

**TESIS**  
**KINERJA TEMBOK PENAHAN DENGAN MATERIAL BLOK**  
**SEMEN TERTAKIK AKIBAT BEBAN SEISMIK**

*PERFORMANCE OF MSE WALLS UNDER SEISMIC LOADS*

**MUHAMMAD IQRA HASRUL**

**D012201017**



**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS HASANUDDIN**  
**MAKASSAR**

**2024**

## **PENGAJUAN TESIS**

# **KINERJA TEMBOK PENAHAN DENGAN MATERIAL BLOK SEMEN TERTAKIK AKIBAT BEBAN SEISMIK**

Tesis

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar magister  
program studi teknik sipil

Disusun dan diajukan oleh



**MUHAMMAD IQRA HASRUL  
D012201017**

KEPADA

**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2024**

**TESIS****KINERJA TEMBOK PENAHAN DENGAN MATERIAL  
BLOK SEMEN TERTAKIK AKIBAT BEBAN SEISMIK****MUHAMMAD IQRA HASRUL  
D012201017**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 09 September 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Prof. Dr.Eng. Ir. Tri Harianto, ST, MT, IPU  
NIP. 197203092000031002

Pembimbing Pendamping



Dr.Eng. Ardy Arsyad, S.T, M.eng.Sc  
NIP. 197607072005011002

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr.Eng.Ir. Muhammad Isran Ramli, ST, MT,IPM  
NIP. 197309262000121002

Ketua Program Studi  
S2 Teknik Sipil



Dr.Ir.M.Asad Abdurrahman, S.T, M.Eng.PM,IPM  
NIP. 197303061998021001

## **PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA**

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Muhammad Iqra Hasrul

Nomor mahasiswa : D012201017

Program studi : Magister Teknik Sipil

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis berjudul "Kinerja Tembok Penahan Dengan Material Blok Semen Tertakik Akibat Beban Seismic" adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing Prof. Dr.Eng. Ir. Tri Harianto, MT., IPU dan Dr. Eng. Ardy Arsyad, ST., Meng.Sc Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di Jurnal/Prosiding The 2<sup>nd</sup> Internastional Conference on Research in Engineering and Science Technology (IC-REST) 2024 dengan status under review sebagai artikel dengan judul ("Performance of Interlock Retaining Walls Under Seismic Loads").

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 12 September 2024

Yang menyatakan,



Muhammad Iqra Hasrul

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga tesis ini dapat diselesaikan dengan baik. Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Selama proses penyusunan tesis ini, penulis banyak mendapat bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak **Prof. Dr.Eng. Ir. Tri Harianto, ST, MT, IPU** selaku pembimbing utama yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi selama proses penulisan tesis ini.
2. Bapak **Dr.Eng. Ardy Arsyad, ST, MEng.Sc** selaku pembimbing kedua yang telah memberikan masukan dan saran yang sangat berarti dalam penyempurnaan tesis ini.
3. Istri saya **Puspita Rezki Amanda**, yang selalu memberikan doa, semangat, dan dukungan moril maupun materiil sehingga penulis dapat menyelesaikan studi ini dengan baik.
4. **Ibu saya dan saudara2 saya** yang selalu memberikan doa, semangat, dan dukungan moril maupun materiil sehingga penulis dapat menyelesaikan studi ini dengan baik.
5. Teman-teman dan rekan-rekan di Program Studi Teknik Sipil, yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam berbagai bentuk selama masa studi dan penyusunan tesis ini.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis membuka diri untuk menerima saran dan kritik yang membangun demi perbaikan dan penyempurnaan di masa yang akan datang. Akhir kata, semoga tesis ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya.

Hormat Kami

Muhammad Iqra Hasrul

## ABSTRAK

**MUHAMMAD IQRA HASRUL.** Kinerja Tembok Penahan Dengan Material Blok Semen Tertakik Akibat Beban Seismik (dibimbing oleh **Tri Harianto, Ardy Arsyad**)

Penelitian ini bertujuan untuk menguji kinerja struktur dinding penahan dengan material blok semen tertakik akibat beban seismik menggunakan shaking table. Tanah longsor merupakan bencana yang menyebabkan lebih dari 100.000 kematian dan kerugian ekonomi lebih dari \$1 miliar setiap tahun. Perkembangan infrastruktur yang pesat, khususnya di daerah rawan bencana, membutuhkan teknologi konstruksi yang andal dan ekonomis. Struktur Geosynthetic-Reinforced Soil (GRS) menjadi solusi dengan menawarkan kinerja yang unggul, ketahanan terhadap beban seismik, serta efisiensi biaya. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan shaking table di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Hasanuddin. Model fisik dinding penahan blok semen tertakik dibuat dalam skala laboratorium dan diuji dengan berbagai variasi beban seismik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dinding penahan dengan material blok semen tertakik memiliki kapasitas menahan deformasi yang signifikan di bawah beban seismik dengan perpindahan lateral maksimum sebesar 2.5 mm. Penggunaan geosynthetics dalam struktur GRS meningkatkan modulus penampang hingga 25% dan ketahanan dinding terhadap keruntuhan sebesar 30%. Parameter yang dianalisis meliputi besarnya perpindahan, tegangan pada dinding, serta stabilitas keseluruhan struktur. Dari hasil pengujian, didapatkan bahwa dinding penahan blok semen tertakik mampu menahan beban seismik dengan baik, di mana deformasi lateral maksimum yang terukur berada di bawah ambang batas 5 mm yang diizinkan menurut standar desain internasional. Selain itu, teknologi ini juga terbukti lebih ekonomis dengan penghematan biaya konstruksi hingga 20% dibandingkan dengan metode konvensional, karena memungkinkan perbaikan dan penggantian sebagian modul yang rusak tanpa perlu mengganti seluruh struktur.

**Kata Kunci:** Tanah longsor, stabilitas lereng, dinding penahan, Geosynthetic-Reinforced Soil (GRS), beban seismik, shaking table, blok semen tertakik

## ABSTRACT

**MUHAMMAD IQRA HASRUL.** Performance Of Interlock Retaining Walls Due To Seismic Loads (Supervised by **Tri Harianto, Ardy Arsyad**)

This study aims to evaluate the performance of retaining wall structures using interlocking cement blocks under seismic loads with the aid of a shaking table. Landslides are a significant hazard that result in over 100,000 fatalities and more than \$1 billion in economic losses annually. The rapid development of infrastructure, particularly in disaster-prone areas, necessitates the use of reliable and economical construction technologies. Geosynthetic-Reinforced Soil (GRS) structures present a viable solution by offering superior performance, seismic load resistance, and cost efficiency. The research was conducted using a shaking table at the Soil Mechanics Laboratory of Hasanuddin University. A physical model of a retaining wall constructed with interlocking cement blocks was developed at a laboratory scale and tested under various seismic load scenarios. The results indicate that retaining walls built with interlocking cement blocks exhibit significant resistance to deformation under seismic loads, with a maximum lateral displacement of 2.5 mm. The inclusion of geosynthetics in GRS structures enhances the cross-sectional modulus by 25% and improves wall collapse resistance by 30%. The parameters analyzed included displacement magnitude, wall stress, and overall structural stability. The findings demonstrate that retaining walls with interlocking cement blocks can effectively withstand seismic loads, with maximum lateral deformations well within the international design standard limit of 5 mm. Additionally, this technology proves to be more economical, offering construction cost savings of up to 20% compared to conventional methods. This is due to the ability to conduct partial repairs and replacements of damaged modules without needing to replace the entire structure.

**Keywords:** *Landslides, slope stability, retaining wall, Geosynthetic Reinforced Soil (GRS), seismic load, shaking table, interlocking cement blocks.*

## DAFTAR ISI

<b>PENGAJUAN TESIS.....</b>	<b>I</b>
<b>PERSETUJUAN TESIS .....</b>	<b>II</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA ....</b>	<b>III</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>IV</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>V</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>VII</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>X</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>XII</b>
<b>DAFTAR NOTASI .....</b>	<b>XIII</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 LATAR BELAKANG .....	1
1.2 RUMUSAN MASALAH .....	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN.....	3
1.4 MANFAAT PENELITIAN .....	4
1.5 BATASAN PENELITIAN.....	4
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>6</b>
2.1 ISU STRATEGIS PERMASALAHAN LERENG .....	6
2.1.1 <i>Lereng</i> .....	6
2.1.2 <i>Stabilitas lereng</i> .....	8
2.1.3 <i>Definisi Faktor Keamanan Lereng</i> .....	16
2.2. PERKUATAN LERENG TANAH.....	18
2.2.1 <i>Definisi Dinding Penahan Tanah (Retaining Walls)</i> .....	18
2.2.2 <i>Perkembangan Penggunaan Sistem Dinding Penahan Tanah</i> .....	19

2.2.3. <i>Jenis-Jenis Dinding Penahan Tanah</i> .....	21
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>30</b>
3.1 JENIS PENELITIAN .....	30
3.2 LOKASI DAN WAKTU PENELITIAN .....	30
3.3 ALAT DAN BAHAN PENELITIAN .....	30
3.3.1 <i>Bahan yang digunakan</i> .....	30
3.3.2 <i>Alat yang digunakan</i> .....	32
3.4. RANCANGAN PENELITIAN .....	34
3.4.1 <i>Rancangan Pengujian</i> .....	34
3.4.2 <i>Uji model</i> .....	37
3.5. ANALISIS DATA .....	46
3.5.1 <i>Analisis kuat Tarik Dan Kuat Tekan</i> .....	46
3.5.2 <i>Analisis Karakteristik Kelongsoran</i> .....	46
3.5.3 <i>Analisis Deformasi</i> .....	46
3.5.4 <i>Analisis Kestabilan lereng</i> .....	47
3.5.5 <i>Analisis Efektifitas</i> .....	47
3.6. BAGAN ALIR PENELITIAN .....	47
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>49</b>
4.1 KARAKTERISTIK MATERIAL .....	49
4.2.1 <i>Tanah Lereng</i> .....	49
4.2.2 <i>Material Blok Semen Tertakik</i> .....	51
4.2 UJI ELEMEN .....	52
4.2.1 <i>Pembuatan Modul blok semen Tertakik</i> .....	52
4.2.2 <i>Uji Kuat Tekan dan Tarik</i> .....	54
4.3 UJI MODEL .....	57
4.3.1 <i>Uji Model tanpa perkuatan</i> .....	57
4.3.2 <i>Deformasi Lereng Tanpa adanya Perkuatan</i> .....	61
4.3.3 <i>Deformasi Lereng Dengan Perkuatan Geotekstile</i> .....	67
4.3.4 <i>Deformasi Lereng Dengan Perkuatan Blok h + Geotekstile</i> .....	72
4.4 REKAPITULASI HASIL PENGUJIAN .....	81
4.4.1 <i>Tabel Rekapitulasi</i> .....	81
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>86</b>

5.1. KESIMPULAN .....	86
5.2. SARAN .....	87
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>88</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>91</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1 Keruntuhan Lereng.....</b>	<b>7</b>
<b>Gambar 2 Keruntuhan jalan akibat Gempa di Jepang .....</b>	<b>8</b>
<b>Gambar 3 Mekanisme kegagalan lereng akibat Gempa.....</b>	<b>14</b>
<b>Gambar 4 Geometri lereng dan faktor-faktor yang mengontrol penyebab stabilitas lereng memiliki mode kegagalan bidang yang potensial .....</b>	<b>16</b>
<b>Gambar 5 Dinding penahan gravitasi (gravity wall).....</b>	<b>22</b>
<b>Gambar 6 Dinding penahan cantilever (cantilever retaining wall) .....</b>	<b>23</b>
<b>Gambar 7 Dinding penahan tanah tipe turap.....</b>	<b>24</b>
<b>Gambar 8 Dinding Penahan Bronjong .....</b>	<b>25</b>
<b>Gambar 9 Dinding Penahan Tipe Blok Beton (Blok Concrete) .....</b>	<b>26</b>
<b>Gambar 10 Dinding Penahan Tanah Tipe Diaphragm Wall .....</b>	<b>26</b>
<b>Gambar 11 Dinding Penahan Tanah Continguous Pile .....</b>	<b>27</b>
<b>Gambar 12 Dinding Penahan Tanah Revetment .....</b>	<b>27</b>
<b>Gambar 13 Material Tanah Pada Tempat Rawan Longsor .....</b>	<b>31</b>
<b>Gambar 14 Bahan Pembuatan Blok Semen Model Tertakik,.....</b>	<b>31</b>
<b>Gambar 15 Mesin Pengujian Kuat Tekan dan Kuat tarik .....</b>	<b>33</b>
<b>Gambar 16 Kotak Baja.....</b>	<b>34</b>
<b>Gambar 17 Meja Getar.....</b>	<b>34</b>
<b>Gambar 18 Perangkat Komputer .....</b>	<b>34</b>
<b>Gambar 19 Tripot .....</b>	<b>34</b>
<b>Gambar 20 Sketsa dimensi Blok h semen tertakik .....</b>	<b>37</b>
<b>Gambar 21 Instrumen penelitian .....</b>	<b>39</b>
<b>Gambar 22 Contoh grafik Displacement .....</b>	<b>40</b>
<b>Gambar 23 Contoh grafik Acceleration.....</b>	<b>40</b>
<b>Gambar 24 Contoh pemasangan Grid pada Bak uji.....</b>	<b>41</b>
<b>Gambar 25 Sketsa Model Lereng Tanpa Perkuatan.....</b>	<b>42</b>
<b>Gambar 26 Aktual Model Lereng Tanpa Perkuatan .....</b>	<b>43</b>
<b>Gambar 27 Sketsa Model Lereng Perkuatan Geotekstile.....</b>	<b>44</b>
<b>Gambar 28 Aktual Model Lereng Perkuatan Geotekstile .....</b>	<b>44</b>

<b>Gambar 29 Sketsa Model Lereng Perkuatan Blok h + Geotekstile .....</b>	<b>45</b>
<b>Gambar 30 Aktual Model Lereng Perkuatan Blok h + Geotekstile .....</b>	<b>46</b>
<b>Gambar 31 Kerangka analisis data penelitian.....</b>	<b>48</b>
<b>Gambar 32 Hasil Karakteristik.....</b>	<b>50</b>
<b>Gambar 33 Sketsa Dimensi Model Blok.....</b>	<b>52</b>
<b>Gambar 34 Tampak depan dan samping pengaplikasian model blok semen tertakik .....</b>	<b>53</b>
<b>Gambar 35 Tampak depan pengaplikasian model blok semen tertakik.....</b>	<b>54</b>
<b>Gambar 36 Pengujian kuat tekan.....</b>	<b>54</b>
<b>Gambar 37 Aktual Model lereng tanpa perkuatan.....</b>	<b>59</b>
<b>Gambar 38 Longsoran yang terjadi setelah pengujian di alat shaking table</b>	<b>60</b>
<b>Gambar 39 Deformasi yang terjadi setelah pengujian di alat shaking table.</b>	<b>61</b>
<b>Gambar 40 Deformasi horizontal .....</b>	<b>62</b>
<b>Gambar 41 Deformasi horizontal .....</b>	<b>63</b>
<b>Gambar 42 Grafik hasil runningan tanpa perkuatan .....</b>	<b>66</b>
<b>Gambar 43 Deformasi horizontal .....</b>	<b>68</b>
<b>Gambar 44 Deformasi horizontal perkuatan .....</b>	<b>69</b>
<b>Gambar 45 Grafik Displacement dan Acceleration perkuatan Geotekstile..</b>	<b>71</b>
<b>Gambar 46 Model 3d Blok h .....</b>	<b>74</b>
<b>Gambar 47 Model Pemasangan Geotekstile pada blok h .....</b>	<b>75</b>
<b>Gambar 48 Deformasi horizontal .....</b>	<b>76</b>
<b>Gambar 49 Deformasi horizontal perkuatan Geotekstile.....</b>	<b>77</b>
<b>Gambar 50 Output Hasil dari Software Labview .....</b>	<b>79</b>
<b>Gambar 51 Rekapian Deformasi Horizontal pada tiap pengujian.....</b>	<b>81</b>
<b>Gambar 52 Rasio Deformasi Horizontal Tiap konfigurasi pengujian .....</b>	<b>84</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1. Spesifikasi Geoteksitle .....</b>	<b>32</b>
<b>Tabel 2 Rekaplan pengujian karakteristik.....</b>	<b>35</b>
<b>Tabel 3 Rencana pengujian karakteristik .....</b>	<b>36</b>
<b>Tabel 4 Hasil pengujian karakteristik .....</b>	<b>49</b>
<b>Tabel 5 Hasil Pengujian Karakteristik .....</b>	<b>51</b>
<b>Tabel 6 Hasil pengujian kuat tekan berdasarkan lima komposisi .....</b>	<b>55</b>
<b>Tabel 7 Kekuatan dan kegunaan mutu pada beton .....</b>	<b>57</b>
<b>Tabel 8 Deformasi horizontal tanpa perkuatan.....</b>	<b>64</b>
<b>Tabel 9 Rekapitulasi hasil runningan tanpa perkuatan .....</b>	<b>66</b>
<b>Tabel 10 Metode Perhitungan panjang Geosintetik.....</b>	<b>67</b>
<b>Tabel 11 Deformasi horizontal perkuatan Geotekstile.....</b>	<b>70</b>
<b>Tabel 12 Tabel Output perkuatan Geotekstile .....</b>	<b>72</b>
<b>Tabel 13 Cara menentukan panjang Geotekstile yang ingin digunakan .....</b>	<b>73</b>
<b>Tabel 14 Perhitungan Panjang Geotekstile .....</b>	<b>73</b>
<b>Tabel 15 Deformasi horizontal perkuatan blok h + Geotekstile .....</b>	<b>78</b>
<b>Tabel 16 Deformasi perkuatan Blok h + Geotekstile .....</b>	<b>80</b>
<b>Tabel 17 Deformasi Horizontal pada tiap pengujian .....</b>	<b>82</b>

**DAFTAR NOTASI**

GRSW	Geosynthetic Reinforced Soil Wall
MB- GRSW	Modular Block - Geosynthetic Reinforced Soil Wall

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 LATAR BELAKANG**

Tanah Longsor adalah bencana/bahaya yang meluas yang terjadi di banyak daerah di dunia dan menyebabkan kerusakan yang besar pada masyarakat (Rossi et al., 2019). Setiap tahun, bencana ini menyebabkan lebih dari 100.000 korban jiwa dan kerusakan lebih dari \$1 miliar. Beberapa negara meremehkan kerugian ekonomi dan kematian yang disebabkan oleh tanah longsor. Longsor menimbulkan lebih banyak korban daripada bencana alam lainnya seperti gempa bumi, banjir dan badai (Akgun, 2012)

Pembangunan infrastruktur saat ini telah meningkat secara signifikan, membutuhkan infrastruktur yang handal (praktis, kuat, aman), ekonomis dan ramah lingkungan. Infrastruktur jalan menjadi salah satu masalah karena berperan penting dalam mendukung pertumbuhan ekonomi negara. Infrastruktur jalan memerlukan konstruksi yang handal, terutama di daerah rawan bencana (lereng, tanah lunak, dll). Oleh karena itu, diperlukan pembangunan jalan yang menyesuaikan dengan potensi bencana. Salah satu masalah utama dengan membangun di sekitar lereng adalah stabilitas lereng.

Berbagai teknologi tanah telah dikembangkan untuk stabilisasi lereng. Berdasarkan penggunaan dinding penahan berupa dinding gravitasi atau dinding kantilever. Dinding penahan tanah jenis ini sangat populer dan masih banyak digunakan di Indonesia hingga saat ini. Namun, dinding penahan jenis ini memiliki kelemahan yang fatal: tidak memiliki pandangan jauh ke depan untuk menahan beban seismik. Karena Indonesia adalah negara yang rawan terjadi gempa bumi yang menghasilkan beban seismik, beban seismik harus menjadi parameter utama yang dipertimbangkan dalam desain saat membangun gedung di Indonesia.

Salah satu teknik/teknologi yang banyak digunakan adalah struktur tanah yang diperkuat dengan geosintetik, yang menawarkan keunggulan dalam hal

kinerja, daya tahan, biaya, estetika, dan ketahanan terhadap beban seismik (De La Fuente et al., 2011; Guler dan Serek, 2014). Selama tiga dekade terakhir, tembok tanah yang diperkuat geosintetik (GRS walls) telah banyak diterapkan dan menjadi pilihan utama dibandingkan dengan sistem tembok penahan tradisional karena berbagai alasan, termasuk efisiensi biaya, estetika, kemudahan teknik konstruksi, serta proses konstruksi yang cepat (Xu et al., 2020a). Selain itu, GRS walls juga dikenal memiliki kinerja dan daya tahan yang unggul, serta mampu beradaptasi dengan berbagai kondisi situasi (Yazdandoust, 2019).

Tembok penahan yang diperkuat geosintetik telah terbukti berfungsi dengan baik selama gempa besar, menurut berbagai penelitian (Juran dan Christopher, 1989; Kutter et al., 1990; Collin et al., 1992; Bathurst et al., 1993; Sandri, 1997; Tatsuoka et al., 1997; Ling et al., 2001). Collin et al. (1992) mencatat bahwa tembok Geosynthetic Reinforced Soil (GRS) berhasil bertahan dari gempa Loma Prieta tahun 1989 dengan perkiraan percepatan tanah antara 0,3 hingga 0,7 g. Survei yang dilakukan oleh White dan Holtz (1997) terhadap tiga tembok dan empat lereng yang diperkuat geosintetik setelah gempa Northridge tahun 1994 menunjukkan bahwa tidak ada kerusakan visual pada struktur-struktur tersebut. Namun, terdapat juga sejumlah studi kasus tentang kegagalan tembok penahan geosintetik, dengan database yang mendokumentasikan 171 kasus kegagalan yang dikompilasi oleh Koerner dan Koerner (2013).

Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan tembok penahan segmental atau modular (SRW) yang terdiri dari unit blok beton yang ditumpuk kering sebagai sistem fasad dan diperkuat dengan lembaran polimer (geosintetik) untuk menstabilkan tanah, telah mengalami peningkatan popularitas. Bathurst dan Simac (1994) melaporkan studi mengenai SRW di Amerika Utara, sementara peneliti lain (Cazzuffi dan Rimoldi, 1994; Gourc et al., 1990; Knutson, 1990; Won, 1994) melaporkan penerapan struktur ini di Eropa, Skandinavia, dan Australia. Tembok blok modular telah digunakan secara signifikan di seluruh dunia dalam beberapa tahun terakhir. Ciri khas dari struktur ini adalah dibangun dengan unit blok beton modular, yang ditumpuk untuk membentuk kemiringan tembok ke arah tanah yang ditahan.

Yoo dan Jung (2006) meneliti kasus kegagalan tembok penahan segmental yang diperkuat geosintetik di Korea. Melalui analisis elemen hingga dan uji laboratorium terhadap material pengisi belakang dan penguat, mereka menemukan bahwa kegagalan tersebut terutama disebabkan oleh desain yang tidak memadai dan kualitas rendah dari material pengisi belakang. Liu (2012) melakukan analisis elemen hingga yang mendalam terhadap tembok penahan segmental yang diperkuat geosintetik dan menyimpulkan bahwa deformasi pada zona tanah yang diperkuat dipengaruhi terutama oleh jarak antar perkuatan dan kekakuan perkuatan, sementara perpindahan lateral di belakang zona tanah yang diperkuat dipengaruhi oleh panjang perkuatan.

Oleh karena itu, penelitian ini bermaksud untuk memahami performa/kinerja struktur Modul blok semen tertakik terhadap beban seismik menggunakan alat *shaking table*. Penelitian ini akan dilakukan dalam skala laboratorium dengan langkah pertama melakukan beberapa uji elemen yang selanjutnya akan dilanjutkan dengan uji model fisik dengan memanfaatkan peralatan dan fasilitas *shaking table* yang ada di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Hasanuddin. Metode pengujian menggunakan *shaking table* ini juga kerap dilakukan oleh para peneliti mancanegara.

## **1.2 RUMUSAN MASALAH**

Berdasarkan uraian latar belakang, maka permasalahan penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik pada material penyusun blok semen tertakik?
2. Berapa mutu yang digunakan pada blok semen tertakik untuk perkuatan sebagai dinding penahan?
3. Bagaimana kinerja tembok penahan dengan material blok semen tertakik terhadap beban seismik?

## **1.3 TUJUAN PENELITIAN**

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi dan menganalisis karakteristik material penyusun blok semen tertakik
2. Menentukan mutu blok semen tertakik yang optimal untuk digunakan sebagai material perkuatan dinding penahan
3. Mengevaluasi kinerja tembok penahan yang menggunakan material blok semen tertakik terhadap beban seismik.

#### **1.4 MANFAAT PENELITIAN**

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Mampu memberikan referensi khususnya terkait metode perlindungan tebing terhadap gempa.
2. Mampu memberikan kontribusi ilmiah terhadap pengembangan dinding penahan tanah di dunia konstruksi.
3. Mampu meberikan usulan struktur yang dapat memanfaatkan material lokal non pabrikan

#### **1.5 BATASAN PENELITIAN**

1. Penelitian ini menggunakan tanah dasar yang cukup padat sebagai lapisan paling bawah.
2. Material dan campuran yang akan digunakan pada pengujian shaking table akan dipilih 1 variasi.
3. Penelitian ini adalah skala laboratorium dengan rasio 1:4
4. Beban yang diberikan adalah beban seismik.

#### **1.6 SISTEMATIKA PENULISAN**

Gambaran umum mengenai isi penelitian ini, dapat dituliskan secara singkat sebagai berikut:

##### **1. BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini Menjelaskan tentang latar belakang, dalam bagian ini diuraikan mengenai isu-isu terkini tentang metode-metode perkuatan lereng. rumusan

masalah, merumuskan permasalahan utama yang sering terjadi pada perbaikan perkuatan lereng. tujuan penelitian, berisi tentang sasaran utama yang ingin dicapai dan untuk menjawab perumusan masalah yang telah ditetapkan. manfaat penelitian, berisi tentang manfaat positif dari hasil penelitian ini, baik yang bersifat umum maupun khusus. batasan penelitian serta sistematika penulisan proposal penelitian.

## **2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Menyajikan beberapa teori, pemikiran, pengertian, definisi serta formulasi yang berkaitan dengan penelitian akan dilakukan. Semuanya ini akan diambil dari buku-buku teks maupun jurnal-jurnal terbaru yang berhubungan dengan tema penelitian yang akan dilaksanakan. Bab ini juga Menyajikan tentang hasil dan hubungan penelitian-penelitian terdahulu serta landasan teori yang digunakan terhadap penelitian yang akan dilaksanakan

## **3. BAB III METODE PENELITIAN**

Menjelaskan tentang teknis pelaksanaan penelitian. Bab ini berisi tentang urutan dan tata kerja pelaksanaan penelitian, aturan dan standar pengujian yang di terapkan, material penelitian yang digunakan, penjelasan tentang jenis dan fungsi peralatan yang digunakan, tahapan pengujian serta jenis model pengujiannya. Selain itu, dalam bab ini juga akan dijabarkan tentang rencana waktu pelaksanaan pengujian dan penelitian di laboratorium.

## **4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Menyajikan hasil analisis perhitungan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian yang dilaksanakan sesuai dengan metodologi penelitian serta pembahasan dari hasil pengujian yang diperoleh.

## **5. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Menerangkan tentang kesimpulan dari capaian yang dihasilkan sebagai suatu rujukan dalam bidang akademik dan bidang rekayasa serta memberikan saran dalam riset yang bersifat berkelanjutan

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 ISU STRATEGIS PERMASALAHAN LERENG**

##### **2.1.1 Lereng**

Indonesia merupakan negara kepulauan yang topografinya berupa dataran rendah, dataran tinggi, serta garis pantai yang panjang. Kondisi topografi yang cukup kompleks ini menjadi tantangan bagi pemerintah dan rekayasawan teknik sipil, salah satunya terdapat pada pembangunan di daerah pegunungan yang diketahui merupakan daerah yang rawan terjadi bencana.

Indonesia merupakan salah satu negara yang rawan terhadap bencana alam. Salah satu bencana yang kerap kali terjadi dan memakan cukup banyak korban jiwa adalah kelongsoran lereng, Menurut hukum angka 24 tahun 2007 tentang penanggulangan bencana. Bencana adalah peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan manusia dan penghidupan yang disebabkan oleh alam dan/atau tidak wajar alam maupun disebabkan oleh faktor manusia yang mengakibatkan kerugian manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda dan dampak psikologis. Bencana dapat dibedakan menjadi tiga yaitu bencana alam, bencana tidak alam dan bencana sosial

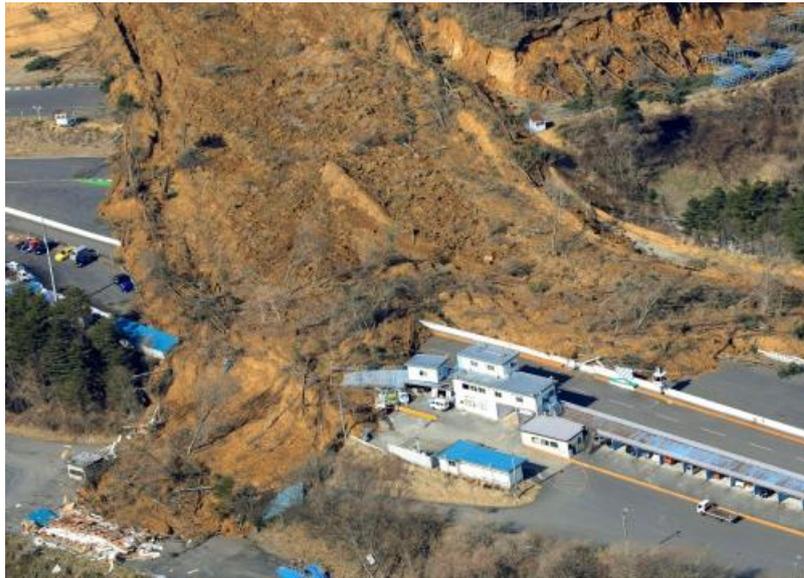
Insinyur sipil menghadapi berbagai tantangan, salah satunya ketika membangun di daerah pegunungan yang dikenal sebagai daerah rawan bencana. Salah satu dari bencana yang sering terjadi dan menelan banyak korban jiwa adalah runtuhnya suatu Lereng. Longsor dapat diartikan sebagai runtuhnya suatu massa tanah yang terletak pada suatu lereng yang mengakibatkan tergesernya massa tanah tersebut. Longsor akibat ketidakstabilan lereng dapat dipahami sebagai hilangnya kekuatan geser tanah **Gambar 1** ditunjukkan suatu kejadian kelongsoran lereng di Indonesia.



**Gambar 1** Keruntuhan Lereng

Lereng yang tidak stabil sangat berbahaya bagi manusia maupun organisme lain yang memiliki habitat di sekitar lereng tersebut (Pangemanan & Sompie, 2014).Instabilitas ini dapat disebabkan oleh banyak faktor pemicu, beberapa di antaranya adalah:

- 1.) Hilangnya penahan lateral/erosi.
- 2.) Pembebanan baik secara alamiah dan tindakan manusia.
- 3.) Tegangan akibat gempa atau getaran lainnya
- 4.) Tekanan lateral baik akibat air yang masuk lewat retakan
- 5.) Sifat bawaan (komposisi tanah, struktur tanah dan stratifikasi tanah).



**Gambar 2** Keruntuhan jalan akibat Gempa di Jepang

Pada **Gambar 2** diperlihatkan salah satu keruntuhan jalan yang diakibatkan oleh gempa yang terjadi di Jepang pada tahun 2011. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, tentunya harus dilakukan upaya untuk meningkatkan kemantapan lereng. Salah satu upaya yang dilakukan adalah dengan memberikan perkuatan pada lereng. Jika ketidakstabilan disebabkan oleh sifat tanah yang kurang baik, pondasi harus distabilkan terlebih dahulu. Sebaliknya, jika kerusakan disebabkan oleh faktor eksternal, diperlukan upaya penguatan. Beberapa di antaranya adalah: dengan menggunakan geosintetik untuk mencegah penyerapan air ke dalam tanah yang berongga, menghaluskan lereng atau memperkuat lereng dengan menggunakan dinding penahan tanah.

### **2.1.2 Stabilitas lereng**

Kestabilan lereng berhubungan dengan hubungan antara tahanan dan daya. Beberapa faktor berkontribusi pada daya dorong, sedangkan yang lain berkontribusi pada ketahanan. Oleh karena itu, faktor-faktor yang mengatur ini sangat penting untuk analisis stabilitas lereng batuan secara umum dan untuk mode bidang kegagalan pada khususnya. Faktor pengatur internal utama adalah; geometri lereng, karakteristik bidang kegagalan potensial, drainase permukaan dan kondisi air tanah (Wang and Niu, 2009), dimana faktor eksternal adalah curah hujan, kegempaan dan

kegiatan buatan manusia (Raghuvanshi, Ibrahim and Ayalew, 2014). Faktor-faktor ini berkombinasi dan berperan dalam menentukan kondisi stabilitas lereng.

Identifikasi masalah ketidakstabilan lereng seperti itu pada tahap awal perencanaan dan penyelidikan struktur rekayasa, khususnya proyek jalan dapat menyebabkan berkembangnya langkah-langkah perbaikan yang dapat diadopsi untuk meningkatkan stabilitas lereng atau lereng bermasalah seperti itu dapat dihindari jika diidentifikasi selama awal tahap perencanaan (Gorsevski, Jankowski and Gessler, 2006) Analisis yang tidak memadai seperti itu dapat mengakibatkan kegagalan lereng yang mempengaruhi kinerja yang aman dari struktur teknik.

Parameter yang berpengaruh terhadap kestabilan lereng ada dua, yaitu parameter internal dan parameter eksternal. Secara umum dapat diuraikan sebagai berikut:

### **1. Parameter Internal**

Parameter internal adalah parameter yang menyebabkan kondisi stabilitas pada lereng menguntungkan atau tidak menguntungkan dalam lereng. Parameter intrinsik ini adalah geometri lereng, material lereng, diskontinuitas struktural, penggunaan lahan dan tutupan lahan dan air tanah (Raghuvanshi, 2019). Tergantung pada kondisi yang diberikan untuk masing-masing parameter intrinsik ini, jenis-jenis yang mungkin memiliki pengaruh terhadap kondisi stabilitas lereng.

#### **a. Geometri Lereng**

Geometri lereng mencakup relief relatif dan morfometri lereng. Perbedaan ketinggian maksimum dan minimum dalam suatu segi menentukan kelegaan relatif. Relief relatif pada dasarnya mewakili ketinggian segi individu. Relief relatif telah dikategorikan ke dalam lima kelas; rendah (<50 m), sedang (51-100 m), sedang (101-200 m), tinggi (201-300 m) dan sangat tinggi (> 301 m). Morfometri lereng mengindikasikan kecuraman lereng. Kelas morfometrik lereng (Anbalagan,

1992), tebing curam / tebing ( $> 45^\circ$ ), kemiringan curam ( $36^\circ - 45^\circ$ ), kemiringan cukup curam ( $26^\circ - 35^\circ$ ), kemiringan lembut ( $16^\circ - 25^\circ$ ) dan kemiringan yang sangat lembut ( $< 15^\circ$ ).

#### **b. Slope Material**

Lereng dapat terdiri dari massa batuan atau tanah atau keduanya. Kriteria untuk memberikan peringkat ke sub kelas dari jenis batuan didasarkan pada kekuatan batuan utuh dan tingkat pelapukan. Errodabilitas batuan sangat dipengaruhi oleh kekuatan batuan. Batuan yang memiliki kekuatan relatif lebih tahan terhadap erosi (Hoek and Brown, 1997). Tingkat pelapukan dapat mempengaruhi kekuatan relatif dari batuan sehingga harus dipertimbangkan saat menetapkan peringkat untuk jenis batuan. Tingkat pelapukan telah dianggap sebagai; Segar, Lapuk sedikit, Lapuk cuaca, Lapuk cuaca, Sangat lapuk dan Batuan seperti tanah. Jadi, tergantung pada kelas pelapukan, peringkat jenis batuan harus disesuaikan. Faktor penyesuaian untuk pelapukan batuan harus dikalikan

#### **c. Diskontinuitas Struktural**

Diskontinuitas struktural ini memainkan peran penting dalam menentukan kondisi stabilitas lereng batuan (Hoek and Brown, 1997). Faktor penting dari bidang diskontinuitas struktural yang mempengaruhi stabilitas massa batuan adalah; orientasi, jarak, kontinuitas, karakteristik permukaan, pemisahan permukaan diskontinuitas dan ketebalan dan sifat bahan pengisi dalam permukaan diskontinuitas (Price and Keaton, 2011).

Menurut (Hoek and Brown, 1997), orientasi bidang diskontinuitas memainkan peran penting dalam kondisi stabilitas massa batuan. Massa batuan mungkin gagal sepanjang satu atau lebih bidang diskontinuitas. Untuk kondisi stabilitas massa batuan, titik-titik berikut adalah penting, (Raghuvanshi, Ibrahim and Ayalew, 2014)

- Luasnya paralelisme antara arah diskontinuitas, atau garis perpotongan dua diskontinuitas dan kemiringan.
- Discontinuity plane atau terjunnya garis persimpangan dua bidang yang membentuk baji pada siang hari dengan kemiringan kurang dari sudut kemiringan.

#### **d. Penggunaan lahan dan tutupan lahan**

Kondisi stabilitas lereng bukit sebagian besar dipengaruhi oleh penggunaan lahan dan tutupan lahan. Tutupan vegetasi tebal di atas lereng merupakan indikasi kondisi stabil karena tutupan vegetasi mencegah rembesan air yang berlebihan ke dalam lereng. Menurut Turrini dan Visintainer, (1998), kondisi stabilitas lereng bukit juga dipengaruhi akar tanaman mengikat massa tanah dan berkontribusi untuk meningkatkan kekuatan geser massa tanah. Selanjutnya dinyatakan oleh Turrini dan Visintainer, erosi permukaan dalam bentuk selokan juga diperiksa dengan tutupan vegetasi yang tebal. Jenis penutup tanah mempengaruhi stabilitas lereng: karena area yang tandus lebih rentan terhadap erosi dan pelapukan (Turrini and Visintainer, 1998). Tanah tandus dan jarang ditanami lebih rentan terhadap erosi tanah dan kegagalan lereng (Wang and Niu, 2009).

#### **e. Air Tanah**

Air tanah memainkan peran penting dalam kondisi stabilitas lereng (Hoek and Brown, 1997). Studi stabilitas lereng untuk pemetaan bahaya pada area yang relatif besar membuatnya sulit untuk memiliki pengamatan langsung terhadap perilaku air tanah di dalam lereng. Selain itu, informasi tentang tingkat muka air dan fluktuasi jarang tersedia. Untuk penilaian cepat, tindakan tidak langsung dapat digunakan untuk menilai peran air tanah dalam mendorong ketidakstabilan ke lereng. Langkah-langkah tidak langsung ini adalah indikasi permukaan air tanah seperti; lembab, basah, menetes dan mengalir (Anbalagan, 1992).

Sementara pengamatan ciri-ciri permukaan lainnya seperti pertumbuhan alga, tanda air dll. Harus dipertimbangkan karena ciri-ciri permukaan tersebut dapat memberikan beberapa gagasan tentang tingkat kejenuhan lereng untuk periode waktu yang lama. Dimungkinkan bahwa pada saat investigasi lapangan, lereng menunjukkan kondisi kering hanya tanpa jejak air.

## **2. Parameter Eksternal**

Parameter eksternal yang paling penting yang dapat memicu ketidakstabilan di lereng adalah curah hujan, kegempaan dan aktivitas buatan manusia

### **a. Curah Hujan**

Masalah stabilitas lereng diperburuk dengan intensitas curah hujan (Ayalew, Yamagishi and Ugawa, 2004). Ini terbukti karena kegagalan lereng meningkat selama musim hujan. Curah hujan mengisi kembali air tanah dan secara umum memenuhi lereng. Dalam lereng batuan air tanah dalam diskontinuitas mengembangkan tekanan air yang menghasilkan penurunan kekuatan geser sepanjang bidang diskontinuitas (Hoek and Brown, 1997). Juga, air tanah melumasi permukaan diskontinuitas sehingga memfasilitasi proses geser batu. Di lereng tanah setelah kejenuhan tadah hujan, berat massa tanah meningkat dan karenanya menambah ketidakstabilan massa tanah. Selain itu, air tanah membantu dalam pengembangan tekanan air pori dalam massa tanah yang lagi-lagi memperburuk ketidakstabilan. Curah hujan adalah parameter eksternal yang penting yang memicu ketidakstabilan lereng. Namun, itu tidak berarti bahwa semua lereng di daerah dimana curah hujan tahunan rata-rata lebih akan menunjukkan ketidakstabilan, karena faktor-faktor intrinsik lainnya secara kolektif menentukan kondisi stabilitas untuk lereng.

Ketidakstabilan lereng akibat curah hujan merupakan masalah geoteknik yang umum terjadi di daerah tropis dan subtropics (Tsaparas et al., 2002). Banyak kegagalan lereng terjadi di lereng tanah residu yang curam dengan permukaan air tanah yang dalam selama curah hujan. Ketebalan signifikan zona tanah tak jenuh

di atas permukaan air tanah adalah karakteristik umum dari lereng tanah residu yang curam. Tekanan air pori negatif pada tanah tak jenuh sangat dipengaruhi oleh perubahan kondisi batas fluks (mis., Infiltrasi, penguapan dan transpirasi) yang dihasilkan dari variasi dalam kondisi iklim. Di sisi lain, tekanan air pori negatif berkontribusi tambahan kekuatan geser ke tanah tak jenuh. Ketika air menyusup ke lereng, tekanan air pori di lereng meningkat (pengisapan matrik berkurang), dan kekuatan geser tambahan karena pengisapan matrik akan berkurang atau bahkan hilang, menyebabkan kemiringan lebih rentan terhadap kegagalan. Penguapan dan transpirasi akan mengembalikan hilangnya pengisapan matrik pada lereng dan variasi iklim ini terjadi setiap saat. Dengan kata lain, zona tak jenuh adalah antarmuka dinamis lereng dengan lingkungan dan sebagai hasilnya, faktor keamanan lereng dipengaruhi secara dinamis oleh perubahan iklim (Rahardjo, Satyanaga and Leong, 2012).

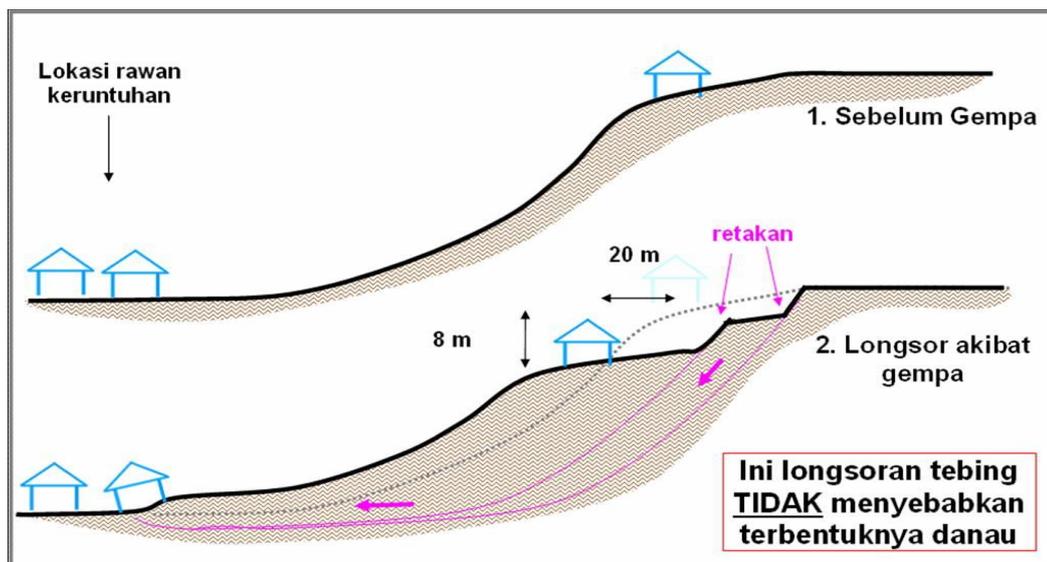
Karakterisasi curah hujan yang memicu tanah longsor telah digunakan untuk membangun hubungan antara curah hujan dan tanah longsor di berbagai belahan dunia termasuk tanah longsor dangkal (Guzzetti et al., 2004). Infiltrasi air adalah salah satu pemicu terpenting dari tanah longsor. Salah satu upaya pencegahan longsor non struktur yaitu dengan vegetasi. Cara ini adalah yang efektif untuk mengurangi resapan air, mengurangi retak permukaan tanah, dan, akibatnya, mencegah tanah longsor (Xiao et al., 2017).

Erosi tanah oleh air terjadi jika kondisi tanah jenuh sehingga sulit untuk terinfiltrasi. Air kemudian mengalir di permukaan dan mengangkut butiran-butiran tanah. Erosi tanah adalah Bergeraknya butiran tanah oleh angin atau air (Kirby dalam Sitepu et al., 2017). Erosi menyebabkan hilangnya lapisan atas tanah yang subur untuk pertumbuhan tanaman serta berkurangnya kemampuan tanah untuk menyerap dan menahan air sehingga permeabilitas tanah menjadi tinggi dan menyebabkan kadar air dalam tanah bertambah. Dengan kadar air yang sangat besar yang terkandung dalam tanah akan menyebabkan kuat geser tanah menjadi lemah dan berpotensi terjadi longsor. Beberapa peneliti menyatakan bahwa

intensitas hujan yang tinggi memiliki hubungan langsung dengan keruntuhan lereng (Chen, Lee and Law, 2004)

## b. Kegempaan

Seismisitas menghasilkan akselerasi tanah yang menghasilkan tanah longsor atau kegagalan lereng (Keefer, 2000). Lereng bukit yang mungkin tetap stabil di bawah beban statis material di atasnya dapat gagal pada beban dinamis karena aktivitas seismik (Hoek and Brown, 1997). Lereng yang tersusun dari massa batuan memiliki diskontinuitas struktural yang cukup besar ketika mengalami hasil percepatan tanah menjadi pelebaran atau pembukaan diskontinuitas struktural. Dengan demikian, kekuatan geser sepanjang diskontinuitas struktural berkurang dan ketidakstabilan lereng meningkat. Lereng yang terdiri dari sedimen lunak yang tidak terkonsolidasi atau endapan permukaan yang memiliki kemiringan yang curam, permukaan air tanah musiman yang tinggi, dan vegetasi yang berakar atau jarang dangkal juga rentan terhadap kegagalan di bawah pemuatan seismik.



**Gambar 3** Mekanisme kegagalan lereng akibat Gempa

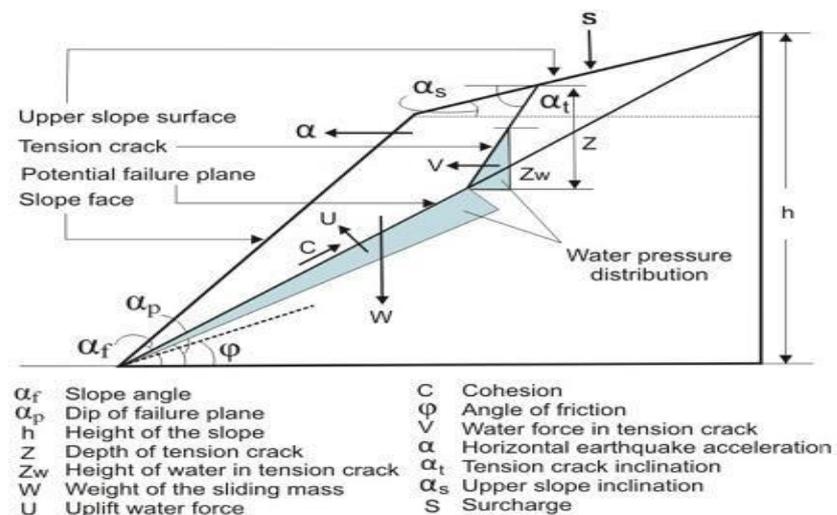
### **c. Aktivitas Buatan Manusia**

Selain parameter pemicu alami, kegiatan buatan manusia juga meningkatkan potensi ketidakstabilan lereng (Wang and Niu, 2009). Aktivitas buatan manusia di medan berbukit yang mempengaruhi kondisi stabilitas lereng adalah kegiatan pengembangan seperti; konstruksi jalan dan bangunan dan kegiatan budidaya. Semua kegiatan ini menghasilkan peningkatan kelembaban di tanah atau massa batuan dan dalam mengubah bentuk lereng. Konstruksi jalan atau bangunan melibatkan pemotongan atau peledakan material lereng yang sering dilakukan dengan cara yang tidak direncanakan. Biasanya, lereng dipotong curam dan, secara umum, penopang kaki dihilangkan dengan demikian, tanah atau massa batu yang menggantung dapat gagal dengan mudah. Selain itu, material lereng yang digali sangat sering dibuang di lereng secara tidak terencana. Material yang dibuang seperti itu mudah rusak jika jenuh dengan air hujan. Budidaya di lereng juga meningkatkan ketidakstabilan dengan meningkatkan kelembaban tanah karena praktik irigasi. Untuk keperluan budidaya, lereng bukit dibuat datar dan dipotong menjadi tanah bertingkat. Secara umum, pembalut lereng dengan desain bertingkat menstabilkan lereng. Namun, praktik irigasi yang buruk pada lahan bertingkat tersebut dapat menyebabkan pengisian air tanah yang berlebihan yang dapat menyebabkan ketidakstabilan lereng ketidakstabilan lereng meningkat. Lereng yang terdiri dari sedimen lunak yang tidak terkonsolidasi atau endapan permukaan yang memiliki kemiringan yang curam, permukaan air tanah musiman yang tinggi, dan vegetasi yang berakar atau jarang dangkal juga rentan terhadap kegagalan di bawah pemuatan seismik. Dinding penahan tanah adalah struktur yang mempunyai fungsi untuk menahan tanah gembur atau tanah alami dan mencegah runtuhnya pondasi miring atau tanggul yang tidak dapat distabilkan oleh tanah dengan sendirinya. Tanah yang terkekang secara aktif mendorong struktur dinding menyebabkan struktur cenderung miring atau bergeser (Tanjung, 2016).

### 2.1.3. Definisi Faktor Keamanan Lereng

Faktor Keamanan (FS) umumnya digunakan untuk mengukur tingkat keamanan pada suatu lereng. Karena ketidakpastian dan variabilitas yang terkait dengan kondisi awal dan metode analisis, FS kemiringan yang dihitung mungkin tidak tepat. Untuk mengatasi ketidakpastian dan variabilitas, analisis reliabilitas dan desain lereng berbasis reliabilitas telah menjadi subjek penelitian dan minat yang semakin meningkat (Bahsan et al., 2014).

Dalam kasus mode bidang kegagalan, massa batuan yang bersandar pada bidang kegagalan potensial dipengaruhi gaya tarik gravitasi. Selain itu, kekuatan air yang bekerja di sepanjang bidang kegagalan potensial cenderung merusak lereng. Juga, kekuatan muatan dan beban tambahan yang dinamis dapat juga berkontribusi pada kekuatan pendorong. Gaya penahan utama adalah karena kekuatan geser sepanjang bidang potensi kegagalan dan komponen berat massa geser yang bekerja melintasi bidang kegagalan potensial. Rasio antara gaya penahan dengan tenaga penggerak mendefinisikan FS, jika FS ini lebih besar dari 1 kemiringan merepresentasikan kondisi stabil jika tidak maka kondisi tersebut tidak stabil (Raghuvanshi, 2019a).



**Gambar 4** Geometri lereng dan faktor-faktor yang mengontrol penyebab stabilitas lereng memiliki mode kegagalan bidang yang potensial

Jenis kegagalan yang paling umum di lereng batuan adalah mode kegagalan bidang miring. Stabilitas lereng, yang memiliki mode kegagalan bidang potensial, tergantung pada faktor-faktor yang mengatur yaitu; kemiringan lereng ( $\alpha_f$ ), kemiringan permukaan/kemiringan atas ( $\alpha_s$ ), ketinggian kemiringan ( $h$ ), kemiringan bidang potensi kegagalan ( $\alpha_p$ ), tensioncrack ( $\alpha_t$ ), parameter kekuatan geser/Kohesi ( $C$ ), dan sudut pelepasan ( $u$ ) dari potensi kegagalan permukaan, ketinggian air dalam Jenis kegagalan yang paling umum di lereng batuan adalah mode kegagalan bidang miring. Stabilitas lereng, yang memiliki mode kegagalan bidang potensial, tergantung pada faktor-faktor yang mengatur yaitu; kemiringan lereng ( $\alpha_f$ ), kemiringan permukaan/kemiringan atas ( $\alpha_s$ ), ketinggian kemiringan ( $h$ ), kemiringan bidang potensi kegagalan ( $\alpha_p$ ), tensioncrack ( $\alpha_t$ ), parameter kekuatan geser/Kohesi ( $C$ ), dan sudut pelepasan ( $u$ ) dari potensi kegagalan permukaan, ketinggian air dalam

Kestabilan suatu dinding lereng dapat dianalisis melalui perhitungan Faktor Keamanan Lereng dengan melibatkan data sifat fisik tanah atau batuan, mekanika tanah (geoteknis tanah) dan bentuk geometri lereng. Secara khusus, analisis dapat dipertajam dengan melibatkan aspek fisik lain secara regional, yaitu dengan memperhatikan kondisi lingkungan fisiknya, baik berupa kegempaan, iklim, vegetasi, morfologi, batuan/tanah maupun situasi setempat. Kondisi lingkungan tersebut merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi gerakan tanah dan merupakan karakter perbukitan rawan longsor.

Faktor keamanan lereng secara sederhana adalah perbandingan antara gaya penahan terhadap gaya penggerak, kestabilan dari suatu lereng pada kegiatan penambangan dipengaruhi oleh kondisi geologi daerah setempat, bentuk keseluruhan lereng pada lokasi tersebut, kondisi air tanah setempat, faktor luar seperti getaran akibat peledakan ataupun alat mekanis yang beroperasi dan juga dari teknik penggalian yang digunakan dalam pembuatan lereng. Faktor pengontrol ini jelas sangat berbeda untuk situasi penambangan yang berbeda dan sangat penting untuk memberikan aturan yang umum untuk menentukan seberapa tinggi atau seberapa landai suatu lereng untuk memastikan lereng itu akan tetap stabil.

Faktor Keamanan (FS) lereng tanah dapat dihitung dengan berbagai metode. Longsoran dengan bidang gelincir (slip surface), FS dapat dihitung dengan metoda sayatan (slice method) menurut Fellenius atau Bishop. Untuk suatu lereng dengan penampang yang sama, cara Fellenius dapat dibandingkan nilai faktor keamanannya dengan cara Bishop. Dalam mengantisipasi lereng longsor, sebaiknya nilai FS yang diambil adalah nilai FS yang terkecil, dengan demikian antisipasi akan diupayakan maksimal. Data yang diperlukan dalam suatu perhitungan sederhana untuk mencari nilai FS (faktor keamanan lereng) adalah sebagai berikut:

1. Data lereng (terutama diperlukan untuk membuat penampang lereng) meliputi: sudut lereng, tinggi lereng, atau panjang lereng dari kaki lereng ke puncak lereng.
2. Data mekanika tanah, yaitu sudut geser dalam ( $\phi$ ; derajat), bobot satuan isi tanah basah ( $\gamma$  wet; g/cm<sup>3</sup> atau kN/m<sup>3</sup> atau ton/m<sup>3</sup>), kohesi (c; kg/cm<sup>2</sup> atau kN/m<sup>2</sup> atau ton/m<sup>2</sup>), dan kadar air tanah ( $\omega$ ;%)
3. Faktor Luar, yaitu getaran akibat kegiatan peledakan, dan Beban alat mekanis yang beroperasi, dan lain-lain.

## **2.2. PERKUATAN LERENG TANAH**

Tindakan perkuatan untuk menanggulangi longsoran pada lereng ada beberapa metode. Salah satunya dengan menggunakan dinding penahan tanah.

### **2.2.1. Definisi Dinding Penahan Tanah (Retaining Walls)**

Dinding penahan tanah (retaining walls) adalah suatu bangunan yang berfungsi untuk menahan tanah dan memberikan stabilitas pada lereng. Konstruksi dinding penahan haruslah direncanakan dan dirancang agar penghuni dan pengunjung di sebuah gedung tersebut aman dari bahaya longsor yang bisa saja terjadi dikarenakan adanya gaya lateral tanah dan air yang berpotensi menyebabkan kegagalan struktur.

Dinding penahan tanah dapat digunakan pada konstruksi tetap (permanent) maupun konstruksi sementara (temporary). Karena memiliki sifat ketahanan yang tinggi terhadap lingkungan sekitarnya, dinding penahan tanah banyak dijadikan untuk struktur bangunan yang bersifat permanen (DAS, 1982)

Tujuan utama konstruksi dinding penahan tanah (retaining walls) adalah untuk menahan tanah agar tidak terjadi longsor akibat beban yang bekerja. Selain untuk basement, jenis konstruksi dinding penahan tanah ini juga banyak dijumpai pada under pass dan lereng bukit. (DAS and SOBHAN, 2014). Sementara itu berikut ini fungsi dinding penahan antara lain, yaitu:

- Menahan gaya tekan lateral tanah aktif (Active Lateral Force Soil) yang berisiko menyebabkan terjadinya keruntuhan lateral tanah seperti contohnya longsor/landslide.
- Menahan gaya tekan lateral air (Lateral Force Water) yang berisiko menyebabkan terjadinya keruntuhan lateral akibat tekanan air yang besar seperti terjadinya erosi.
- Memproteksi kemungkinan terjadinya perembesan air/seepage yang disebabkan adanya elevasi muka air tanah yang cukup tinggi. Dalam hal ini juga berfungsi dalam proses pengeringan air (dewatering) yaitu dengan memotong aliran air (Flow net) pada tanah (Cut Off).

Retaining walls sudah banyak dimanfaatkan secara luas oleh masyarakat. Seperti penerapannya dalam bangunan bertingkat yang membutuhkan basement, jalan raya, jalan kereta api, jembatan, kanal dan lainnya.

### **2.2.2. Perkembangan Penggunaan Sistem Dinding Penahan Tanah**

Perkembangan sistem dinding penahan tanah di dunia berawal dari penggunaan gravity wall dan cantilever wall. 2 jenis dinding penahan tanah ini merupakan jenis yang paling umum dan sering ditemui. Dinding gravity wall umum digunakan untuk konstruksi-konstruksi sederhana, sedangkan apabila ketinggian lereng sudah melampaui 3 m maka sudah harus menggunakan tipe cantilever.

Namun, seiring dengan perkembangan zaman dan banyaknya aktifitas-aktifitas alam yang terjadi, terdapat cukup banyak kasus keruntuhan lereng yang menyebabkan beberapa kerusakan hingga korban jiwa meskipun lereng tersebut telah diperkuat dengan dinding penahan tanah. Ini dikarenakan dinding penahan tanah konvensional tanpa pondasi dalam seperti dinding cantilever dan dinding gravity rentan mengalami guling dan/atau mengalami kegagalan pada tubuh dinding. Terlebih lagi apabila menerima beban getaran yang cukup intens.

Contoh kasus keruntuhan yang terjadi akibat beban gempa dapat dilihat pada beberapa kasus-kasus seperti pada Gempa Kobe tahun 1995, Gempa Niigata pada tahun 2004 dan Gempa Noto-hanto pada Tahun 2007 (Koseki, 2012). Koseki melaporkan bahwa, hampir seluruh dinding penahan tanah tipe cantilever pada kasus-kasus gempa ini harus di rekonstruksi ulang. Di lain sisi, kebanyakan dinding penahan tanah dengan tipe Geosynthetics Reinforced Soil/GRS pada area yang terdampak gempa hanya mengalami minor displacements dan beberapa di antaranya mengalami deformasi yang cukup besar. GRS adalah sebuah sistem dinding penahan tanah yang memberikan geosintetik sebagai perkuatan tambahan pada dinding penahan tanah berupa gaya tarik. Kehadiran geosintetik pada sistem dinding penahan tanah ini dapat menambah momen tahanan terhadap stabilitas guling dari dinding penahan tanah

Beberapa penelitian analitis, numerik dan eksperimental, dan beberapa studi kasus tentang lereng yang diperkuat geosintetik telah dilaporkan dalam penelitian-penelitian terdahulu. Analisa stabilitas geoteknik termasuk pemanfaatan geosintetik dan model keruntuhannya menunjukkan bahwa dengan adanya geosintetik dalam timbunan tanah memberikan peningkatan nilai stabilitas lereng (Shukla et al., 2011) (Liu & Won, 2009). Bhattacharjee (Bhattacharjee et al., 2019) melaporkan hasil pengujian seepage-analysis dengan berbagai macam tipe geosintetik (Hybrid geosynthetics). Hasil pengujiannya menunjukkan bahwa tipe hybrid-geosynthetics mampu meningkatkan stabilitas lereng.

Kemudian, berdasarkan penelitian (Tatsuoka et al., 1996) melaporkan bahwa pada Gempa Kobe tahun 1995, beberapa diantara GRS memiliki deformasi yang besar sehingga membutuhkan perbaikan ataupun pergantian struktur dindingnya. Pada kasus gempa tersebut, pergantian struktur dinding harus dilakukan secara keseluruhan. Untuk meningkatkan efisiensi dari struktur GRS, peneliti kemudian kembali mencetuskan sebuah struktur dinding penahan dengan kombinasi antara blok modul (Modular Block/MB) beton dengan geosintetik. Penggunaan beton dalam bentuk modul atau segmental sebagai dinding GRS ini telah populer di Eropa dan Amerika Utara sejak awal tahun 90-an (Bathurst et al., 1994). Ini dikarenakan, konstruksi dinding dalam bentuk blok modul dinilai lebih praktis, ekonomis, memiliki durabilitas yang lebih baik, estetik dan ketika mengalami kerusakan dapat diperbaiki atau diganti secara parsial (Ling et al., 2005). Kemudian, Erol Guler pada (Guler & Selek, 2014) memaparkan bahwa umumnya akselerasi pada bagian permukaan timbunan lebih besar daripada akselerasi yang terjadi pada dasar timbunan sehingga hal ini cenderung menyebabkan blok pada bagian permukaan mengalami deformasi yang lebih besar sehingga ia melakukan penelitian dengan 2 lapisan geosintetik teratas dilubangi dan diisi dengan mortar dan steel bar sebagai perkuatan tambahan. Hal ini terbukti dapat menambah stabilitas dinding blok tersebut.

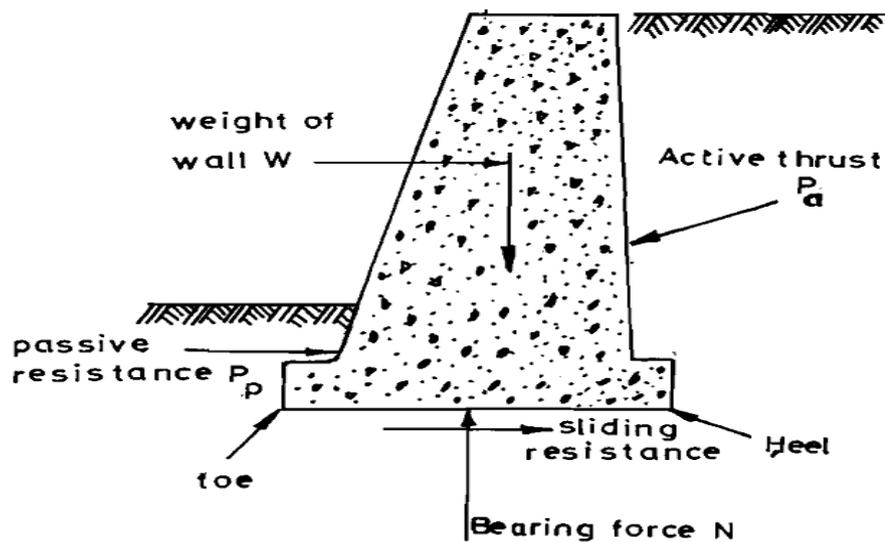
### **2.2.3. Jenis-Jenis Dinding Penahan Tanah**

Dinding penahan tanah dalam dunia teknik sipil memiliki banyak jenis. Adapun jenis-jenis konstruksi dinding penahan tanah yang perlu diketahui dalam praktek rekayasa konstruksi yaitu

#### **2.2.3.1. Mechanically Stabilized Earth (MSE Wall)**

merupakan dinding penahan tanah yang menggunakan perkuatan internal secara berlapis dengan mekanisme friksi antara tanah dengan material perkuatan. Penggunaan MSE wall menjadi pilihan alternatif dinding penahan tanah karena memiliki biaya konstruksi yang relatif lebih murah dan secara teknis lebih mudah dikerjakan dibandingkan dengan dinding penahan tanah dengan tipe beton (Berg et

al., 2009). Stabilitas MSE wall sangat bergantung kepada jenis material timbunan yang digunakan, geometri dinding penahan, posisi muka air tanah, dan faktor eksternal berupa curah hujan dan penguapan (Rahardjo et al., 2011) melakukan evaluasi stabilitas lereng melalui sistem monitoring tegangan air tanah yang dianalisis secara numerik pada tanah tidak jenuh (unsaturated) yang disebabkan oleh curah hujan, ditemukan bahwa terdapat karakteristik formasi tanah terhadap curah hujan yang menyebabkan perubahan kekuatan geser tanah sehingga mengakibatkan variasi terhadap angka keamanan ketika hujan terjadi. Curah hujan yang menyebabkan perubahan derajat kejenuhan tanah pada tanah timbunan tidak jenuh air dapat menyebabkan keruntuhan pada MSE wall (Yoo & Jung, 2006).

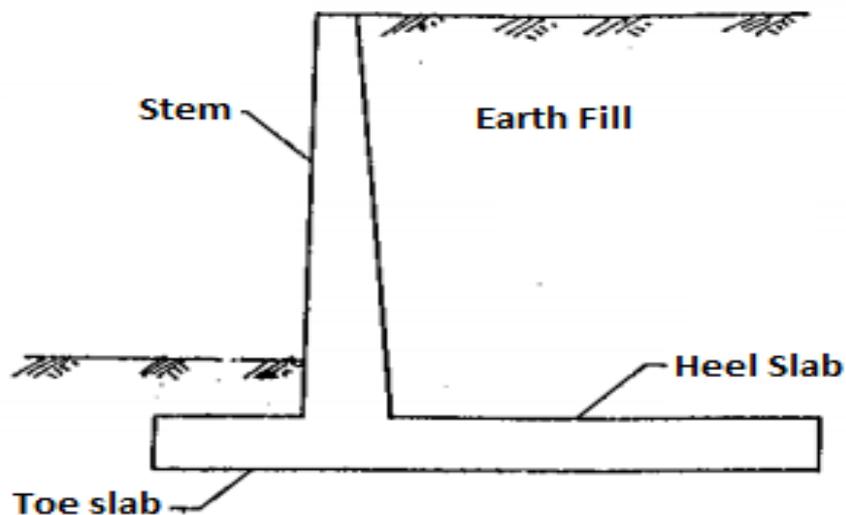


**Gambar 5** Dinding penahan gravitasi (gravity wall)

Prinsip kerja dinding penahan tanah massa (gravity retaining wall) yaitu mengandalkan bobot massa dari badan konstruksinya sehingga tingkat kestabilan dari struktur dapat lebih tinggi dikarenakan bobotnya yang berat dalam menahan tekanan tanah lateral (Trandafir, Kamai and Sidle, 2009)

### 2.2.3.2. Dinding Penahan Tanah Tipe Jepit (Cantilever Retaining Wall)

Jenis konstruksi dinding penahan tanah tipe ini umumnya digunakan untuk menahan tekanan tanah pada timbunan maupun pada tebing. Prinsip kerja dari jenis dinding penahan jenis ini yaitu dengan mengandalkan daya jepit/fixed pada dasar tubuh strukturnya. Oleh karena itu ciri khas dari dinding penahan jenis kantilever yaitu berupa model telapak/spread memanjang pada dasar strukturnya yang bersifat jepit untuk menjaga kestabilan dari struktur penahan. Umumnya konstruksi dinding penahan tipe jepit dibuat dari pasangan batu maupun dengan konstruksi beton bertulang.

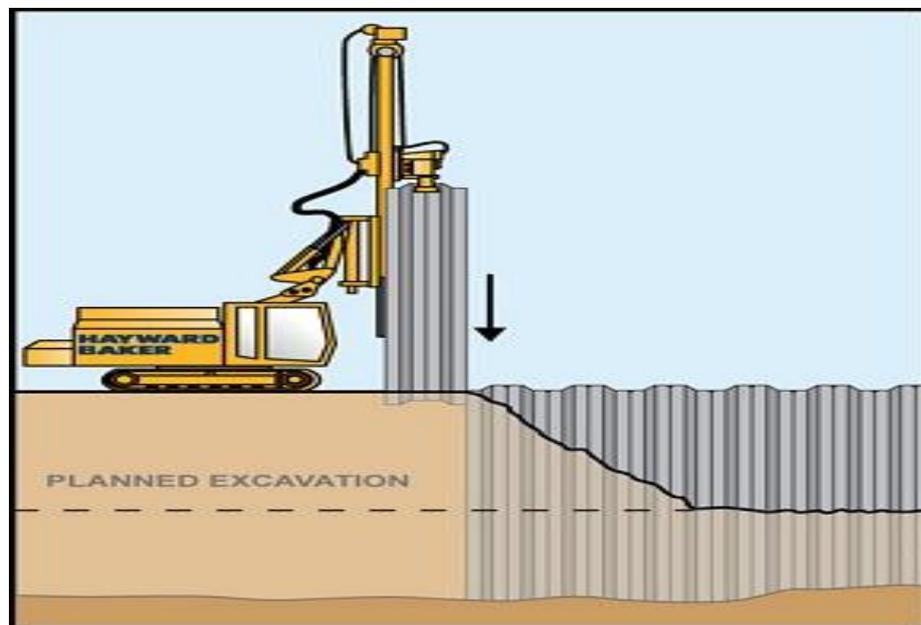


**Gambar 6** Dinding penahan cantilever (cantilever retaining wall)

Ada tiga bagian struktur yang berfungsi sebagai kantiliver seperti yaitu dinding vertical (stem), tumit tapak (heel), dan ujung kaki tapak (toe). Prinsip kerja dari dinding kantilever yaitu dengan mengandalkan daya jepit/fixed pada dasar rangkaian strukturnya. Dinding kantilever berbentuk telapak/spread memanjang pada dasar strukturnya yang berfungsi untuk menjepit dan menjaga kestabilan dari tekanan tanah pada timbunan maupun pada tebing (Setiawan, 2011).

### 2.2.3.3. Dinding Penahan Tanah Tipe Turap (Sheet Pile)

Jenis konstruksi dinding penahan tipe turap merupakan jenis konstruksi yang banyak digunakan untuk menahan tekanan tanah aktif lateral tanah pada timbunan maupun untuk membendung air (coverdam). Jenis konstruksi tipe turap/sheet pile umumnya terbuat dari material beton pra tegang (Prestrees Concrete) baik berbentuk corrugate-flat maupun dari material baja. Konstruksi dinding penahan tipe sheet pile berbentuk ramping dengan mengandalkan tahanan jepit pada kedalaman tancapnya dan dapat pula dikombinasikan dengan sistem ankur/Anchor yang disesuaikan dengan hasil perancangan. Dalam pelaksanaannya kedalaman tancap sheet pile dapat mencapai elevasi sampai tanah keras.



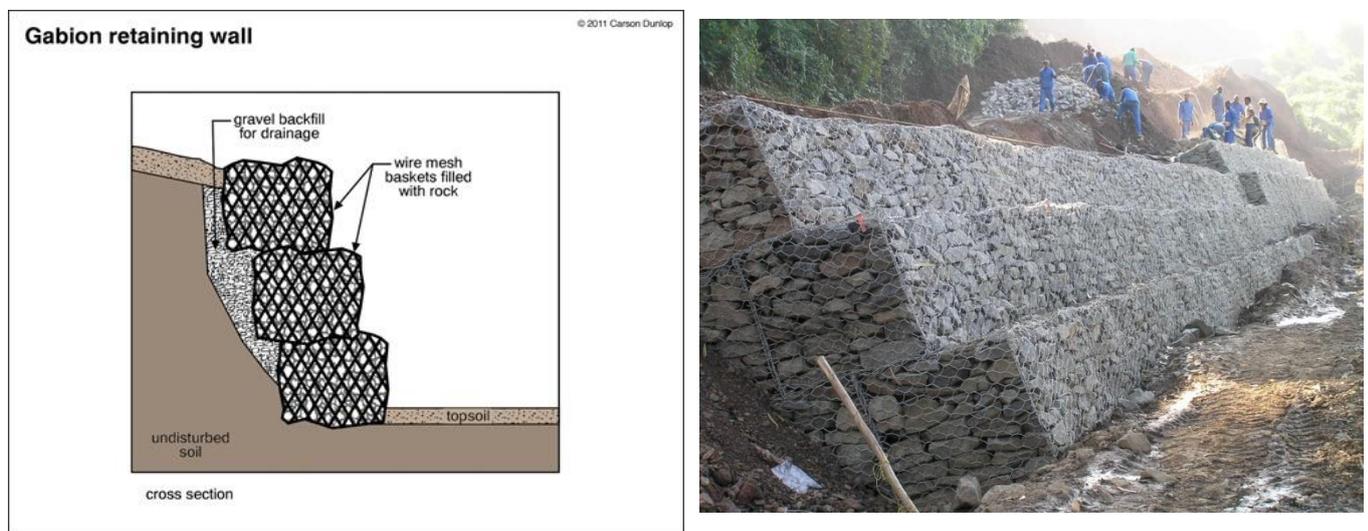
**Gambar 7** Dinding penahan tanah tipe turap

Sheet pile juga cocok untuk dipasang pada konstruksi bangunan tinggi yang memiliki basement. Sheet pile sering digunakan sebagai dinding penahan dikarenakan mudah dalam menggunakannya dengan biaya pemasangan yang lebih murah. Selain itu, sheet pile memiliki ketahanan yang sangat tinggi terhadap lingkungan sekitarnya.

Sheet pile berbentuk ramping yang mengandalkan tahanan jepit pada saat ditancapkan ke kedalaman tanah. Proses pemasangannya dapat dikombinasikan dengan sistem ankur/anchor. Sementara itu kedalaman tancap sheet pile sendiri dapat mencapai elevasi sampai tanah keras (Tang et al., 2018).

#### 2.2.3.4. Dinding Penahan Bronjong (Gabion)

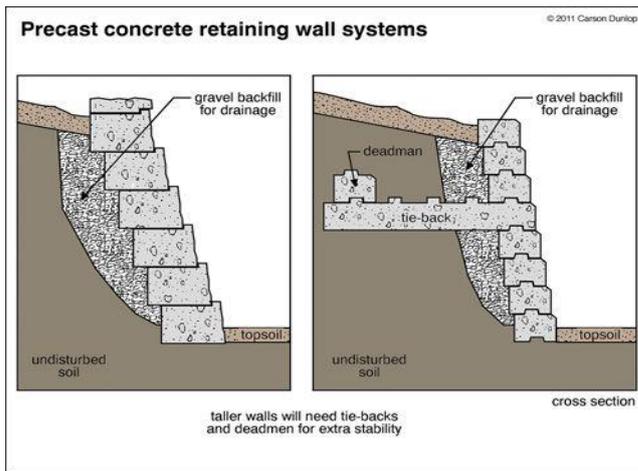
Konstruksi dinding penahan tanah jenis ini merupakan konstruksi yang berupa kumpulan blok- blok yang dibuat dari anyaman kawat logam galvanis yang diisi dengan agregat kasar berupa batu batu kerikil yang disusun secara vertikal ke atas dengan step-step meyerupai terasering/tanga-tangga. Kelebihan dari dinding penahan jenis gabion selain berfungsi untuk menahan tekanan tanah juga berfungsi untuk memperbesar konsentrasi resapan air ke dalam tanah (Infiltrasi).



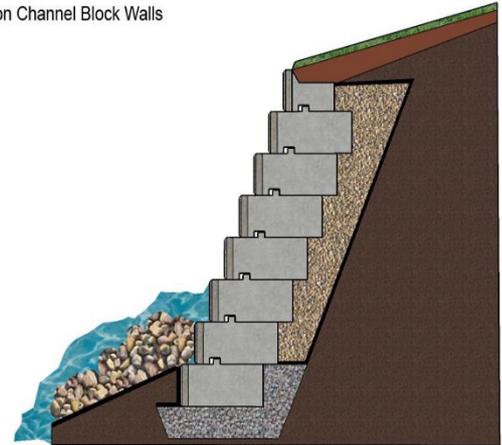
**Gambar 8** Dinding Penahan Bronjong

#### 2.2.3.5. Dinding Penahan Tipe Blok Beton (Block Concrete)

Jenis dinding penahan tanah tipe blok beton merupakan kumpulan blok-blok beton masif padat yang disusun secara vertikal dengan sistem pengunci/locking antar blok yang disusun. Umumnya blok beton dibuat secara modular di fabrikasi berupa beton precast dan kemudian proses pemasangannya di lakukan di lokasi - in situ

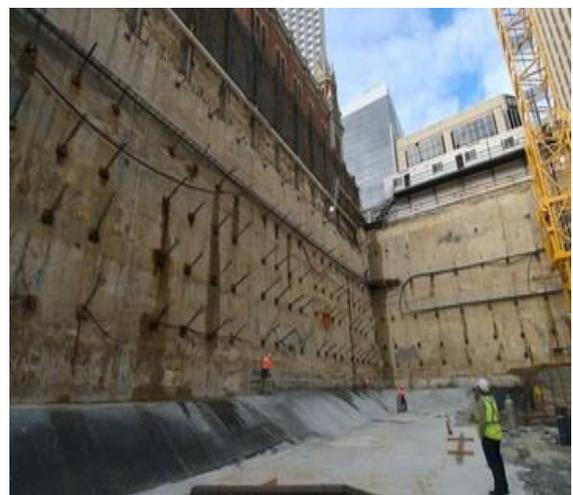
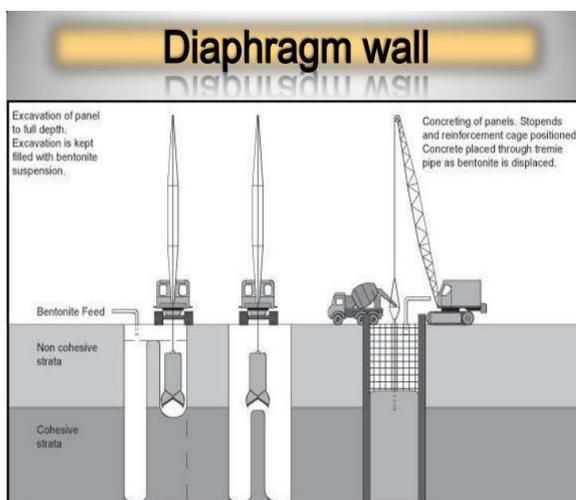


ReCon Channel Block Walls

**Gambar 9** Dinding Penahan Tipe Blok Beton (Blok Concrete)

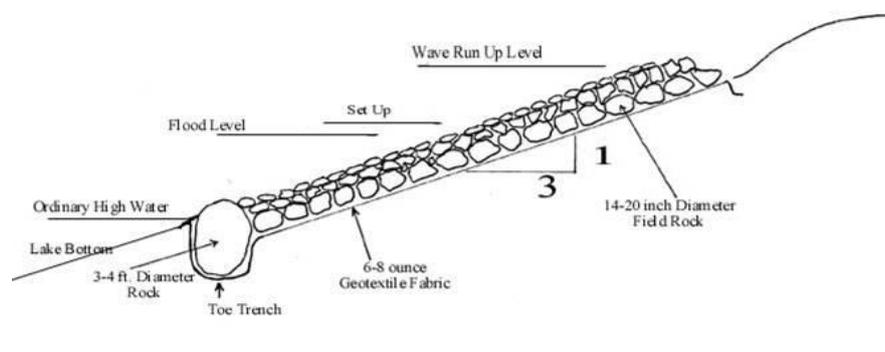
### 2.2.3.6. Dinding Penahan Tanah Tipe Diaphragm Wall

Jenis konstruksi dinding penahan tanah tipe dinding bertulang (Diaphragm Wall) merupakan jenis konstruksi dinding penahan yang terbuat dari rangkaian besi beton bertulang yang dicor di tempat atau dengan sistem modular yang dibuat untuk membendung (cover) suatu konstruksi bawah tanah (sub-structure) khususnya pada konstruksi basement suatu bangunan. Diaphragm wall dapat dikombinasikan dengan sistem anchor untuk menambah daya dukung terhadap tekanan aktif lateral tanah juga berfungsi dalam proses dewatering untuk memotong aliran muka air tanah (Cut-Off Dewatering).

**Gambar 10** Dinding Penahan Tanah Tipe Diaphragm Wall

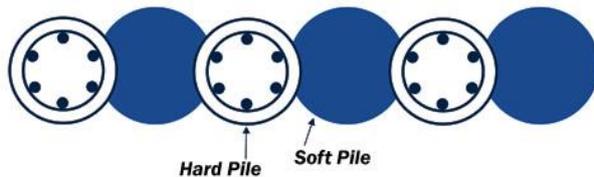
### 2.2.3.7. Dinding Penahan Tanah Continguous Pile dan Soldier Pile

Jenis konstruksi penahan contiguous pile dan soldier pile merupakan konstruksi dinding penahan tanah yang digunakan untuk menahan tekanan lateral tanah aktif pada konstruksi bawah tanah seperti pada konstruksi basement suatu bangunan sama seperti jenis konstruksi dinding penahan diaphragm wall. Continguous pile dan soldier pile juga biasanya dikombinasikan dengan sistem ankur/anchor untuk meningkatkan daya dukung terhadap tekanan aktif lateral tanah dan berfungsi sebagai pemutus aliran air bawah tanah (Cut Off). Continguous pile dibuat di tempat in-situ dengan sistem bored pile berupa rangkaian besi beton bertulang maupun menggunakan profil baja serta dikombinasikan dengan bentonited dan dirangkai membentuk dinding penahan yang padat



**Gambar 11** Dinding Penahan Tanah Continguous Pile

### 2.2.3.8. Revetment



**Gambar 12** Dinding Penahan Tanah Revetment

Jenis konstruksi sederhana yang berfungsi untuk perkuatan lereng/tebing maupun untuk melindungi dari gerusan aliran sungai dan ombak pada alur pantai. Konstruksi jenis ini pada dasarnya tidak memiliki fungsi utama dalam menahan tekanan aktif lateral tanah namun lebih pada fungsi proteksi terhadap efek gerusan/erosi yang dapat merusak kestabilan lereng/tanggul yang tentunya dapat berpotensi menimbulkan terjadinya longsor/land slide.

Lapisan revetment pada struktur pelindung pantai memiliki variasi desain, terbuat dari gundukan puing-puing, pelat beton, beton kasur, aspal, rip rap atau bronjong. Lapisan pelindung di revetment pantai dapat bersifat permeabel atau impermeabel dan fleksibel atau kaku. Ketika revetment pantai dirancang untuk berbagai kondisi wilayah, jenis penggunaan revetment untuk melindungi struktur pantai dan pemecah gelombang, semua faktor seperti kecepatan pelaksanaan, biaya konstruksi dan transportasi jarak material puing yang sesuai harus diperhatikan pertimbangan (Aminoroayaie Yamini, Mousavi and Kavianpour, 2019)

Mengetahui mengenai dinding penahan tanah (retaining walls) memang penting dipahami sebelum Anda menerapkannya pada konstruksi yang akan dikerjakan. Melalui bebera penjelasan di atas, dinding penahan tanah memang penting penggunaannya dan diperlukan dalam konstruksi seperti underpass dan basement. Pemasangan retaining walls ini dapat mencegah terjadi longsor akibat beban yang terus-menerus diterima oleh tanah.

Dari penjelasan di atas tentunya dari masing-masing dinding penahan tanah memiliki karakteristik yang berbeda-beda berdasarkan pada fungsi dan kegunaannya. Seorang yang bergerak di bidang teknik sipil harus mampu mengetahui karakteristik jenis-jenis konstruksi dinding penahan serta kegunaannya dalam praktik konstruksi di lapangan.

Stabilisasi tanah secara umum merupakan suatu proses untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dengan menambahkan sesuatu pada tanah tersebut, agar dapat menaikkan kekuatan tanah dan mempertahankan kekuatan geser (Hardiyatmo,

2017). Tujuan dari stabilisasi tanah adalah untuk mengikat dan menyatukan agregat material yang ada sehingga membentuk struktur jalan atau pondasi jalan yang padat. Adapun sifat tanah yang telah diperbaiki tersebut dapat meliputi: kestabilan volume, kekuatan atau daya dukung, permeabilitas, dan kekekalan atau keawetan.