

## KOMPARASI ANALISIS BANGUNAN PENGAMAN LERENG MENGGUNAKAN METODE *LOAD RESISTANCE FACTOR DESIGN* DAN *ALLOWABLE STRESS DESIGN*

\*Furqaan Harjanto<sup>1</sup>, Dega Roffiyantama<sup>2</sup>, Mentari Putri Maharani<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta

\*) Email: fh884@ums.ac.id

### ABSTRACT

*Retaining walls are important structures in civil construction used to resist soil and water pressure. Two common methods used for retaining wall analysis are the Load and Resistance Factor Design (LRFD) and Allowable Stress Design (ASD) methods. LRFD is based on the principle of probabilistic balance and considers an explicit safety factor to ensure that the capacity of the structure is greater than the loads that may occur, while ASD is based on the principle that the stresses acting on the structure should not exceed the allowable stresses for the material and is simpler than the LRFD method, but does not consider the safety factor explicitly and does not account for uncertainties in materials, loads and analysis. With the different approaches in LRFD and ASD analysis, this study aims to compare the analysis results with LRFD and ASD approaches in the case of a secant pile-type retaining wall on the slope of river X where the initial analysis used the ASD approach. Secondary data in the form of soil data and river slope cross sections were obtained from the previous planning consultant, then the analysis was carried out with GEO5 software. The initial model was created first with the same parameters as the previous planning in order to provide the same penetration, displacement and internal force requirements as the planning consultant. The same model in the analysis results will be used as an analysis model for the LRFD approach and the analysis results in the LRFD model will be compared with the analysis model in the ASD approach. Based on the results of the LRFD analysis on the Strength boundary condition, it was found that the LRFD method gave a penetration depth 21.7% greater than ASD, moment force 40% greater than ASD and shear force 7.8% greater than ASD. A more detailed approach needs to be carried out on other boundary conditions such as Service and Extreme in order to provide more optimal comparison results.*

**Keyword:** *Earth Retaining Structure, Load Resistance Factor Design (LRFD), Allowable Stress Design (ASD), GEO5*

### ABSTRAK

Dinding penahan tanah merupakan struktur penting dalam konstruksi sipil yang digunakan untuk menahan tekanan tanah dan air. Dua metode umum yang digunakan untuk analisis dinding penahan tanah adalah metode *Load and Resistance Factor Design* (LRFD) dan *Allowable Stress Design* (ASD). LRFD didasarkan pada prinsip keseimbangan probabilistik dan mempertimbangkan faktor keamanan yang eksplisit untuk memastikan bahwa kapasitas struktur lebih besar dari beban yang mungkin terjadi, sedangkan ASD didasarkan pada prinsip bahwa tegangan yang bekerja pada struktur tidak boleh melebihi tegangan yang diizinkan untuk material dan lebih sederhana daripada metode LRFD, tetapi tidak mempertimbangkan faktor keamanan secara eksplisit dan tidak memperhitungkan ketidakpastian dalam material, beban, dan analisis. Dengan adanya perbedaan pendekatan dalam analisis LRFD dan ASD, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan hasil analisis dengan pendekatan LRFD dan ASD pada kasus dinding penahan tanah tipe secant pile pada lereng sungai X yang dimana analisis awal menggunakan pendekatan ASD. Data sekunder berupa data tanah dan potongan melintang lereng sungai didapatkan dari konsultan perencanaan sebelumnya, lalu analisis dilakukan dengan *software* GEO5. Model awal dibuat terlebih dahulu dengan parameter yang sama dengan perencanaan sebelumnya agar memberikan hasil kebutuhan penetrasi, *displacement* dan gaya dalam yang sama dengan perencanaan dari konsultan perencana. Model yang telah sama dalam hasil analisis tersebut akan digunakan sebagai model pendekatan LRFD dan hasil analisis pada model LRFD tersebut akan dibandingkan dengan model analisis pada pendekatan ASD. Berdasarkan dari hasil analisis LRFD pada kondisi batas Kuat, didapatkan metode LRFD memberikan kedalaman penetrasi 21.7% lebih besar daripada ASD, gaya moment 40% lebih besar dari ASD dan gaya geser 7.8% lebih besar dari ASD. Pendekatan lebih detail perlu dilakukan pada kondisi batas lain seperti Layan dan Ekstrim agar dapat memberikan hasil perbandingan yang lebih optimal.

**Kata kunci:** *Dinding Penahan Tanah, Load Resistance Factor Design (LRFD), Allowable Stress Design (ASD), GEO5*

## 1. PENDAHULUAN

Dinding penahan tanah merupakan struktur penting dalam konstruksi sipil yang digunakan untuk menahan tekanan tanah dan air. Dua metode umum yang digunakan untuk analisis dinding penahan tanah adalah metode *Load and Resistance Factor Design* (LRFD) dan *Allowable Stress Design* (ASD). Metode LRFD didasarkan pada prinsip keseimbangan probabilistik dan mempertimbangkan faktor keamanan yang eksplisit untuk memastikan bahwa kapasitas struktur lebih besar dari beban yang mungkin terjadi. Metode ini menggunakan kombinasi beban yang lebih realistis dan memperhitungkan ketidakpastian dalam material, beban, dan analisis. Metode ASD didasarkan pada prinsip bahwa tegangan yang bekerja pada struktur tidak boleh melebihi tegangan yang diizinkan untuk material. Metode ini lebih sederhana daripada metode LRFD, tetapi tidak mempertimbangkan faktor keamanan secara eksplisit dan tidak memperhitungkan ketidakpastian dalam material, beban, dan analisis. *Allowable stress*

*design* (ASD) merupakan pendekatan desain dinding penahan tanah yang paling umum digunakan [1] [2]. Dalam metode ASD, faktor keamanan yang digunakan tidak mempertimbangkan kepastian prediksi beban yang bekerja, hal tersebut dikarenakan oleh pengalaman dan penilaian individu merupakan faktor yang sangat menentukan untuk mendapatkan nilai faktor keamanan pada pendekatan ASD. Metode ASD memberikan hasil yang tidak konsisten serta tidak mengikuti filosofi desain dan pengetahuan yang terbaru [3]. Berdasarkan dari penjelasan tersebut, maka *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) mengembangkan pendekatan baru berupa *load resistance factor design* (LRFD) yang merupakan pengembangan dari faktor ASD, yang dimana untuk mendapatkan nilai keamanan yang seragam, statistik aktual digunakan untuk menentukan nilai faktor tahanan dan faktor beban dari LRFD [4]. Standar yang digunakan di Indonesia dalam desain dinding penahan tanah adalah SNI 8460:2017, dimana standar tersebut juga menggunakan pendekatan ASD [5]. Sehingga berdasarkan dari hal tersebut, perlu dilakukan analisis terkait penggunaan metode LRFD dalam desain dinding penahan tanah, mengingat metode ASD telah mulai ditinggalkan dalam beberapa standar perencanaan.

Desain dari dinding penahan tanah umumnya dilakukan dengan menggunakan pendekatan dari *allowable stress design* (ASD) dengan adanya satu nilai faktor keamanan untuk mengakomodir ketidakpastian dalam beban dan kekuatan material [6] [7]. Hasil analisis menggunakan metode ASD memberikan hasil yang tidak mengikuti filosofi desain dan pengetahuan yang terbaru serta cenderung memberikan hasil yang tidak konsisten, sehingga dikembangkan metode *load resistance factor design* (LRFD) [3]. Terdapat dua koefisien berupa koefisien modifikasi beban (faktor beban) dan koefisien reduksi kekuatan (faktor tahanan) [8]. Faktor beban berupa koefisien dengan nilai lebih dari satu yang menunjukkan adanya peningkatan beban, sedangkan untuk faktor tahanan ditunjukkan dengan koefisien kurang dari satu yang menunjukkan adanya reduksi beban.

Secara umum, desain LRFD mengharuskan bahwa kekuatan material yang telah dikalikan dengan faktor reduksi, harus lebih besar daripada beban bekerja yang telah dikalikan dengan faktor beban [4], dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q = \sum \eta_i \gamma_i Q_i \leq \phi R_n = R_r \quad (1)$$

Dengan:

$Q$  : beban terfaktor

$Q_i$  : gaya yang bekerja

$\eta_i$  : faktor modifikasi beban

$\gamma_i$  : faktor beban

$R_r$  : tahanan terfaktor

$R_n$  : tahanan nominal (contoh: kapasitas ultimit)

$\phi$  : faktor tahanan

Persamaan (1) dapat berlaku untuk lebih dari satu jenis kombinasi beban yang disebut sebagai kondisi batas.

### Kombinasi Beban

Faktor beban yang digunakan dalam analisis pendekatan LRFD berdasarkan pada *American Association of State Highway and Transportation Officials* dapat dilihat pada Tabel 1 [4]. Dalam desain dinding penahan tanah, hanya kombinasi Kuat 1 (*Strength 1*), Kuat 4 (*Strength 4*), Layan 1 (*Service 1*) dan Ekstrim 1 (*Extreme 1*) yang digunakan dalam desain [9]. Khusus untuk kombinasi kuat 4, hanya digunakan ketika beban mati dinding penahan tanah sangat besar, contohnya seperti dinding penahan tanah tipe gravitasi, oleh karenanya hanya digunakan kombinasi kuat 1 untuk dinding secant pile. Dalam proses desain, kombinasi beban yang paling berpengaruh hanyalah kuat 1 dan ekstrim 1 [10]. Pada kombinasi beban kuat 1, terdapat faktor beban maksimum dan minimum yang ditunjukkan dengan kode 1-a dan kuat 1-b, faktor maksimum akan memberikan tekanan tanah yang terbesar, sedangkan faktor minimum akan memberikan nilai eksentrisitas terbesar.

### Faktor Tahanan

*American Association of State Highway and Transportation Officials* memberikan faktor tahanan untuk beberapa kondisi seperti pada Tabel 2 [4].

**Tabel 5.** Kombinasi beban dan faktor beban LRFD

Load Combination Limit State	DC	DD	DW	EH	EV	LL	ES	IM	EL	CE	PS	BR	CR	PL	SH	LS	WA	WS	WL	FR	Min	Max	EQ	BL	IC	CT	CV
	Note : Use Only One of These Load Types at a Time														TU												
Strength I	$\gamma_p$	1.75	1	-	-	-	1	0.5	1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.5	1.2	-	-	-	-	-
Strength II	$\gamma_p$	1.35	1	-	-	-	1	0.5	1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.5	1.2	-	-	-	-	-
Strength III	$\gamma_p$	-	1	1	-	-	1	0.5	1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.5	1.2	-	-	-	-	-
Strength IV	$\gamma_p$	-	1	-	-	-	1	0.5	1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.5	1.2	-	-	-	-	-
Strength V	$\gamma_p$	1.35	1	1	1	1	1	0.5	1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.5	1.2	-	-	-	-	-
Extreme Event I	1	$\gamma_{EQ}$	1	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
Extreme Event II	1	0.5	1	-	-	-	1	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Service I	1	1	1	1	1	1	1	1	1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1.2	-	-	-	-	-	-

**Tabel 6.** Faktor tahanan untuk dinding penahan tanah

Wall-Type and Condition		Resistance Factor
Non Gravity Cantilevered and Anchored Walls		
Axial compressive resistance of vertical elements		Article 10.5 applies
Passive resistance of vertical elements		0.75
Cohesionless (granular) soils		0.65
Pullout resistance of anchors		0.7
Cohesive soils		0.5
Rock		1
Tensile resistance of anchor tendon		Where proof tests are conducted
Mild steel (e.g., ASTM A615 Bars)		0.9
Flexural capacity of vertical elements		High Strength Steel (e.g., ASTM A722)
High Strength Steel (e.g., ASTM A722)		0.8
Flexural capacity of vertical elements		0.9
Mechanically Stabilized Earth Walls, Gravity Walls and Semigravity Walls		
Bearing resistance		Gravity and semigravity walls
MSE walls		0.55
Sliding		0.65
Strip reinforcements		1
Tensile resistance of metallic reinforcement and connectors		0.75
• Static loading		
Grid reinforcements		0.65
• Static loading		
Tensile resistance of geosynthetic reinforcement and connectors		0.9
Static loading		
Pullout resistance of tensile reinforcement		0.9
Static loading		

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan menggunakan studi kasus pada lereng sungai X yang dimana analisis dinding penahan tanah pada lokasi tersebut menggunakan pendekatan ASD. Data penelitian yang digunakan dalam analisis adalah data potongan melintang lereng kondisi eksisting dan data penyelidikan tanah. Data tanah yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data dari pihak terkait berupa uji *standard penetration test* (SPT) dan pengujian

laboratorium pada beberapa kedalaman pengambilan sampel tanah. Data potongan eksisting didapatkan dari dokumen *review drawing* oleh konsultan perencana terkait dan data tanah didapatkan dari dokumen laporan *review desain* oleh konsultan perencana. Dalam penelitian ini, analisis menggunakan *software* GEO5 dikarenakan dimungkinkannya analisis pendekatan metode LRFD pada beberapa kombinasi beban dan juga analisis menggunakan pendekatan ASD.

Tahapan pada penelitian ini dibagi menjadi tahap awal dan tahap analisis :

#### Tahap Awal

Pada tahap ini, studi literatur yang berkaitan dengan analisis stabilitas dinding penahan tanah dengan menggunakan metode LRFD dilakukan. pada tahap ini akan didapatkan penjelasan terkait dengan seperti apa konsep analisis menggunakan LRFD jika dibandingkan dengan metode konvensional ASD. Pada tahap awal juga merupakan tahap untuk pengumpulan data yang meliputi data potongan melintang dan data penyelidikan tanah. Potongan yang digunakan merupakan potongan pada titik P.07, hal ini dikarenakan pada potongan tersebut merupakan lereng yang paling tinggi jika dibandingkan dengan potongan lainnya. Untuk data tanah, data yang digunakan merupakan data hasil pengeboran pada titik BH 24 dikarenakan titik tersebut merupakan titik yang paling dekat dengan potongan P.07. Setelah studi literatur dan pengumpulan data analisis, langkah selanjutnya adalah mempelajari desain konstruksi dinding penahan tanah kondisi eksisting. Dengan mempelajari desain dinding penahan tanah eksisting, maka didapatkan jenis dinding penahan tanah dan dimensi yang digunakan. Desain dinding penahan tanah eksisting juga digunakan sebagai acuan penentuan dimensi awal perencanaan.

#### Tahap Analisis

Pada tahap analisis, analisis menggunakan bantuan *software* GEO5 dalam perhitungan stabilitas dinding penahan tanah tipe non gravitasi menggunakan metode LRFD. Kombinasi beban beserta dengan faktor reduksi disesuaikan dengan panduan pada *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)* tahun 2012 untuk nantinya dijadikan input pada *software* GEO5. Jenis dinding penahan tanah beserta dimensi yang digunakan disesuaikan dengan kondisi eksisting dan hasil analisis konsultan perencana sebelumnya, dengan lapisan tanah beserta parameter tanah sesuai dengan hasil pengujian laboratorium pada BH 24 yang ada pada analisis konsultan perencana sebelumnya. Setelah didapatkan kombinasi beban dan faktor reduksi yang sesuai berdasarkan LRFD, potongan melintang P.07 disederhanakan untuk memudahkan proses analisis pada *software*. Model yang digunakan dalam analisis akan dianalisis menggunakan pendekatan ASD terlebih dahulu, lalu dengan model yang sama, dilanjutkan analisis menggunakan pendekatan LRFD. Langkah selanjutnya adalah menelaah hasil analisis, lalu dibandingkan hasil analisis berupa dimensi dinding penahan tanah dan gaya dalam yang terjadi menggunakan metode LRFD, dibandingkan dengan desain menggunakan metode ASD. Seberapa besar perbedaan hasil analisis terhadap kedalaman penetrasi dan gaya dalam pada metode LRFD dibandingkan ASD dapat diketahui dari hasil perbandingan tersebut.

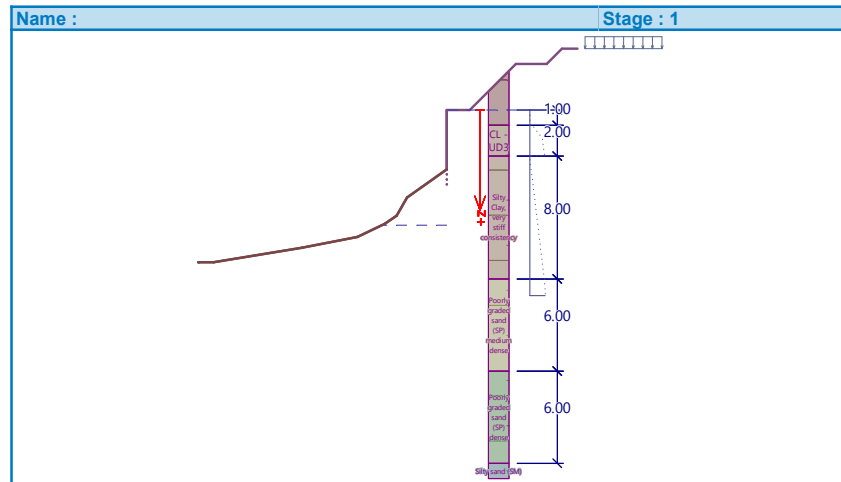
### 3. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Data dan parameter tanah yang digunakan merupakan data dari konsultan perencana sebelumnya berdasarkan hasil pengujian lab dari sampel bor BH -24 seperti pada Tabel 1. Pada beberapa kedalaman yang tidak terdapat data hasil pengujian laboratorium, dilakukan korelasi parameter berdasarkan penelitian lain yang sesuai dengan jenis tanahnya [11].

Tabel 7. Hasil korelasi parameter tanah

No	Nama	Kedalaman (m)	$\phi$ efektif (°)	C efektif (Kpa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma$ su (kN/m <sup>3</sup> )	$\delta$ (°)
1	CL – UD2	0.00 – 1.00	11.60	13.73	14.42	4.71	6.90
2	CL – UD3	1.00 – 3.00	8.70	8.83	16.77	6.87	4.00
3	Silty Clay	3.00 – 11.00	21.00	28.00	21.00	12.00	14.00
4	Medium dense sand	11.00 – 17.00	33.50	0.00	18.50	10.00	23.33
5	Dense sand	17.00 – 23.00	37.00	0.00	18.50	11.00	24.67
6	Silty sand	23.00 -	29.00	10.00	18.00	11.00	19.33

Profil tanah berdasarkan dari data Tabel 1 akan digunakan sebagai input pada *software* Geo5 seperti pada Gambar 1. Beban merata yang bekerja pada sisi atas lereng disesuaikan dengan beban yang ada pada laporan konsultan perencana, yaitu sebesar 24 kN/m<sup>2</sup>.



Gambar 4. Profil tanah

### Hasil Analisis Pendekatan *Allowable Stress Design (ASD)*

Desain dari struktur fondasi, dinding penahan tanah dan beberapa struktur lain secara umum menggunakan pendekatan ASD [6]. Standar yang digunakan dalam SNI 8460:2017 untuk desain dinding penahan tanah merupakan standar yang mengacu pada pendekatan ASD, hal ini ditunjukkan dengan adanya penggunaan nilai *safety factor* (SF) [5]. Nilai faktor keamanan ASD tidak mempertimbangkan kepastian prediksi beban yang bekerja karena didasarkan pada pengalaman dan penilaian individu. Oleh karena itu, desain pendekatan ASD bergantung pada pembatasan tegangan yang bekerja agar lebih kecil dari nilai tegangan izin yang dibagi dengan angka keamanan. Penggunaan metode ASD dalam analisis dapat dilihat pada Gambar 2. Hasil analisis untuk kedalaman penetrasi menggunakan pendekatan ASD dapat dilihat pada Gambar 3 dengan hasil kedalaman penetrasi yang dibutuhkan adalah 20.48 meter, dengan total panjang struktur adalah 24.34 meter. Untuk hasil *shear force* dan *bending bending moment* dapat dilihat pada Gambar 4.

Materials and standards | **Pressure analysis** | Anchors

Active earth pressure calculation : Coulomb

Passive earth pressure calculation : Mazindrani (Rankine)

Analysis method : dependent pressures

Earthquake analysis : Mononobe-Okabe

Modulus of subsoil reaction : standard

Consider reduction of the modulus of subsoil reaction for a braced sheeting

Input different structure/soil friction angles for active and passive pressures

Verification methodology : Safety factors (ASD)

Permanent design situation | Transient design situation | Accidental design situation | Seismic design situation

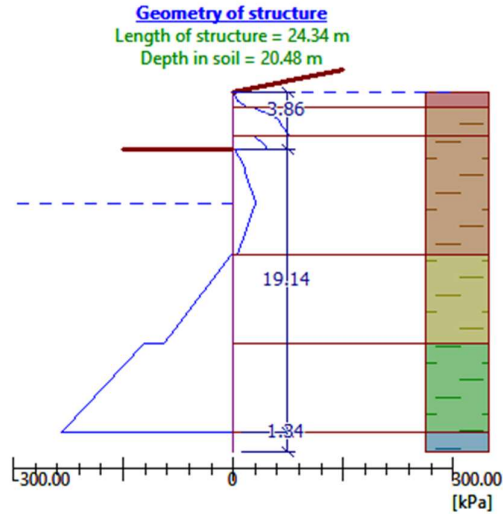
— Safety factors —

Safety factor for internal stability of anchors :  $SF_a = 1.50$  [-]

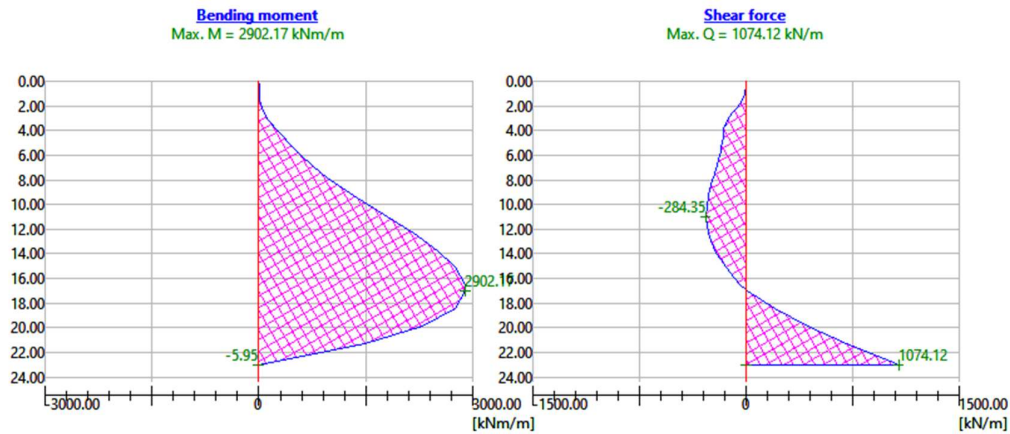
Safety factor for failure by heave :  $SF_h = 1.20$  [-]

Safety factor for failure by piping :  $SF_p = 1.50$  [-]

Gambar 5. Penggunaan metode ASD dalam analisis



Gambar 6. Kedalaman penetrasi menggunakan pendekatan ASD



Gambar 7. Bending moment dan shear force pendekatan ASD

### Hasil Analisis Pendekatan *Load Resistance Factor Design (LRFD)*

Pendekatan yang digunakan dalam desain metode LRFD adalah dengan melakukan evaluasi terhadap potensi kegagalan dengan cara mempertimbangkan ketidakpastian beban dan kekuatan material. Terdapat dua jenis koefisien dalam analisis melalui pendekatan LRFD, yaitu koefisien untuk modifikasi nilai beban (faktor beban) dengan nilai lebih dari satu dan koefisien untuk reduksi kekuatan (faktor tahanan) dengan nilai kurang dari satu [8] [12].

*American Association of State Highway and Transportation Officials* memberikan kondisi batas yang digunakan dalam desain LRFD, yaitu terdiri dari kondisi batas Kuat, Layan, Ekstrim dan Fatik [4]. Kondisi batas Kuat merupakan kondisi batas yang digunakan untuk menentukan dimensi dari struktur, sehingga analisis akan dilakukan pada kondisi batas Kuat dengan nilai faktor pengali untuk beban tekanan tanah adalah 1.5, sedangkan faktor pengali untuk beban hidup adalah 1.75. Nilai faktor reduksi yang digunakan untuk tekanan pasir adalah 0.75. Penggunaan metode LRFD dalam analisis dapat dilihat pada Gambar 5. Hasil analisis untuk kedalaman penetrasi menggunakan pendekatan LRFD dapat dilihat pada Gambar 6 dengan hasil kedalaman penetrasi yang dibutuhkan adalah 24.94 meter, dengan total panjang struktur adalah 28.80 meter. Untuk hasil *shear force* dan *bending moment* dapat dilihat pada Gambar 7.

Active earth pressure calculation : Coulomb  
 Passive earth pressure calculation : Mazindrani (Rankine)  
 Analysis method : dependent pressures  
 Earthquake analysis : Mononobe-Okabe  
 Modulus of subsoil reaction : standard  
 Consider reduction of the modulus of subsoil reaction for a braced sheeting  
 Input different structure/soil friction angles for active and passive pressures  
 Verification methodology : according to LRFD

Strength I | Service I | Extreme I

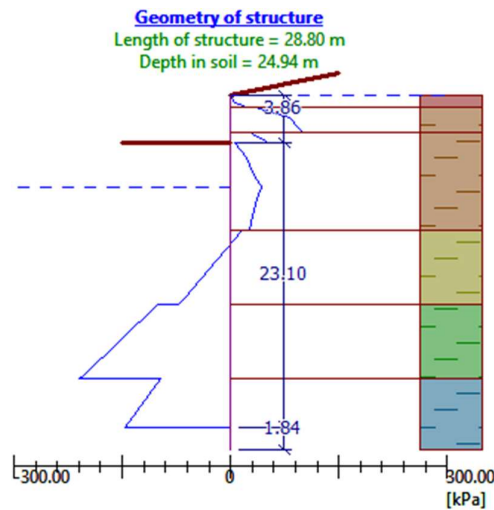
--- Load factors

	Minimum	Maximum
Dead load of structural components : DC =	0.90 [-]	1.25 [-]
Dead load of wearing surfaces : DW =	0.65 [-]	1.50 [-]
Earth pressure - active : $E H_A =$	0.90 [-]	1.50 [-]
Earth pressure - at rest : $E H_R =$	0.90 [-]	1.35 [-]
Earth surcharge load (permanent) : ES =	0.75 [-]	1.50 [-]
Vertical pressure of earth fill : EV =	1.00 [-]	1.35 [-]
Live load surcharge : LL =	0.00 [-]	1.75 [-]
Water load : WA =	1.00 [-]	1.00 [-]

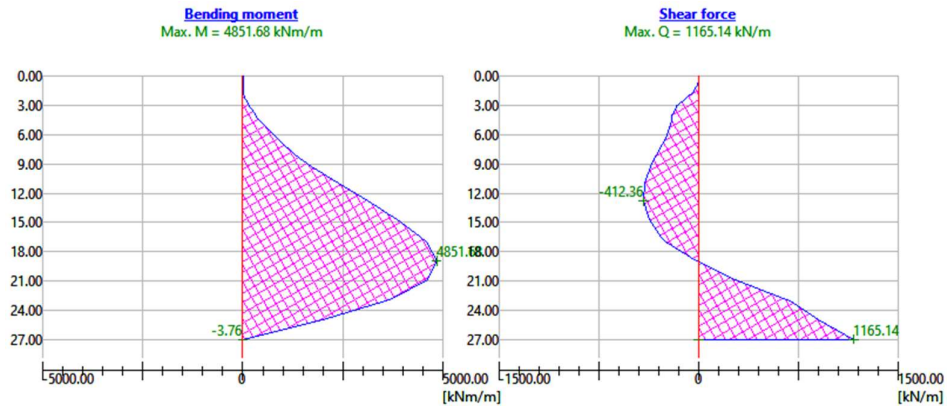
--- Resistance factors

Resistance factor on passive pressure : $\phi_{VE} =$	0.75 [-]
Resistance factor on pullout of anchor : $\phi_{pR} =$	0.50 [-]
Resistance factor on failure by heave : $\phi_{pP} =$	0.80 [-]

Gambar 8. Penggunaa metode LRFD dalam analisis



Gambar 9. Kedalaman penetrasi menggunakan pendekatan LRFD



Gambar 10. Bending moment dan shear force pendekatan LRFD

### Pembahasan Hasil

Berdasarkan dari hasil analisis yang telah dilakukan, didapatkan hasil bahwa analisis menggunakan pendekatan ASD memberikan hasil nilai penetrasi dan gaya dalam yang lebih kecil jika dibandingkan dengan hasil analisis menggunakan pendekatan LRFD. Pendekatan LRFD memberikan nilai penetrasi 21.7% lebih besar ketimbang pendekatan ASD, sedangkan untuk gaya dalam, LRFD memberikan nilai gaya dalam moment yang lebih besar 40%, sedangkan untuk geser memberikan nilai 7.8% lebih besar dari pendekatan ASD. Berdasarkan dari hasil tersebut, sekilas pendekatan ASD memberikan nilai yang lebih efisien jika dibandingkan dengan pendekatan LRFD, dibuktikan dengan kebutuhan desain metode ASD yang lebih kecil jika dibandingkan dengan metode LRFD, namun perlu menjadi catatan bahwa analisis yang dilakukan hanya terbatas pada kedalaman penetrasi dan gaya dalam, sedangkan dalam desain suatu struktur penahan tanah, terdapat pula tinjauan dalam hal deformasi. Pada pendekatan ASD, tidak terdapat nilai faktor keamanan khusus untuk tinjauan tersebut, tetap menggunakan faktor keamanan yang sama seperti pada saat desain kedalaman penetrasi yang dibutuhkan, sedangkan dalam pendekatan metode LRFD, untuk analisis terhadap deformasi, kondisi batas yang digunakan bukan lagi kondisi batas Kuat, namun menggunakan kondisi batas Layan. Kondisi batas Kuat dan Layan memiliki nilai faktor pengali beban seperti pada Tabel 2 dan faktor reduksi kekuatan untuk kondisi batas Kuat adalah 0.75, sedangkan kondisi batas Layan adalah 1. Batas Kuat merupakan kombinasi beban yang paling berpengaruh terhadap proses desain, namun tinjauan desain tetap perlu dilakukan pada kondisi batas lain [10]. Elemen struktur harus dievaluasi terhadap 11 kondisi batas, namun untuk dinding penahan tanah, hanya digunakan kondisi batas Kuat, Layan dan Ekstrim [9].

**Tabel 8.** Komparasi faktor pengali beban kombinasi untuk kondisi batas LRFD

Komponen	Kuat		Layan	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Earth pressure – active	0.9	1.5	1	1
Earth surcharge load	0.75	1.5	1	1
Vertical pressure of earth fill	1	1.35	1	1
Live load surcharge	0	1.75	1	1
Water load	1	1	1	1

Berdasarkan dari Tabel 4, dapat dilihat bahwa pada kondisi batas Kuat, kekuatan dari struktur direduksi sebesar 25%, sedangkan beban yang bekerja dinaikkan variatif tergantung jenis bebannya, dengan nilai kenaikan antar 35 – 75%, sehingga pada tinjauan kedalaman penetrasi dan gaya dalam, pendekatan LRFD akan memberikan hasil yang besar jika dibandingkan dengan pendekatan ASD dikarenakan adanya reduksi kekuatan dan penambahan beban, namun apabila diambil terhadap tinjauan pada kondisi batas Layan (tinjauan deformasi), maka hasil yang diberikan dapat berbeda dikarenakan tidak adanya faktor pengali maupun faktor reduksi. Dalam desain menggunakan pendekatan LRFD, terdapat beberapa jenis kondisi batas yang disesuaikan dengan tinjauan desain yang dilakukan, yaitu kondisi batas Kuat, Layan, Ekstrem dan Fatik, namun untuk desain dari dinding penahan tanah, kondisi batas Fatik tidak digunakan. Untuk kondisi batas Ekstrem digunakan ketika tinjauan dilakukan terhadap adanya faktor gempa.

### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil analisis yang dilakukan, pada contoh kasus dinding penahan tanah tipe non gravitasi dengan data tanah yang telah dilampirkan, untuk tinjauan terhadap kedalaman penetrasi turap dan gaya dalam, penggunaan metode ASD memberikan nilai penetrasi dan gaya dalam yang lebih kecil jika dibandingkan dengan menggunakan metode LRFD pada kondisi batas Kuat, hal ini ditunjukkan dengan LRFD yang menghasilkan nilai penetrasi 21.7% lebih besar daripada ASD. Tinjauan gaya dalam seperti moment dan geser juga memberikan nilai yang lebih besar jika dibandingkan dengan ASD, yaitu 40% untuk moment dan 7.8% lebih besar untuk geser. Pada kondisi batas Kuat, desain menggunakan pendekatan LRFD akan lebih boros, namun tinjauan pada kondisi batas lain seperti Layan untuk deformasi dan Ekstrem untuk gempa perlu dilakukan, mengingat kondisi batas yang digunakan akan sangat berpengaruh terhadap faktor pengali beban maupun faktor reduksi beban yang akan digunakan.

### DAFTAR PUSTAKA



- [1] F. Harjanto, A. D. Adi, and H. C. Hardiyatmo, "Evaluasi Bangunan Pengaman Lereng Sungai Ciliwung Ruas Kalibata Dengan Menggunakan Analisis Berdasarkan Load Resistance Factor Design," *Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*, vol. 29, no. 2, pp. 55–64, Jul. 2024, doi: 10.36728/jtsa.v29i2.3748.
- [2] SCDOT Geotechnical Design Manual, *Geotechnical Design Manual*. 2022.
- [3] S. G. . Paikowsky, *Load and resistance factor design (LRFD) for deep foundations*. Transportation Research Board, 2004.
- [4] American Association of State Highway and Transportation Officials., *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, Customary U.S. Units*. American Association of State Highway and Transportation Officials, 2012.
- [5] Badan Standarisasi Nasional, "Badan Standarisasi Nasional Standar Nasional Indonesia Persyaratan Perancangan Geoteknik," 2017, [Online]. Available: [www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id)
- [6] M. S. Aggour, "LRFD Resistance Factors for Maryland Retaining Walls," 2004.
- [7] European Committee For Standardization, "EN 1997-1: Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules," 2004.
- [8] Fine Ltd., "GEO5 - User's Guide," 2018.
- [9] E. F. Tawfik, T. B. Hamid, and M. Sherif Aggour, "Design of Cantilever Retaining Walls in Unsaturated Soils Using AASHTO Load and Resistance Factor Design (LRFD) Method," 2007.
- [10] M. Kalateh-Ahani and A. Sarani, "Performance-based optimal design of cantilever retaining walls," *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, vol. 63, no. 2, pp. 660–673, May 2019, doi: 10.3311/PPci.13201.
- [11] B. Look, *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables (2nd Edition)*. 2014.
- [12] A. Shamsabadi, A. Dasmeh, and E. Taciroglu, "Guidelines for Analysis and LRFD-based Design of Earth Retaining Structures," 2018.