/4775-15718-1-PB.pdf>

Jadhav, P. R., & Prashant, A. (2020). Computation of seismic translational and rotational displacements of cantilever retaining wall with shear key. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 130(May 2019), 105966. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.105966>

Kalateh-Ahani, M., & Sarani, A. (2019). Performance-based optimal design of cantilever retaining walls. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 63(2), 660–673. <https://doi.org/10.3311/PPci.13201>

Kurniawan, M. I. A., Setiawan, B., & Djarwanti, N. (2020). Pengaruh Perkuatan Shear Key Terhadap Angka Keamanan Dan Penurunan Maksimum Pada Timbunan Di Atas Tanah Lunak. *Matriks Teknik Sipil*, 8(1), 60–68. <https://doi.org/10.20961/mateksi.v8i1.41523>

Sable, K. S., & Patil Archana, A. (2012). Comparison between Optimization and Conventional

Catilever Retaining Wall by Using Optimtool in Matlab. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 1(6), 255–261.

Sari, U. C., Sholeh, M. N., & Hermanto, I. (2020). The stability analysis study of conventional retaining walls variation design in vertical slope. *Journal of Physics: Conference Series*, 1444(1). <https://doi.org/10.1088/17426596/1444/1/012053>

Sichani, Majid Ebad. (2012). Seismic Behavior of Concrete Retaining Wall with Shear Key, Considering Soil-Structure Interaction. *15th World Conference on Earthquake Engineering (15WCEE)*, October.

Terzaghi, K. (1967). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. John Willey and Sons.