

**SKRIPSI**

**ANALISIS STABILITAS STRUKTUR SEAWALL DI PANTAI  
PASANGKAYU**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S1 pada  
Jurusan Teknik Sipil



Di susun oleh :

**MUH. ARHAM**

**D0121310**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SULAWESI BARAT  
MAJENE  
2025**

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISIS STABILITAS STRUKTUR SEAWALL DI PANTAI PASANGKAYU

#### TUGAS AKHIR

Oleh

**Muh. Arham**

**NIM : D0121310**

Jurusan Teknik Sipil

Universitas Sulawesi Barat

Tugas Akhir ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Tanggal 23 Mei 2025

Mengetahui,

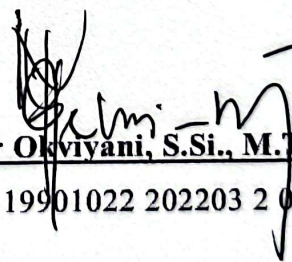
**Pembimbing 1**



**Irma Ridhayani, S.T., M.T.**

NIP. 19800314 202421 2 011

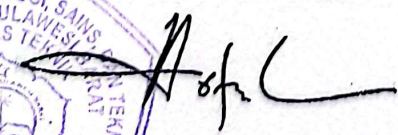
**Pembimbing 2**



**Nur Okviyani, S.Si., M.T.**

NIP. 19901022 202203 2 003

**Dekan Fakultas Teknik**


**Prof. Dr. Ir. Hafsah Nirwana, M.T.**

NIP. 19640405 199003 2 002

**Ketua Jurusan**


**Amalia Nurdin, ST., M.T.**

NIP. 19871212 201903 2 017

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.



Majene, 23 Mei 2025

  
Muh. Arham  
D0121310

## ABSTRAK

Pantai Pasangkayu memiliki banyak pemukiman penduduk yang berada di pesisir pantai. Pada musim gelombang tinggi ancaman abrasi di daerah yang secara ekonomi penting ini memiliki dampak yang signifikan terhadap kondisi sosial ekonomi masyarakat. Oleh karena itu, sangat diperlukan pencegahan serta penanggulangan abrasi di Pantai Pasangkayu salah satunya dengan pembuatan *seawall* ini.. Tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui stabilitas *seawall* terhadap bahaya gaya geser, gaya guling, dan daya dukung tanah baik dalam kondisi normal maupun kondisi gempa, Analisis dilakukan dari data berdasarkan gambar konstruksi, data sondir dan data tanah. stabilitas bangunan dihitung secara manual dan menggunakan program GEO5. Hasil analisis stabilitas pada bangunan *sea wall* diperoleh *safety factor* (SF) dengan perhitungan manual pada kondisi normal yaitu SF Geser =  $2,02 > 1,5$ . SF Guling =  $2,49 > 2,0$  dan SF Daya dukung tanah =  $9,53 < 13,832$ . Pada kondisi gempa diperoleh SF Geser =  $1,24 > 1,1$ . SF Guling =  $2,19 > 1,5$  dan SF Daya dukung tanah =  $11,19 < 13,832$ . Analisis pada program GEO5 diperoleh *safety factor* (SF) pada kondisi normal yaitu SF Geser =  $12,86 > 1,5$ . SF Guling =  $4,07 > 2,0$  dan SF Daya dukung tanah =  $6,91 > 3$ . Pada kondisi gempa diperoleh SF Geser =  $1,64 > 1,1$ . SF Guling =  $2,31 > 1,5$  dan SF Daya dukung tanah =  $7,39 > 1,00$ .

**Kata kunci :** Stabilitas, *Safety Factor*, *Seawall*, Program GEO5

## **ABSTRACT**

*Pasangkayu Beach has many settlements located on the coast. In the high wave season the threat of abrasion in this economically important area has a significant impact on the socio-economic conditions of the community. Therefore, it is very necessary to prevent and overcome abrasion in Pasangkayu Beach, one of which is by making this seawall. This final project aims to determine the stability of the seawall against the dangers of slip, overturning, and soil bearing capacity both under normal conditions and earthquake conditions, Analysis is carried out from data based on construction drawings, sondir data and soil data. building stability is calculated manually and using the GEO5 program. The results of the stability analysis on the sea wall building obtained safety factor (SF) with manual calculations under normal conditions, namely SF Slip =  $2,02 > 1,5$ . SF overturning =  $2,49 > 2,0$  and SF Bearing capacity =  $9,53 < 13,832$ . Under earthquake conditions, SF Slip =  $1,24 > 1,1$ . SF Overturning =  $2,19 > 1,5$  and SF Bearing capacity =  $11,19 < 13,832$ . Analysis in the GEO5 program obtained safety factor (SF) under normal conditions, namely SF Slip =  $12,86 > 1,5$ . SF Overturning =  $4,07 > 2,0$  and SF Bearing capacity =  $6,91 > 3$ . In earthquake conditions obtained SF Slip =  $1,64 > 1,1$ . SF Overturning =  $2,31 > 1,5$  and SF Bearing capacity =  $7,39 > 1,00$ .*

**Keywords :** *Stability, Safety Factor, Seawall, GEO5 Program*

## **BAB 1**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Provinsi Pasangkayu memiliki daerah yang sebagian besar terletak di pesisir pantai dimana ini merupakan wilayah yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Potensi utama di kawasan ini adalah sektor perikanan tangkap dan kegiatan pertanian yang berkontribusi pada peningkatan kesejahteraan masyarakat setempat. Ancaman abrasi di daerah yang secara ekonomi penting ini memiliki dampak yang signifikan terhadap kondisi sosial ekonomi masyarakat. Oleh karena itu, sangat diperlukan kegiatan pencegahan serta penanggulangan abrasi di Pantai Pasangkayu, terutama di wilayah yang memiliki nilai ekonomi tinggi.

Sebagai upaya penanggulangan bahaya yang ditimbulkan oleh abrasi pantai, Pemerintah Indonesia telah melaksanakan serangkaian upaya secara berkelanjutan yang berfokus pada pengamanan fasilitas umum serta permukiman penduduk di daerah pesisir. Salah satu langkah untuk mengoptimalkan upaya tersebut adalah dengan meningkatkan kesejahteraan penduduk, menciptakan lapangan kerja, dan meningkatkan kualitas hidup, khususnya di daerah pedesaan Kabupaten Pasangkayu, Provinsi Sulawesi Barat. Balai Wilayah Sungai Sulawesi III Palu melaksanakan berbagai program pemeliharaan, rehabilitasi, serta pembangunan pengaman abrasi yang baru. Melalui langkah-langkah tersebut, diharapkan dapat memberikan manfaat dalam peningkatan kesejahteraan masyarakat pedesaan.

Bangunan pelindung pantai yang paling sering kita temui dan telah banyak diimplementasikan adalah *seawall* dan *revetmen* yang terbuat dari batu alam, beton maupun bahan lainnya. *Seawall* merupakan struktur pelindung pantai yang dibangun sejajar dengan garis pantai, dan biasanya memiliki dinding yang relatif tegak atau melengkung. Fungsi *seawall* adalah untuk melindungi daerah di belakangnya dari erosi serta untuk mencegah limpasan air laut (Triatmodjo, 1999).

Pada perencanaan pembangunan tembok laut (*Seawall*) salah satu hal yang penting dilakukan adalah menganalisis stabilitas dari struktur bangunan tersebut.

Dimana perhitungannya harus sesuai berdasarkan perhitungan stabilitas dan faktor keselamatan. Besarnya faktor keamanan (*safety factor*) yang diperoleh harus di atas ambang batas yang sudah ditentukan agar dapat mengurangi tingkat terjadinya kesalahan dalam pembangunan karena dapat membahayakan dan merugikan banyak pihak.

Penelitian yang dilakukan ini bertujuan menganalisis stabilitas struktur dari tembok laut (*seawall*). Analisis yang peneliti lakukan dengan menggunakan perhitungan manual dan menggunakan software GEO5, dimana analisis stabilitas ditinjau dari beberapa hal baik itu dari gaya guling, gaya geser, serta kapasitas daya dukung tanah dengan berbagai kondisi seperti, kondisi normal dan kondisi gempa.

Oleh sebab itu maka dilakukan studi kasus terkait analisis stabilitas struktur pada pembangunan tembok laut di pantai pasangkayu. Maka peneliti memilih judul **“Analisis Stabilitas Struktur Seawall di Pantai Pasangkayu”**. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat pada masa yang akan datang, serta menjadi bahan pembelajaran, pertimbangan dan perencanaan dalam proses konstruksi tembok laut (*seawall*).

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka permasalahan yang ada dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana hasil akhir berupa nilai faktor keamanan yang diperoleh dari analisis stabilitas struktur tembok laut tersebut dengan perhitungan manual dan menggunakan program GEO5.
2. Apakah nilai faktor keamanan sudah memenuhi persyaratan menurut Braja M. Das dan SNI 8460:2017 baik dalam kondisi normal dan kondisi gempa.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berangkat dari rumusan masalah diatas, adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui perbandingan hasil analisis stabilitas struktur ditinjau dari gaya geser, gaya guling dan kapasitas daya dukung tanah baik itu dalam keadaan normal maupun gempa serta dari perhitungan manual dan menggunakan program GEO5.
2. Untuk mengevaluasi apakah nilai faktor keamanan yang diperoleh sudah sesuai persyaratan yang tercantum dalam SNI 8460:2017 dan Braja M. Das.

#### 1.4 Batasan Masalah

Pembatasan masalah dalam Tugas Akhir ini dimaksudkan agar penelitian yang dilakukan menjadi lebih fokus dan terarah. Adapun batasan-batasan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan pada bangunan *seawall* di pantai pasangkayu, Kabupaten Pasangkayu, Provinsi Sulawesi Barat
2. Analisis stabilitas struktur yang difokuskan terkait gaya geser, gaya guling dan kapasitas daya dukung tanah yang diakibatkan oleh tekanan tanah lateral, tekanan hidrostatik, gelombang dan beban gempa.
3. Analisis dilakukan dengan perhitungan secara manual dan menggunakan software GEO5.
4. Analisis stabilitas *seawall* menggunakan persamaan menurut Braja M. Das.
5. Penentuan kapasitas ijin daya dukung tanah menggunakan persamaan menurut Meyerhof.
6. Teori tekanan lateral yang di gunakan adalah teori rankine dan coulomb.
7. Nilai faktor keamanan di ambil berdasarkan persyaratan Braja M. Das dan SNI 8460:2017.
8. Konstruksi *Seawall* dianggap sama seperti Dinding Penahan Tanah (*Gravity wall*).

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Pada penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Analisis struktur dapat membantu memastikan bahwa bangunan memenuhi standar keamanan dan keselamatan yang diperlukan.
2. Menambah wawasan penulis maupun pembaca mengenai perhitungan stabilitas struktur tembok laut secara manual mengenai ketahanan terhadap gays geser, gaya guling maupun kuat dukung tanah.
3. Hasil penelitian diharapkan dapat digunakan sebagai bahan pembelajaran dan referensi dalam pengembangan proyek-proyek konstruksi di masa depan.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Secara umum tulisan ini terbagi lima bab yaitu : Pendahuluan, Tinjauan Pustaka, Metode Penelitian, Hasil dan Pembahasan dan diakhiri oleh Penutup. Berikut ini merupakan rincian secara umum mengenai kandungan dari kelima bab diatas.

#### **BAB I LATAR BELAKANG**

Pokok-pokok bahasan dalam bab ini meliputi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

#### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Dalam bab ini, diuraikan secara sistematis tentang teori, pemikiran, dan hasil penelitian terdahulu yang memiliki hubungan dengan penelitian ini. Bab ini memberikan kerangka dasar mengenai konsep dan teori yang akan digunakan untuk pemecahan masalah.

#### **BAB III METODE PENELITIAN**

Dalam bab ini, dijelaskan metode yang digunakan dalam penelitian ini, langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini yang dituangkan dalam bentuk bagan alir penelitian, lokasi dan waktu penelitian, data penelitian berupa jenis dan sumber data serta analisis yang digunakan dalam mengolah data yang didapatkan.

**BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini menyajikan hasil analisis perhitungan berdasarkan data-data yang diperoleh serta pembahasan dari hasil analisis yang telah dilakukan.

**BAB V PENUTUP**

Bab ini memuat kesimpulan singkat mengenai analisis hasil yang diperoleh saat penelitian dan disertai dengan saran.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terdahulu

Dalam beberapa penelitian sebelumnya, banyak peneliti yang telah membahas mengenai analisis stabilitas struktur *seawall* atau dinding penahan tanah. Pada penelitian ini penulis mencantumkan 5 hasil penelitian terdahulu yang memiliki relevansi serta keterkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan sebagai berikut:

1. Kevin Situmorang (2020)

Pada penelitian mengambil Studi kasus mengenai dinding penahan tanah di Bendungan Lau Simeme dengan judul “Analisis Stabilitas Dinding penahan Tanah *Type Gravity Wall* pada Area Inlet Proyek Bendungan Lau Simeme”. Berdasarkan hasil Analisa serta perhitungan yang di lakukan mengenai stabilitas dinding penahan tanah, maka diperoleh hasil yang dapat dijadikan kesimpulan bahwa perhitungan dinding penahan tanah di Proyek Pembangunan terowongan pengelak bendungan lau simeme, antara lain: Aman terhadap Stabilitas Penggulingan dengan nilai: Total: 9,553 *Effect* : 8,993, Aman terhadap Stabilitas Pergeseran dengan nilai: Total: 2,718 *Effect* : 2,709, Aman terhadap Stabilitas Keruntuhan Kapasitas Dukung Tanah dengan nilai: Total: 7,169  $\geq 3$  *Effect* : 9,592  $\geq 3$  (Situmorang, 2022).

2. Ratri Nur Ulfah (2019)

Dengan judul penelitian “Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah Tipe A’ Pada Bendung DI. Kamijoro”, dimana penelitian ini bertujuan untuk menentukan stabilitas geser, guling, kuat dukung tanah, dan bahaya piping pada Bendung DI. Kamijoro, Sendangsari, Pajangan, Bantul, Yogyakarta. Hasil yang diperoleh berdasarkan analisis yang diperoleh pada kondisi normal didapatkan hasil *safety factor* stabilitas geser sebesar 9,93, *safety factor* stabilitas guling sebesar 9,07, dan *safety factor* daya dukung tanah sebesar 5,81. Pada kondisi gaya gempa

didapatkan *safety factor* stabilitas geser sebesar 12,99, *safety factor* stabilitas guling sebesar 7,40, dan *safety factor* daya dukung tanah sebesar 5,81. Pada kondisi ekstrem didapatkan hasil *safety factor* stabilitas geser sebesar 8,09, *safety factor* stabilitas guling sebesar 14,92, dan *safety factor* daya dukung tanah sebesar 5,57 (Ulfah, 2019).

### 3. Dikdik Dinulhaq (2023)

Judul penelitian “Analisa Perencanaan Dinding Penahan Tanah Pada Proyek Ruas Jalan Tol Betung - Tempino – Jambi Seksi 4 Jalan Arteri Simpang Tempino Sta 0 + 350”. Dinding penahan tanah pada proses pembangunannya ada beberapa yang memiliki penanganan kondisi yang khusus sebagai solusi dari suatu keadaan tanah sehingga membutuhkan suatu struktur untuk menahan tanah tersebut agar tidak terjadi bahaya longsor tanah sehingga dapat menahan gaya-gaya yang diantaranya gaya lateral dan gaya vertikal. Pada penelitian ini diperoleh hasil analisis Stabilitas Dinding penahan tanah aman terhadap geser dengan  $SF = 2,585$  (aman) dan terhadap guling dengan  $SF = 8,077$  (aman). Gaya statik yang berkerja didapatkan  $F_k$  Statik 2.307. Gaya yang terjadi akibat gempa yang bekerja didapatkan  $F_k$  Gempa 1.690. Daya dukung tanah  $> 3.142$  dari kriteria ijin yang telah ditetapkan (Dinulhaq, 2023).

### 4. Zulfendri (2022)

Penelitian ini berjudul “Perencanaan Dinding Penahan Tanah Retaining Wall Dam Katapiang Jorong Binu Nagari Kamang Hilia Kecamatan Kamang Magek”, dimana tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kestabilan lereng, merencanakan dimensi dari dinding penahan tanah yang dapat memikul beban rencana, menghitung stabilitas/faktor keamanan terhadap guling, geser dan daya dukung tanah. Metode yang digunakan dalam perhitungan stabilitas lereng adalah metode observasi dan metode dokumentasi yang menghasilkan factor aman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dimensi dari dinding penahan tanah tipe kantilever yaitu  $H = 5$  m,  $B = 2,5$  m, tinggi  $df = 1,5$

m, lebar kepala = 0,5 m. Dengan dimensi tersebut maka didapatkan nilai faktor keamanan dinding penahan tanah terhadap stabilitas guling = 4,69, stabilitas geser = 4,18, dan daya dukung tanah = 5,84 (Zulfendri, 2022).

5. Ridhayani, dkk., (2021)

Penelitian ini berjudul Stabilitas Bangunan *Sea Wall* Pantai Sumare Kabupaten Mamuju . Pantai Desa Sumare memiliki banyak pemukiman penduduk yang berada di sekitaran pesisir pantai. Pada musim barat tiba tinggi gelombang mencapai 2-3 m berakibat terjadi abrasi dan erosi di sepanjang garis pantai. Untuk menangani hal tersebut direncanakan bangunan *Sea wall* Pantai Sumare. Analisis dilakukan dari data eksisting perhitungan gelombang dengan kala Ulang 25 tahun untuk mendapat dimensi *Sea Wall*. Setelah didapatkan dimensi, akan dihitung stabilitas bangunan terhadap geser, guling, dan daya dukung tanah. Hasil analisis ini diperoleh tinggi puncak elevasi *Sea Wall*  $\pm 3,84$  m, lebar puncak *Sea Wall* 1,94 m, tinggi *Toe Protection* 1,00 m dan lebar *Toe Protection* 2,3 m. Analisa stabilitas kondisi normal stabilitas terhadap guling  $SF = 15,28 > 2$  geser  $SF = 4,5 > 2$  dan daya dukung tanah  $\sigma_{\max} = 12,10 \text{ t/m}^2 < 112,71 \text{ t/m}^2$  dan  $6,30 \text{ t/m}^2 > 0$  , dan Analisa stabilitas kondisi gempa stabilitas terhadap guling  $SF = 5,88 > 2$  geser  $SF = 5,65 > 2$ , dan daya dukung tanah  $\sigma_{\max} = 8,51 \text{ t/m}^2 < 112,71 \text{ t/m}^2$  dan  $9,89 \text{ t/m}^2 > 0$  (Ridhayani dkk., 2021).

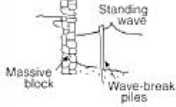
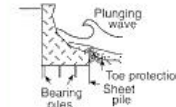
## 2.2 Pengertian Tembok laut (*Seawall*)

Menurut Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum No. 07/SE/M/2010, yang menetapkan Pedoman Pelaksanaan Konstruksi Bangunan Pengaman Pantai, Tembok Laut adalah struktur pengaman pantai yang dibangun sejajar pantai untuk melindungi pantai dari hempasan gelombang dan mengurangi limpasan genangan dari area pantai di belakangnya.

Tembok laut biasanya digunakan untuk mencegah erosi atau abrasi karena gelombang laut menghancurkan pantai atau tebing. Secara umum, tembok laut

dirancang agar tidak mengalami *overtopping* sehingga area yang ada di belakangnya aman. Tembok laut biasanya memiliki 2 macam yaitu massif dan tidak massif. Tembok laut massif biasanya terbuat dari beton atau pasangan batu, sedangkan tembok laut tidak massif terdiri dari tumpukan batu (Ratulangi dkk., 2017).

**Tabel 2.1** Jenis – jenis Tembok Laut

| Jenis                  | Ilustrasi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Keuntungan                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Kelemahan                                                                                                                                                                                             | Contoh                                                                                |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Vertikal               | Tembok laut dibangun secara langsung di tepi laut. Tembok laut jenis ini memantulkan energi dari gelombang yang datang. Kondisi badai dapat menyebabkan terbentuknya gelombang berdiri yang tidak pecah. Gelombang ini dapat menimbulkan gelombang klapotis diam yang bergerak naik turun, tetapi tidak bergerak secara horizontal. <sup>[10][11]</sup> Gelombang seperti ini dapat merusak bagian dasar tembok laut. <sup>[12]</sup> Pada beberapa kasus, sebuah tiang pancang diletakkan di depan tembok untuk sedikit mengurangi energi gelombang sebelum menyentuh tembok. |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                       |                                                                                       |
|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Jenis yang pertama kali diimplementasikan</li> <li>Jenis tembok laut yang paling mudah dirancang dan dibangun.</li> <li>Memantulkan energi gelombang supaya menjauh dari area pesisir.</li> <li>Kerikil yang bebas bertebaran akan mendisipasi energi.</li> </ul>                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Dapat mengalami kerusakan dalam waktu singkat.</li> <li>Dapat rusak ketika berada di lingkungan yang memiliki gelombang berenergi tinggi.</li> </ul>           |   |
| Melengkung             | Desain melengkung memungkinkan gelombang untuk pecah dan mendisipasi energi sebelum memantulkannya kembali ke laut. Desain yang melengkung juga dapat mencegah ambruknya gelombang dan menambah perlindungan pada bagian dasar tembok.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                       |                                                                                       |
|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Struktur cekung menambah elemen disipatif.</li> <li>Lengkungan dapat mencegah tembok ambruk akibat hantaman gelombang dan menambah perlindungan bagi dasar tembok.</li> <li>Bertujuan untuk mengalihkan energi sehingga terbentuk gelombang pantulan yang rendah dan tidak terlalu turbulen.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Proses rekayasa yang lebih kompleks.</li> <li>Gelombang yang dipantulkan dapat menggesek material di permukaan tembok dan membuatnya semakin lemah.</li> </ul> |  |
| Gundukan atau Tumpukan | Tembok laut tipe ini menggunakan <i>revetmen</i> atau <i>riprap</i> yang digunakan pada lingkungan dengan energi erosi yang rendah. Struktur ini dapat memungkinkan air untuk melaluinya setelah energi gelombang terdisipasi. <sup>[13]</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                       |                                                                                       |
|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Desain yang umum saat ini menggunakan beton atau batu.</li> <li>Material berongga dapat menyebabkan disipasi energi maksimum.</li> <li>Opsi paling murah.</li> </ul>                                                                                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Usia pakai relatif pendek.</li> <li>Tidak dapat bertahan pada kondisi lingkungan berenergi tinggi secara efektif.</li> </ul>                                   |  |

(Sumber : Ensiklopedia dunia, Stekom)

### 2.3 Pengertian Tanah

Menurut Braja M. Das, Tanah didefinisikan sebagai bahan yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi maupun terikat

secara kimia antara satu dengan lainnya serta dari bahan-bahan organik lainnya yang telah membusuk serta melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padatnya (Das, 1988).

Menurut Hardiyatmo C. H., Tanah di alam terdiri dari beberapa kombinasi serta campuran antara butiran mineral dan mineral lainnya dengan atau tanpa bahan organik . butiran tanah yang satu dengan yang lain sangat mudah dipisahkan dengan cara guncangan air. Tanah sendiri berasal dari pelapukan serta pengikisan dari batuan-batuan alam, yang mana pada prosesnya dapat secara fisik maupun kimia. Sifat-sifat teknis tanah dipengaruhi oleh dari sifat induk batuanannya serta dipengaruhi oleh unsur-unsur dan faktor luar yang menjadi penyebab pelapukan batuan tersebut (Hardiyatmo, 2002).

Istilah ataupun sebutan semacam kerikil, pasir, lanau dan lempung digunakan dalam Teknik Sipil untuk membedakan jenis serta tipe-tipe tanah. Pada kondisi alam, tanah dapat terdiri dari 2 maupun lebih berdasarkan bahan campuran serta tipe-tipe tanah dan kadangkala terdapat pula bahan organik. Material campurannya, itu dipakai sebagai nama tambahan dibelakang sebagai penjelas material tersebut. Sebagai contoh, lempung berlanau ialah tanah lempung yang mempunyai kandungan lanau, dengan material utamanya ialah lempung dan lanau ialah sebagai bahan campurannya.

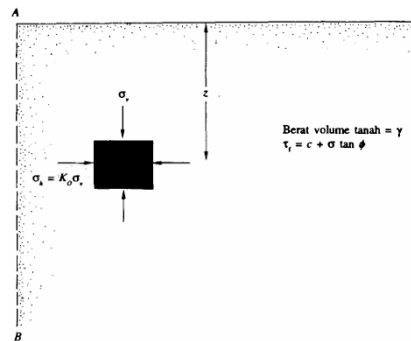
## **2.4 Tekanan Tanah Lateral**

Tekanan tanah lateral adalah sebuah gaya yang ditimbulkan oleh akibat dorongan tanah di belakang struktur penahan tanah (dinding penahan tanah). Besarnya tekanan lateral sangat dipengaruhi oleh perubahan letak (*displacement*) dari dinding penahan dan sifat-sifat tanahnya.

### **2.4.1 Tekanan Tanah Dalam Keadaan Diam (*At Rest*)**

Konstruksi penahan tanah mirip dinding penahan, dinding bangunan bawah tanah (*basement*), dan dinding penahan tanah baja, yang pada umumnya digunakan pada Teknik pondasi; konstruksi pelawan tanah tadi umumnya dipergunakan buat menahan massa tanah menggunakan talud vertikal.

Pada Gambar 2.1 Berat tanah tersebut dibatasi oleh dinding yang memiliki permukaan licin (*frictionless wall*) AB yang dipasang sampai kedalaman tidak berujung. Suatu elemen tanah yang terletak pada kedalaman ( $z$ ) akan menerima tekanan dari arah vertikal ( $\sigma_v$ ) serta dari arah horisontal ( $\sigma_h$ ), dimana ( $\sigma_v$ ) dan ( $\sigma_h$ ) merupakan tekanan efektif dan takanan tanah total dengan beranggapan tegangan geser pada bidang tegak dan bidang datar tidak dihiraukan. Dinding AB akan dinyatakan diam yaitu bilamana dinding AB tidak bergerak kesalah satu arah baik itu kearah kanan maupun kiri dari posisi semula. Berat dari tanah akan berada dalam keadaan keseimbangan elastis (*elastic equilibrium*) bilamana dinding dalam keadaan diam. “Koefisien tekanan tanah dalam keadaan diam (*coefficient of earth pressure at rest*),  $K_0$ ” yaitu tekanan arah horisontal dan vertikal, seperti pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Tekanan tanah dalam keadaan diam (Sumber : Das, 1993)

Berdasarkan Braja M. Das, (1993) persamaanya dapat ditulis sebagai berikut:

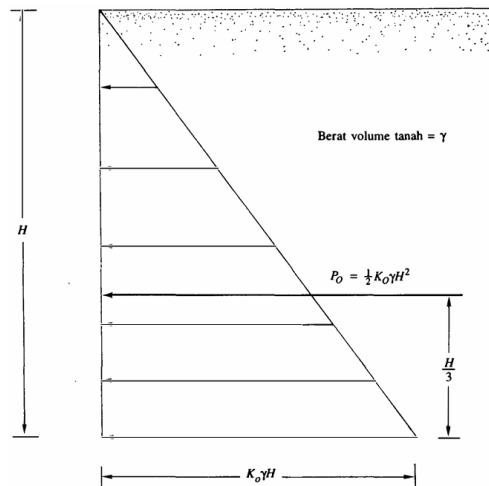
$$K_0 = \frac{\sigma_h}{\sigma_v} \dots \dots \dots 2.1$$

Karena  $\sigma_v = \gamma z$ , maka :

$$\sigma_h = K_0 (\gamma z) \dots \dots \dots 2.2$$

Gambar 2.2 menunjukkan distribusi tekanan tanah dalam keadaan diam yang bekerja pada dinding setinggi  $H$ . Gaya total per satuan lebar dinding,  $P_o$ , adalah sama dengan luas dari diagram tekanan tanah yang bersangkutan. Jadi,

$$P_o = \frac{1}{2} K_0 \gamma H^2 \dots \dots \dots 2.3$$



**Gambar 2.2** Distribusi tekanan tanah dalam keadaan diam (*at rest*) pada tembok.  
(Sumber : Das, 1993)

## 2.4.2 Teori Rankine

Rankine (1857) menyelidiki keadaan tegangan di dalam tanah yang berada pada kondisi keseimbangan plastis. Sub-bab berikut ini akan menjelaskan mengenai teori tekanan tanah menurut Rankine.

### 1. Kondisi Aktif Menurut Rankine

Teori Rankine (1857) dalam analisis tekanan tanah lateral dilakukan dengan asumsi-asumsi sebagai berikut:

- Tanah dalam kedudukan keseimbangan plastis, yaitu sembarang elemen tanah dalam kondisi tepat akan runtuh.
- Tanah urug tidak berkohesi ( $c=0$ )
- Gesekan antara dinding dan tanah urug diabaikan atau permukaan dinding dianggap licin sempurna ( $\delta=0$ ).

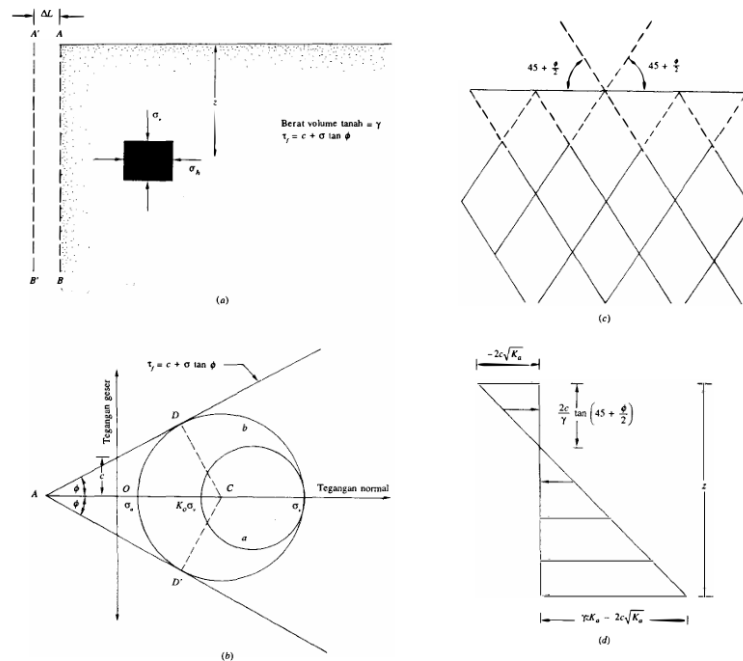
Keseimbangan plastis (*plastic equilibrium*) adalah kondisi dimana dalam tanah terjadi suatu keadaan yang menyebabkan tiap-tiap titik didalam berat tanah menuju proses ke suatu keadaan runtuh atau ambruk.

Koefisien tanah aktif menurut Rankine :

$$K_a = \tan^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right) \dots\dots\dots 2.4$$

Selanjutnya diperoleh tekanan tanah aktif dengan persamaan :

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2 \dots\dots\dots 2.5$$



**Gambar 2.3** Tekanan tanah aktif menurut Rankine.  
(Sumber : Das, 1993)

## 2. Kondisi Pasif Menurut Rankine

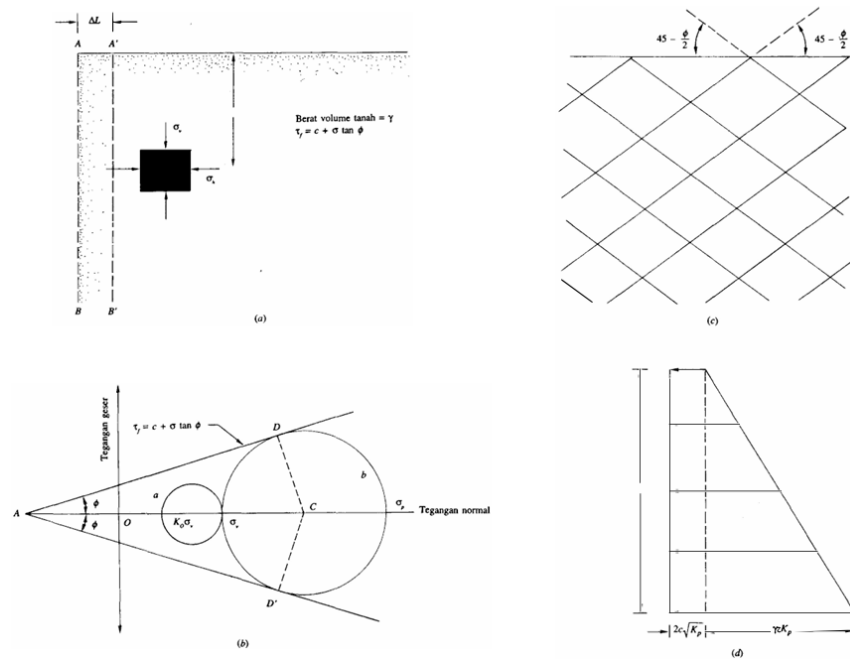
Kondisi tanah pasif menurut Teori Rankine dapat diketahui dengan melihat pada Gambar 2.4, dimana tembok ab adalah tembok licin tak terhingga. Keadaan tegangan awal pada suatu elemen tanah diwakili oleh lingkaran Mohr a dalam Gambar 2.4 b. Apabila tembok didorong secara perlahan-lahan ke arah masuk ke dalam massa tanah, maka tegangan utama  $\sigma_h$  akan bertambah secara terus menerus. Akhirnya kita akan mendapatkan suatu keadaan yang menyebabkan kondisi tegangan elemen tanah dapat diwakili oleh lingkaran Mohr b. Pada keadaan ini, keruntuhan tanah akan terjadi yang saat ini kita kenal sebagai kondisi pasif menurut Rankine (*Rankine's passive state*).

Koefisien tanah pasif menurut Rankine :

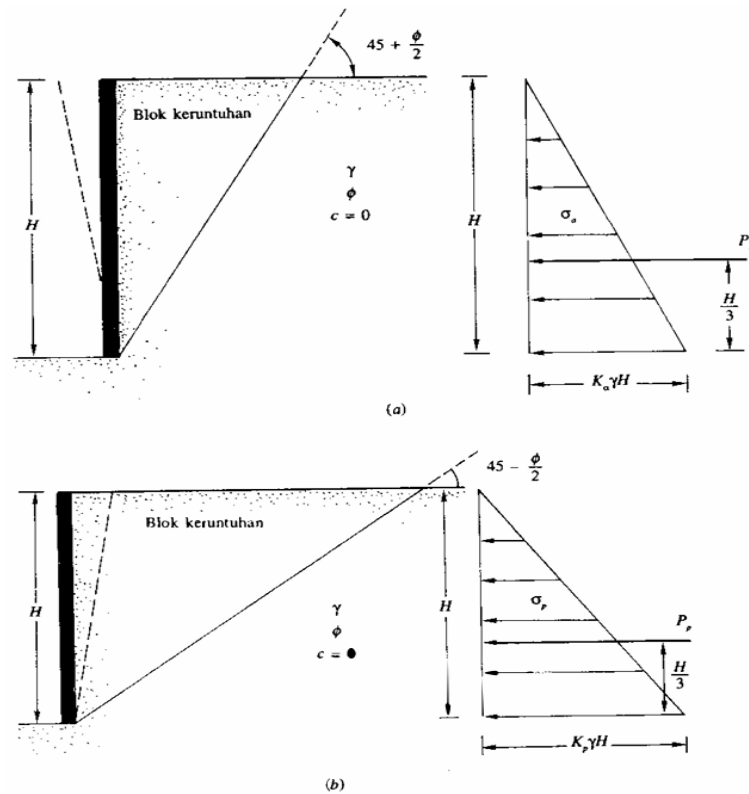
$$K_p = \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) \dots\dots\dots 2.6$$

Selanjutnya diperoleh tekanan tanah pasif dengan persamaan :

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma H^2 \dots\dots\dots 2.7$$



**Gambar 2.4** Tekanan tanah pasif menurut Rankine.  
(Sumber : Das, 1993)



**Gambar 2.5** Distribusi tekanan pada tembok untuk urugan tanah tak berkohesi ( $c = 0$ ) yang permukaannya datar; (a) Tekanan tanah aktif menurut Rankine; (b) Tekanan tanah pasif menurut Rankine. (Sumber : Das, 1993)

### 2.4.3 Teori Coulomb

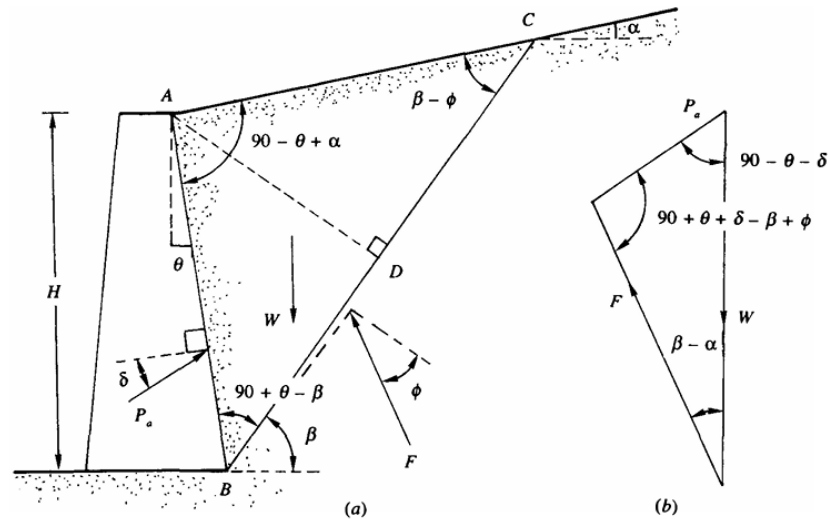
Coulomb memperkenalkan suatu gagasan atau teori tentang tekanan aktif dan pasif pada dinding penahan tanah. Coulomb menganggap bawah bidang longsor rata dalam teorinya. Selain itu, pergeseran antara tembok dan tanah di belakangnya juga dipertimbangkan. Pada prinsipnya menurut Coulomb untuk tanah yang tidak berkohesi, persamaan kekuatan gesernya dinyatakan dengan persamaan  $\tau_f = \sigma \tan \phi$ .

#### 1. Kondisi Aktif Menurut Coulomb

Dalam memperhitungkan kestabilan dari kemungkinan keruntuhan blok tanah (*failure wedge*) ABC, gaya-gaya yang diperhitungkan (per satuan lebar tembok) adalah:

- W, berat dari blok tanah

- b. F, Resultant dari gaya geser dan gaya normal pada permukaan bidang longsor, BC. Gaya resultan tersebut membuat kemiringan sebesar  $\phi$  dengan normal dari bidang BC.



**Gambar 2.6** Tekanan aktif menurut coulomb (a) blok keruntuhan yang dicoba, (b) polygon gaya. (Sumber : Das, 1993)

- c.  $P_a$ , gaya aktif per satuan lebar tembok. Arah  $P_a$  ini akan membuat sudut sebesar  $\delta$  dengan normal dari permukaan tembok yang menahan tanah.  $\delta$  adalah sudut geser antara tanah dengan tembok. Sehingga coulomb memberikan persamaan untuk tekanan tanah aktif adalah :

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2 \dots\dots\dots 2.8$$

Dimana untuk nilai koefisien aktif yaitu :

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos^2 \theta \cdot \cos(\delta + \theta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi) \cdot \sin(\phi - \alpha)}{\cos(\delta + \theta) \cdot \cos(\theta - \alpha)}} \right]^2} \dots\dots\dots 2.9$$

Perlu diketahui bahwa bila  $\alpha = 0^\circ$ ,  $\delta = 0^\circ$ , dan  $\theta = 0^\circ$ , maka koefisien tekanan tanah aktif menurut Coulomb menjadi sama dengan  $\frac{(1 - \sin \phi)}{(1 + \sin \phi)}$ , di sini harga tersebut sama dengan koefisien tekanan tanah aktif menurut Rankine.

## 2. Kondisi Pasif Menurut Coulomb

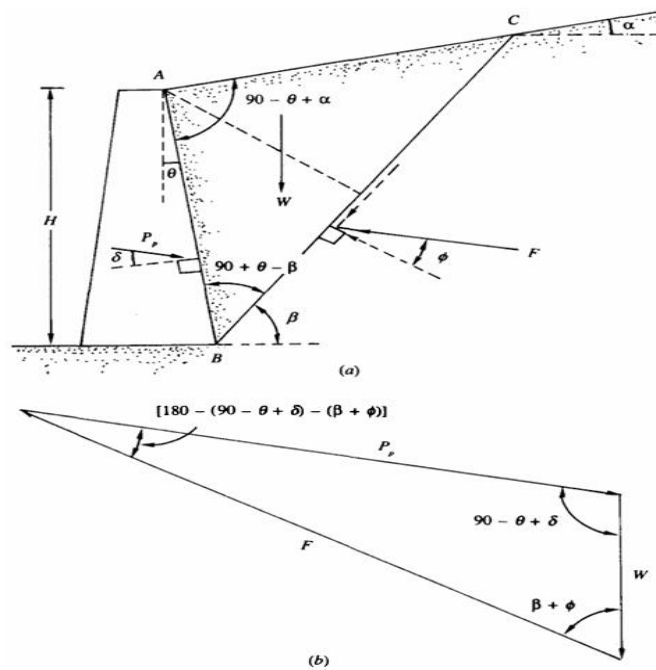
Pada kondisi pasif coulomb memberikan persamaan sebagai berikut.

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma H^2 \dots\dots\dots 2.10$$

Dimana untuk nilai koefisien pasif yaitu :

$$K_p = \frac{\cos^2(\phi + \theta)}{\cos^2 \theta \cdot \cos(\delta - \theta) \left[ 1 - \frac{\sin(\phi - \delta) \cdot \sin(\phi + \alpha)}{\cos(\delta - \theta) \cdot \cos(\alpha - \theta)} \right]^2} \dots\dots\dots 2.11$$

Untuk tembok dengan permukaan licin dan muka sebelah belakang tegak, serta permukaan tanah urugan yang datar ( $\alpha = 0^\circ$ ,  $\delta = 0^\circ$ , dan  $\theta = 90^\circ$ ), maka koefisien tekanan tanah pasif menurut Coulomb menjadi sama dengan  $\frac{(1 + \sin \phi)}{(1 - \sin \phi)}$ , di sini persamaan tersebut sama dengan koefisien tekanan tanah pasif menurut Rankine.

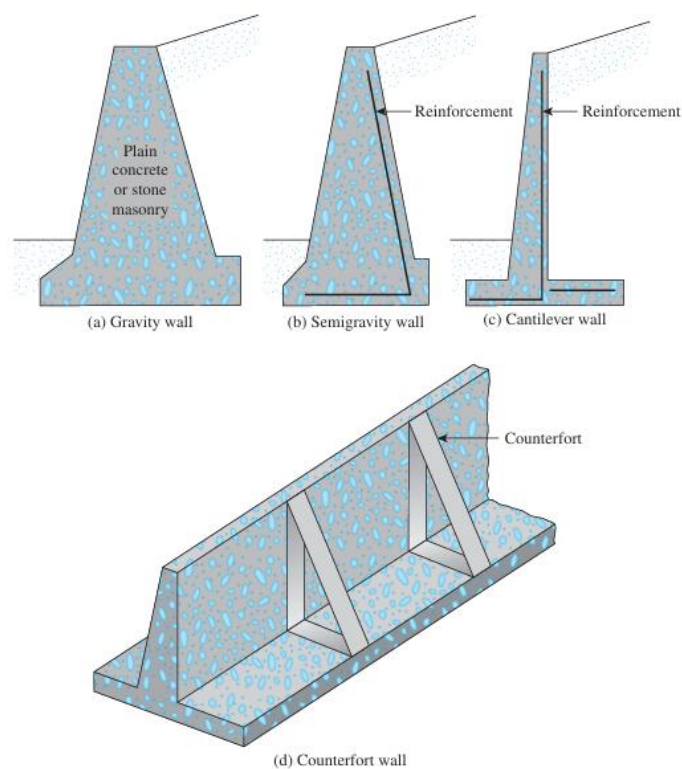


**Gambar 2.7** Tekanan pasif menurut Coulomb; (a) Blok keruntuhan yang dicoba; (b) Polygon gaya. (Sumber : Das, 1993)

## 2.5 Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah atau sering disebut *retaining wall* merupakan suatu bangunan yang memiliki fungsi untuk menstabilkan serta mengendalikan kondisi

tanah tertentu seperti keruntuhan, tanah amblas maupun longsor yang mana pada umumnya bangunan itu sendiri biasanya dibangun di daerah-daerah maupun wilayah tebing yang labil (tidak aman). Jenis konstruksi yang biasa digunakan untuk sebuah konstruksi dinding penahan tanah diantaranya ialah pasangan batu menggunakan mortar (campuran dari semen, pasir halus, serta terkadang ditambahkan kapur untuk meningkatkan ketahanannya, semua bahan tersebut dicampur dengan menggunakan bahan tambah air untuk menjadi sebuah perekat) pasangan batu kosong, beton, kayu dan sebagainya.



**Gambar 2.8** Tipe Dinding Penahan Tanah (Sumber : Das, 2016)

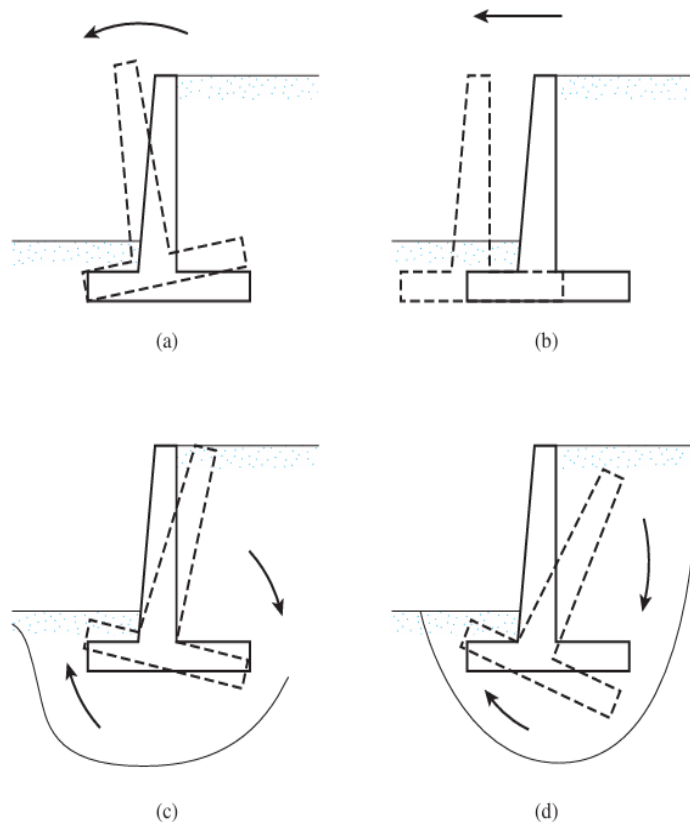
## 2.6 Stabilitas Dinding Penahan Tanah

Analisis stabilitas dinding penahan tanah dapat dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa faktor berikut ini:

1. Faktor aman terhadap stabilitas penggeseran maupun penggulingan harus memenuhi persyaratan.
2. Tekanan yang terjalin pada tanah bawah pondasi wajib tidak boleh melebihi kapasitas dukung tanah ijin tersebut.

3. Stabilitas lereng secara totalitas wajibenuhi syarat dan ketentuan.

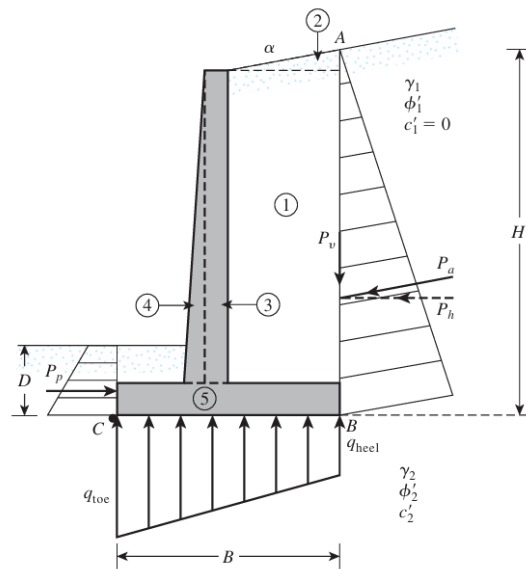
Selain itu, jika tanah dasar mudah mampat (padat), penurunan yang tidak seragam yang terjadi harus tidak boleh berlebihan. Dinding penahan tanah mungkin rusak/hancur dengan salah satu cara berikut:



**Gambar 2.9** Kegagalan pada Dinding Penahan Tanah; (a). Guling, (b). Geser, (c). Keruntuhan tanah, (d). Pergeseran yang mendalam. (Sumber : Das, 2016)

### 2.6.1 Stabilitas Terhadap Guling

Tekanan tanah lateral yang disebabkan oleh tanah yang diurug di belakang dinding penahan tanah dapat menyebabkan dinding mengguling dengan pusat rotasi di ujung kaki depan pelat pondasi.



**Gambar 2.10** Pemeriksaan stabilitas terhadap penggulingan, dengan asumsi bahwa tekanan rankine berlaku. (Sumber : Das, 2016)

Selain momen akibat berat bangunan penahan sendiri, momen penggulingan ini diimbangi oleh momen akibat berat tanah di atas pelat fondasi. Didasarkan pada asumsi bahwa tekanan aktif bekerja sepanjang bidang vertikal AB ditarik melalui tumit struktur tersebut, gaya-gaya yang bekerja pada dinding penahan tanah digambarkan dalam Gambar 2.10.

Faktor keamanan terhadap penggulingan (overturning) di kaki dinding yaitu terhadap titik C dalam Gambar 3.10, dapat dinyatakan sebagai Persamaan 2.12

$$FS_{(guling)} = \frac{\sum M_R}{\sum M_O} \dots\dots\dots 2.12$$

Dimana :

$\sum M_O$  = penjumlahan momen-momen dari gaya-gaya yang cenderung menggulingkan terhadap titik C

$\sum M_R$  = penjumlahan momen-momen dari gaya-gaya yang cenderung untuk melawan atau menahan terhadap titik C

Momen pengguling dituliskan pada persamaan 2.13

$$\sum M_O = P_a \left( \frac{H'}{3} \right) \dots\dots\dots 2.13$$

Dimana :

$P_a$  = Tekanan Tanah Aktif

$H'$  = Tinggi bidang vertikal AB

Untuk menghitung momen penahan,  $\Sigma M_R$  (Nilai  $P_p$  diabaikan), dapat dilihat pada Tabel 2.2. Berat tanah di atas tumit dan berat beton atau pasangan batu adalah kedua gaya yang berkontribusi sebagai momen penahan.

**Tabel 2.2** Prosedur untuk menghitung  $\Sigma M_R$

| Segmen | Luas<br>( $m^2$ ) | Berat<br>(kg/m)             | Lengan momen<br>dari titik C<br>(m) | Momen tahanan<br>di titik C<br>(kg.m/m) |
|--------|-------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|
| 1      | A1                | $W_1 = \gamma_c \times A_1$ | X1                                  | M1                                      |
| 2      | A2                | $W_2 = \gamma_c \times A_2$ | X2                                  | M2                                      |
| 3      | A3                | $W_3 = \gamma_c \times A_3$ | X3                                  | M3                                      |
| 4      | A4                | $W_4 = \gamma_c \times A_4$ | X4                                  | M4                                      |
| 5      | A5                | $W_5 = \gamma_c \times A_5$ | X5                                  | M5                                      |
|        |                   | $\Sigma V$                  |                                     | $\Sigma M_R$                            |

Catatan:

$\gamma_c$  = berat volume beton atau pasangan batu

$X_i$  = jarak horisontal antara titik C dan pusat massa dari tiap bagian

(Sumber : Das, 2016)

Contoh perhitungan momen tahanan dengan melihat pada gambar 2.10 dimana tiap bagian bangunan dibagi kedalam beberapa Segmen.

Pada Segmen 5 dimisalkan  $B = 5$  m dan tinggi = 1 m sehingga luasan segmen tersebut adalah  $(A_5) = 5 m^2$ .

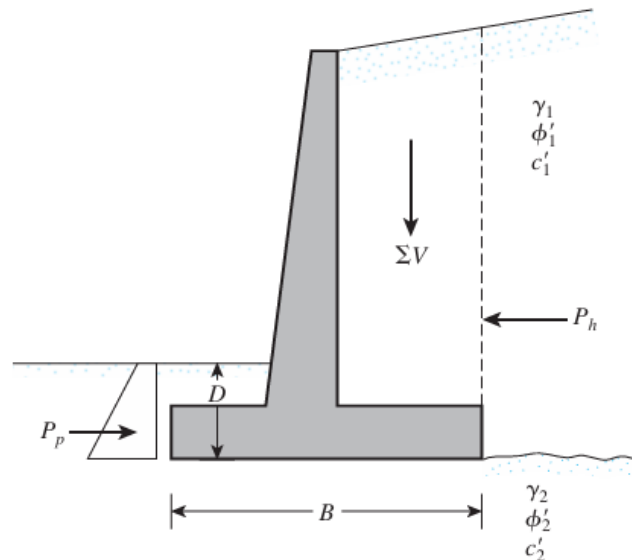
Selanjutnya berat segmen tersebut dapat ditentukan dengan mengalikan luasan dengan berat isi material bangunan tersebut, dimisalkan berat segmen 5 ( $W_5$ ) adalah = 10 kg/m. Dikarenakan  $B = 5$  meter maka lengan momen dari titik C terhadap segmen tersebut adalah  $X_5 = 2,5$  meter.

Sehingga momen tahanan pada bagian 5 ( $M_5$ ) adalah  $W_5 \times X_5 = 25$  kg.m/m.

### 2.6.2 Stabilitas Terhadap Geser

Pada dinding penahan tanah gaya-gaya yang dapat menggeser dinding penahan tanah akan ditahan oleh beberapa hal yaitu:

1. Gesekan antara tanah dengan dasar pondasi.
2. Tekanan tanah pasif jika berada di depan dinding penahan tanah terdapat tanah timbunan.



**Gambar 2.11** Pemeriksaan stabilitas terhadap penggeseran sepanjang dasar dinding penahan tanah. (Sumber : Das, 2016)

Berdasarkan Gambar 2.11 di atas, faktor keamanan terhadap penggeseran dapat dinyatakan oleh Persamaan 2.14.

$$FS_{(geser)} = \frac{\sum F_R}{\sum F_d} \dots\dots\dots 2.13$$

Dimana :

$\sum F_R$  =Penjumlahan dari gaya-gaya penahan horizontal

$\sum F_d$  =Penjumlahan gaya-gaya yang penggerak horizontal

Gambar 2.11 menunjukkan bahwa tekanan pasif  $P_p$  juga merupakan gaya penahan horisontal, karenanya  $\sum F_R$  menjadi Persamaan 2.14.

$$\sum F_{R'} = (\sum V)\tan\delta' + B c'_a + P_p \dots\dots\dots 2.14$$

Satu-satunya gaya horisontal yang cenderung untuk menyebabkan dinding menggeser (sebuah gaya penggerak) adalah tekanan aktif  $P_a$  pada Persamaan 2.15.

$$\sum F_d = P_a \dots\dots\dots 2.15$$

Mengkombinasikan Persamaan 2.13, 2.14, dan 2.15 menghasilkan Persamaan 2.16 dibawah ini.

$$FS_{(geser)} = \frac{(\Sigma V) \tan \delta' + B c'a + Pp}{Pa} \dots\dots\dots 2.16$$

Dalam beberapa kasus, tekanan pasif  $Pp$  diabaikan dalam menghitung faktor keamanan sehubungan dengan penggeseran. Secara umum,  $\delta'$  dan  $c'a$  berturutan dapat ditulis sebagai  $\delta' = k_1 \phi'^2$  dan  $c'a = k_2 c'^2$ . Umumnya,  $k_1$  dan  $k_2$  adalah pada rentang dari  $\frac{1}{2}$  sampai  $\frac{2}{3}$ , sehingga dapat dinyatakan dalam Persamaan 2.17.

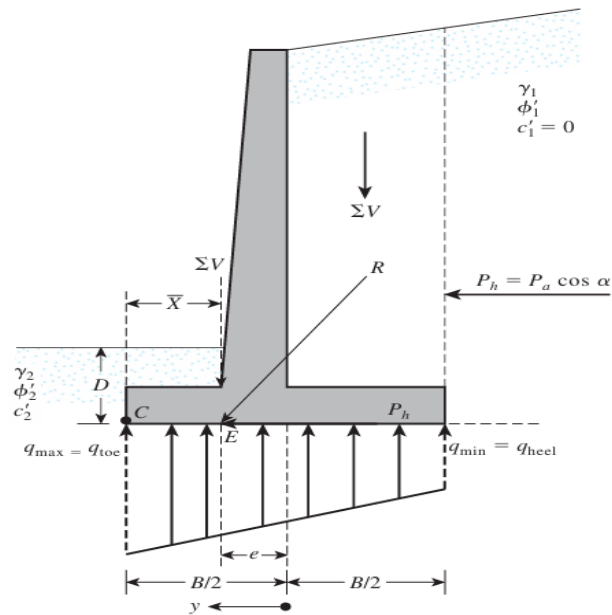
$$FS_{(geser)} = \frac{(\Sigma V) \tan(k_1 \phi'^2) + B c'a + Pp}{Pa} \dots\dots\dots 2.17$$

Keterangan,

|                 |                                                   |
|-----------------|---------------------------------------------------|
| $\Sigma V$      | = Penjumlahan gaya-gaya vertikal                  |
| $k_1, k_2$      | = Konstanta                                       |
| $c'^2, \phi'^2$ | = Kohesi dan sudut gesek tanah efektif, berurutan |
| $B$             | = Lebar dasar slab                                |
| $Pa$            | = Tekanan tanah aktif total                       |
| $Pp$            | = Tekanan tanah pasif total                       |

### 2.6.3 Stabilitas Terhadap Keruntuhan Kapasitas Dukung Tanah

Tekanan vertikal ditransmisikan ke tanah oleh dasar slab dari dinding penahan harus diperiksa terhadap kapasitas daya dukung ultimit tanah. Sifat variasi dari tekanan vertikal yang ditransmisikan oleh dasar slab ke dalam tanah diperlihatkan dalam Gambar 2.12.



**Gambar 2.12** Pemeriksaan Stabilitas terhadap Kegagalan Kapasitas Daya Dukung Tanah. (Sumber : Das, 2016)

Catatan bahwa  $q_{\text{kaki}}$  dan  $q_{\text{tumit}}$  adalah tekanan maksimum dan minimum yang terjadi di ujung bagian kaki dinding dan tumit dinding, berturut-turut. Besarnya  $q_{\text{kaki}}$  dan  $q_{\text{tumit}}$  dapat ditentukan dengan cara berikut ini.

Distribusi tekanan di bawah dasar slab dapat ditentukan dengan menggunakan prinsip-prinsip sederhana dari mekanika material. Pertama, kita memiliki Persamaan 2.18.

$$q = \frac{\Sigma V}{A} \pm \frac{M_{\text{net}} y}{I} \dots\dots\dots 2.18$$

Dengan,

$M_{\text{net}}$  = Momen netto =  $(\Sigma V) e$

$I$  = Momen inersia per satuan panjang dari bagian dasar dinding

$$= \frac{1}{12}(1)(B^3)$$

Untuk tekanan maksimum dan minimum, nilai dari  $y$  dalam Persamaan 2.18 sama dengan  $B/2$ . Substitusi ke Persamaan 2.18, sehingga menghasilkan persamaan:

$$q_{\max} = q_{\text{kaki}} = \frac{\Sigma V}{(B)(1)} + \frac{e(\Sigma V)\frac{B}{2}}{(\frac{1}{12})(B^3)} = \frac{\Sigma V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B}\right) \dots\dots\dots 2.19$$

Sama halnya dengan Persamaan 2.20.

$$q_{\min} = q_{\text{tumpit}} = \frac{\Sigma V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B}\right) \dots\dots\dots 2.20$$

Dimana,

$q_{\max} = q_{\text{kaki}}$  = Tekanan maksimum yang terjadi di ujung bagian kaki dinding

$q_{\min} = q_{\text{tumpit}}$  = Tekanan minimum yang terjadi di ujung bagian tumpit dinding

$\Sigma V$  = Penjumlahan gaya-gaya vertikal

$B$  = Lebar dasar slab

$e$  = Eksentrisitas  $\left(e = \frac{B}{2} - \frac{\Sigma M_R - \Sigma M_o}{\Sigma V}\right)$

Menurut Meyerhof (1956), menyarankan formulasi untuk menentukan tegangan ijin dari  $q_c$  agar tidak melebihi settlement ijin (25 mm). Rumus ini berdasarkan pada kurva Terzaghi dan Peck (Hardiyatmo, 1996).

$$q_{all} = \frac{q_c}{50} \left(\frac{B+0,3}{B}\right)^2 \dots\dots\dots 2.21$$

Dimana :

$q_c$  = adalah tahanan konus yang nilainya diambil dari nilai rata-rata pada kedalaman 0 sampai  $B$  dari dasar pondasi.

#### 2.6.4 Pemeriksaan stabilitas dinding dan faktor keamanan minimum

Berdasarkan SNI 8460:2017, Setiap dinding penahan tanah harus diperiksa stabilitasnya terhadap guling, geser lateral, dan daya dukung. Faktor keamanan yang disyaratkan adalah sebagai berikut:

1. Faktor keamanan terhadap guling minimum 2.
2. Faktor keamanan terhadap geser lateral minimum 1,5
3. Faktor keamanan terhadap daya dukung minimum 3
4. Faktor keamanan terhadap gempa minimum 1,1.

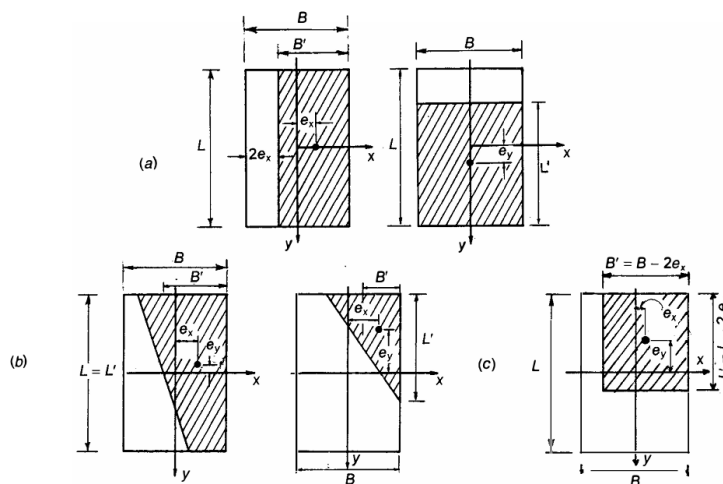
Sedangkan menurut Braja M. Das faktor keamanan minimum terhadap stabilitas dinding penahan tanah adalah :

1. Faktor keamanan terhadap guling 2 - 3.

2. Faktor keamanan terhadap geser 1,5
3. Faktor keamanan terhadap daya dukung 3

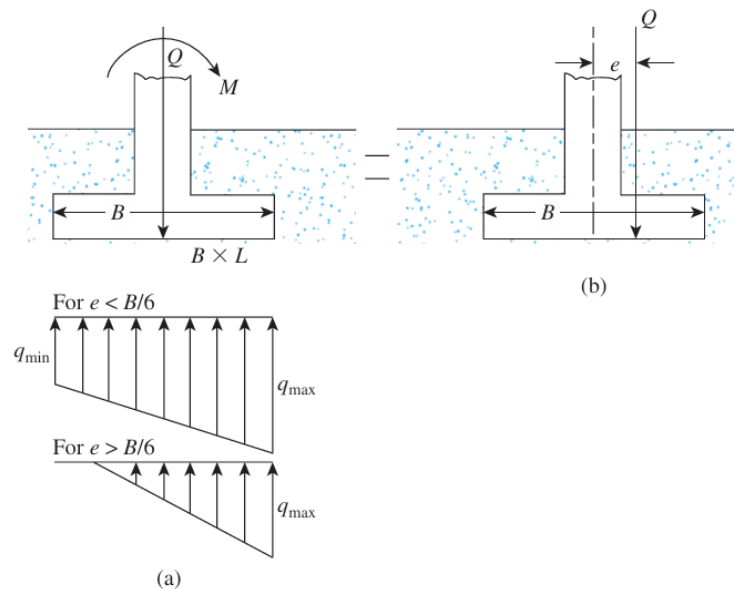
## 2.7 Eksentrisitas Pada Pondasi

Dalam kasus di mana pondasi menerima momen selain beban vertikal, atau jika beban vertikal yang bekerja mempunyai eksentrisitas terhadap titik pusat pondasi, dapat terjadi pembebanan yang tidak sentris pada pondasi. Meyerhof (1953) membagi pengaruh eksentrisitas beban terhadap kapasitas dukung pondasi segi empat menjadi 3 (tiga) bagian untuk perhitungan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13.



**Gambar 2.13** Area kontak efektif, (a) Eksentrisitas satu arah, (b) Eksentrisitas dua arah, (c) Eksentrisitas dua arah disederhanakan (Meyerhof, 1953). (Sumber : Hardiyatmo, 1996)

Pada Gambar 2.14 terlihat pengaruh eksentrisitas beban satu arah pada pondasi segiempat terhadap distribusi tekanan tanah dan dimensi efektif pondasi.



**Gambar 2.14** Detail pengaruh eksentrisitas beban satu arah pada pondasi segi empat. (Sumber : Das, 2016)

Sehingga, Distribusi tekanan dibawah pondasi adalah:

$$q_{max} = \frac{Q}{BL} + \frac{6M}{B^2L} \dots\dots\dots 2.22$$

$$q_{min} = \frac{Q}{BL} - \frac{6M}{B^2L} \dots\dots\dots 2.23$$

Dimana :

Q = Total beban vertikal

M = Momen yang terjadi pada pondasi

Dari Gambar 2.14 Menunjukkan system pembebanan yang sama dengan Gambar , maka jarak e adalah:

$$e = \frac{M}{Q} \dots\dots\dots 2.24$$

Dengan mensubstitusikan rumus 2.24, ke dalam rumus 2.22 dan rumus 2.23 maka eksentrisitas yaitu :

$$q_{max} = \frac{Q}{BL} \left( 1 + \frac{6e}{B} \right) \dots\dots\dots 2.26$$

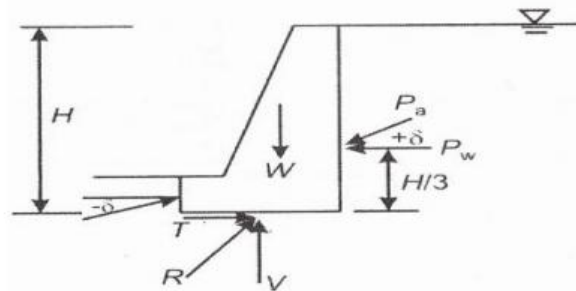
$$q_{min} = \frac{Q}{BL} \left( 1 - \frac{6e}{B} \right) \dots\dots\dots 2.27$$

Ketika nilai dari eksentrisitas e sama dengan B/6, q<sub>min</sub> adalah 0. Dan jika e lebih besar dari B/6 , q<sub>min</sub> bernilai negatif. Jadi, akan ada beberapa tegangan tarik di ujung bagian tumit dinding.

## 2.8 Beban Yang Bekerja Pada Dinding Penahan Tanah

Menurut Hary Christady Hardiyatmo (2011), analisis sistem struktur harus mempertimbangkan gaya-gaya yang bekerja pada dinding penahan tanah untuk keperluan desain diantaranya yaitu :

1. Berat sendiri Dinding penahan tanah ( $W$ ),
2. Gaya tekanan tanah aktif total tanah urug ( $P_a$ ),
3. Gaya tekanan tanah pasif total di depan dinding ( $P_p$ ),
4. Tekanan air pori di dalam tanah ( $P_w$ ),
5. Reaksi tanah dasar ( $R$ ).



**Gambar 2.15** Gaya – gaya yang bekerja pada dinding penahan tanah  
(Sumber : Hardiyatmo, 2014)

Beban adalah sebuah gaya yang dipikul oleh struktur bangunan. Jenis-jenis beban yang bekerja pada bangunan struktur antara lain beban mati, beban hidup dan beban gempa.

## 2.9 Beban Gempa Pada Dinding Penahan Tanah

Berdasarkan Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air dalam standar perencanaan irigasi parameter bangunan KP-06, percepatan gempa dapat ditentukan berdasarkan rumus berikut ini:

$$a_d = Z \times a_c \times v \dots\dots\dots 2.24$$

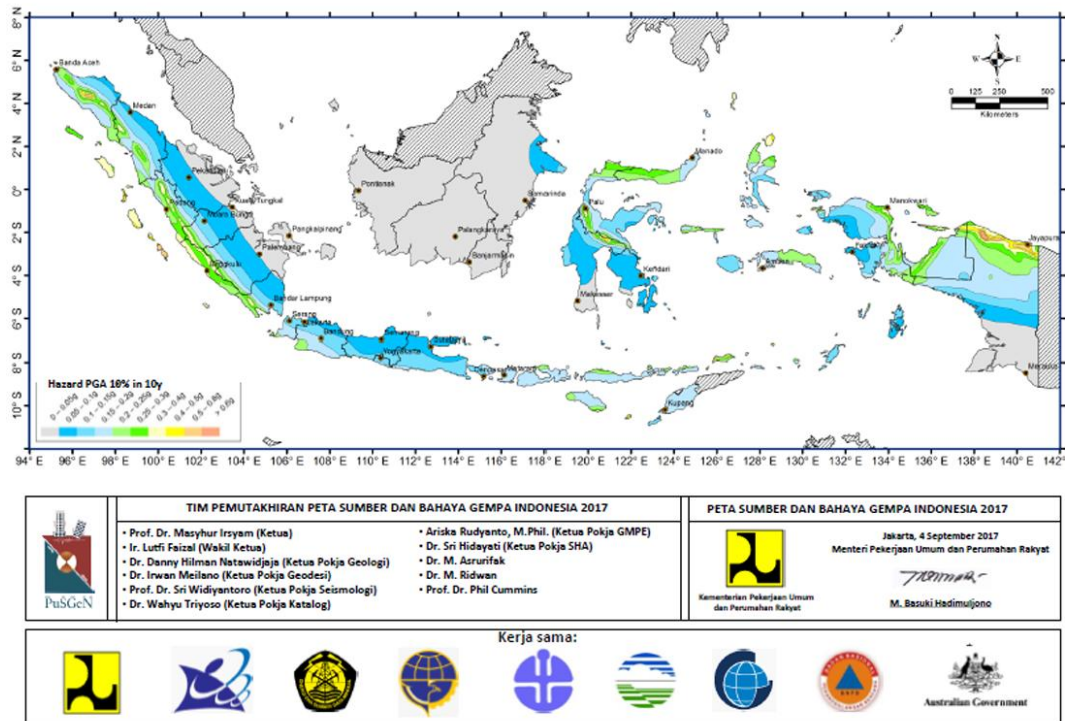
Dengan:

- $a_d$  = Percepatan gempa desain ( $\text{cm}/\text{dt}^2$ )  
 $a_c/S_B$  = Percepatan gempa dasar ( $\text{cm}/\text{dt}^2$ )  
 $Z$  = Koefisien zona gempa (0,9 – 1,20)  
 $G$  = Gravitasi ,  $\text{cm}/\text{dt}^2$  (980  $\text{cm}/\text{dt}^2$ )

V = Faktor Koreksi pengaruh jenis tanah setempat

E =  $\frac{ad}{g}$  (koefisien gempa)

Peta percepatan puncak di batuan dasar ( $S_B$ ) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 10 tahun



Gambar 2.16 Peta Percepatan Gempa Dasar

Tabel 2.3 Faktor koreksi pengaruh jenis tanah setempat

| No. | Jenis tanah                                                                                                                                           | Periode Predominan TS (detik) | Koreksi V |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------|
| 1   | Batuan:<br>a) Perlapisan terbentuk sebelum periode kuarter disebut batuan;<br>b) Lapisan aluvial diatas lapisan batuan dengan tebal kurang 10m        | $T_s \leq 0,25$               | 0,80      |
| 2   | Aluvium:<br>a) Lapisan aluvial diatas lapisan batuan dengan tebal lebih dari 10 m;<br>b) Lapisan aluvial diatas lapisan batuan tebal kurang dari 10 m | $0,25 < T_s \leq 0,50$        | 1,00      |
| 3   | Aluvium :                                                                                                                                             | $0,25 < T_s \leq 0,50$        | 1,10      |
| 4   | Aluvium Lunak :                                                                                                                                       | $T_s \geq 0,75$               | 1,20      |

Catatan :

- (1) Yang termasuk dalam lapisan dialuvial adalah lapisan pasirpadat; kerikil bongkahan; lempung keras;
- (2) Yang termasuk lapisan aluvial adalah lapisan endapan baru seperti endapan sungai; longsor;

(Sumber : KP-06, 2013)

### 2.9.1 Gaya dan Momen Gempa

Gaya dan momen gempa adalah gaya dan momen yang bekerja diakibatkan terjadinya gempa bumi. Gaya dan momen gempa dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

Gaya Gempa :

$$G = W \times E \dots\dots\dots 2.25$$

Momen Gempa :

$$MG = G \times \text{Lengan Momen terhadap dasar bangunan} \dots\dots\dots 2.26$$

Dimana :

$G$  = Gaya Gempa (ton)

$W$  = Berat Bangunan (ton/m)

$E$  = Koefisien Gempa

$MG$  = Momen Gempa (ton.m)

Kriteria angka keamanan minimal yang harus dipenuhi menurut persyaratan *AASHTO Design Method For Reinforced Earth Structures Subject to Seismic Forces* (1995), ditunjukkan pada Tabel 2.4 di bawah ini.

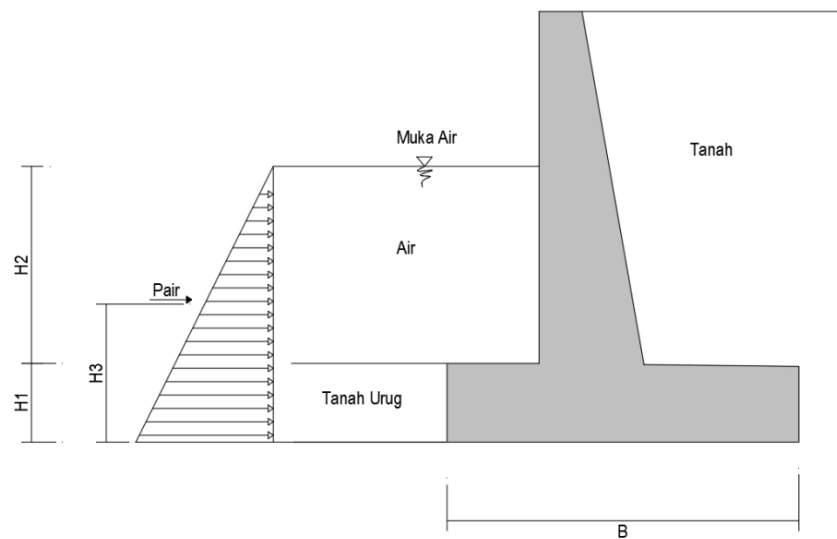
**Tabel 2.4** Persyaratan Angka Keamanan Minimal terhadap Gaya Gempa

| Jenis Angka Keamanan | Persyaratan <i>AASHTO Design Method</i> (1995) |
|----------------------|------------------------------------------------|
| SF Guling            | 1,5                                            |
| SF Geser             | 1,1                                            |
| SF Daya Dukung       | 1                                              |

(Sumber : *AASHTO Design Method For Reinforced Earth Structures Subject to Seismic Forces*, 1995)

## 2.10 Tekanan Hidrostatik

Gaya tekan air atau gaya hidrostatik adalah gaya horisontal akibat air di hulu dan hilir bendung. Tekanan hidrostatik adalah fungsi kedalaman di bawah permukaan air, dan bekerja tegak lurus terhadap muka bangunan.



**Gambar 2.17** Tekanan Hidrostatik Pada Bangunan

Tekanan hidrostatik dapat dihitung menggunakan rumus:

$$P_{\text{air}} = \frac{1}{2} \cdot H'^2 \cdot \gamma_w \dots\dots\dots 2.27$$

Momen yang bekerja pada tekanan hidrostatik dapat dihitung dengan mengkalikan tekanan hidrostatik dengan titik tangkap gaya air, yaitu  $H/3$  dari tinggi air.

$$M_{\text{air}} = P_{\text{air}} \cdot \frac{H'}{3} \dots\dots\dots 2.28$$

Dengan :

$P_{\text{air}}$  = Tekanan air aktif (kN/m)

$H'$  = Tinggi muka air terhadap dasar bangunan (m)

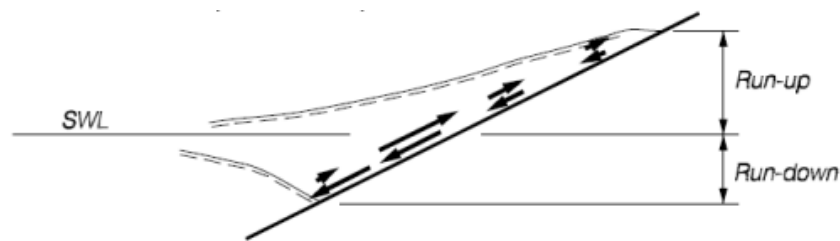
$M_{\text{air}}$  = Momen tekanan air (kNm)

$\gamma_w$  = Berat volume air (kN/m<sup>3</sup>)

## 2.11 Run Up dan Run Down Gelombang

Saat gelombang bergerak menuju pantai dan membentur kemiringan bangunan pelindung pantai atau garis pantai, sebagian energi gelombang diubah menjadi gerakan air yang meluncur ke lereng bangunan. Ini dikenal sebagai runup

gelombang. Tinggi runup dan rundown diukur secara vertikal dari muka air rerata setelah gelombang mencapai elevasi maksimumnya. Rundown akan berlanjut sampai runup dari gelombang berikutnya atau rundown mencapai lembah gelombang berikutnya.



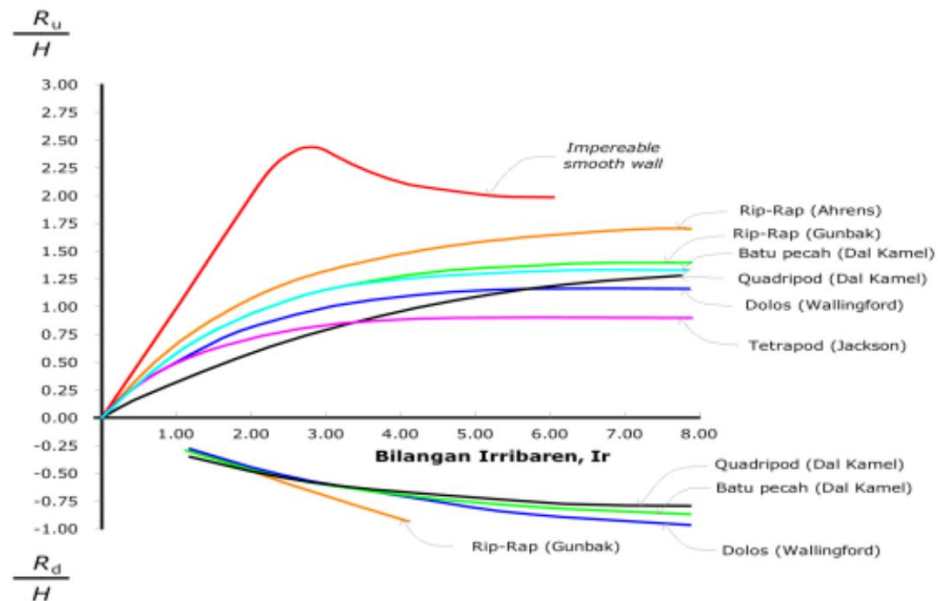
**Gambar 2.18** Ilustrasi Run-up dan Run-down Gelombang (Burcharth, 1993)

Telah banyak penelitian yang dilakukan tentang runup gelombang. Hasil penelitian diperoleh grafik yang dapat digunakan untuk menentukan tinggi runup gelombang. Grafik berikut menunjukkan hasil percobaan di laboratorium berupa nilai Iribarren untuk menentukan tinggi runup gelombang pada bangunan dengan permukaan miring untuk berbagai jenis material. Nilai Iribarren dihitung untuk masing-masing jenis lapis lindung, dan bentuknya adalah sebagai berikut:

$$I_r = \frac{tg\theta}{\left(\frac{H}{L_0}\right)^{0.5}} \dots\dots\dots 2.29$$

Dengan :

- $I_r$  = Bilangan Iribarren
- $\theta$  = Sudut kemiringan sisi pemecah gelombang
- $H$  = Tinggi gelombang di Lokasi bangunan
- $L_0$  = Panjang gelombang dilaut dalam ( $L_0 = 1,56.T^2$ )
- $T$  = Periode gelombang



**Gambar 2.19** Grafik Run-up dan Run-down Gelombang (Triatmodjo,1999)

Grafik di atas dapat juga digunakan untuk menghitung rundown ( $R_d$ ) yaitu turunnya permukaan air karena gelombang pemecah pada sisi bangunan pantai. Selain itu, grafik tersebut mempunyai bentuk tak berdimensi untuk runup relatif  $R_u/H$  sebagai fungsi dari bilangan Iribarren, dimana  $R_u$  dan  $R_d$  adalah runup dan rundown yang dihitung dari muka air laut rerata. Selanjutnya berdasarkan nilai tinggi rundown di hitung gaya tarik yang dianggap memberikan pengaruh untuk terjadinya guling dan geser pada bangunan dengan persamaan berikut:

$$F_d = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot Y_w \cdot A \cdot v^2 \dots\dots\dots 2.30$$

Selanjutnya untuk menghitung momen akibat gaya tarik digunakan persamaan sebagai berikut:

$$M_d = F_d \cdot \text{Lengan momen} \dots\dots\dots 2.31$$

Dengan :

$F_d$  = Gaya Tarik (ton/m)

$C_d$  = Koefisien kekasaran (0.7-1.2)

$y_w$  = Berat jenis air laut (1.03 ton/m<sup>3</sup>)

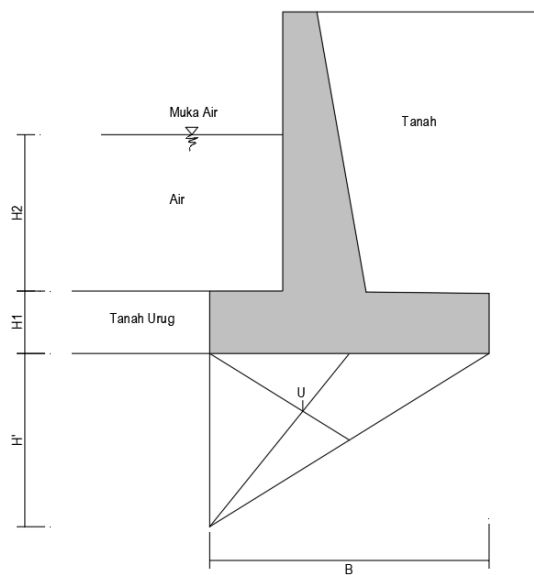
$A$  = Luas penampang bangunan yang terkena aliran (m<sup>2</sup>)

$v$  = Kecepatan aliran (m/s)

$M_d$  = Momen akibat gaya tarik (ton.m/m)

## 2.12 Gaya Angkat (*Uplift*)

Pada konstruksi-konstruksi di daerah yang tergenang air atau muka air tanah yang tinggi, maka akan terjadi tekanan hidrostatik yang mengurangi besarnya angka keamanan (SF). Tekanan air akan mempengaruhi gaya vertikal dan menyebabkan tahanan terhadap guling semakin kecil, sehingga kemungkinan terjadinya guling semakin tinggi begitupun dengan geser.



**Gambar 2.20** Gaya Angkat (*Uplift*)

Gaya angkat (*uplift*) dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$U = \frac{1}{2} \cdot B \cdot H' \cdot \gamma_w \dots \dots \dots 2.32$$

Momen yang bekerja akibat gaya uplift :

$$Mu = U \cdot \text{Lengan Momen} \dots \dots \dots 2.33$$

Dimana :

U = Gaya angkat/ uplift (kN/m)

B = Lebar dinding (m)

H' = Tinggi muka air terhadap dasar bangunan (m)

$\gamma_w$  = Berat volume air (kN/m<sup>3</sup>)

Mu = Momen uplift (kN.m)

## 2.13 Metode Analisis GEO5

GEO5 adalah perangkat lunak (*software*) yang digunakan dalam bidang geoteknik dan lingkungan dengan menerapkan prinsip ilmu bumi untuk memecahkan masalah yang berkaitan dengan tanah. Perangkat lunak ini mencakup hal-hal seperti penyelidikan tanah dan memungkinkan hasil perhitungan dan analisis yang mudah dan cepat untuk kasus geoteknik yang kompleks.

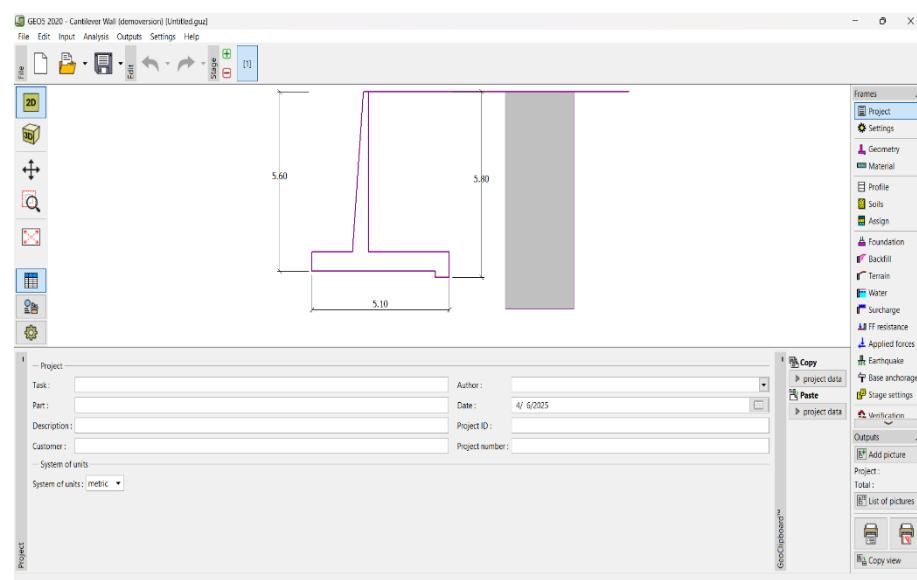
Geo5 menggunakan metode analisis dan metode *limit equilibrium* (LEM) serta metode *finite element method* (FEM) untuk menganalisis masalah geoteknik. Analisis yang dapat digunakan dalam perangkat lunak (*software*) GEO5 meliputi analisis stabilitas dinding penahan tanah, desain pondasi, analisis penurunan pada tanah, dan masih banyak lagi (Kisworo, 2015).

### 2.13.1 Contoh penggunaan program GEO5

Pada tampilan awal layar kita bisa melihat beberapa tools yang ada pada bagian kanan maupun kiri dan atas layar. Pada software ini bagian yang perlu diperhatikan ada pada tool di sisi kanan layar. Berikut tampilan awal pada program GEO5.

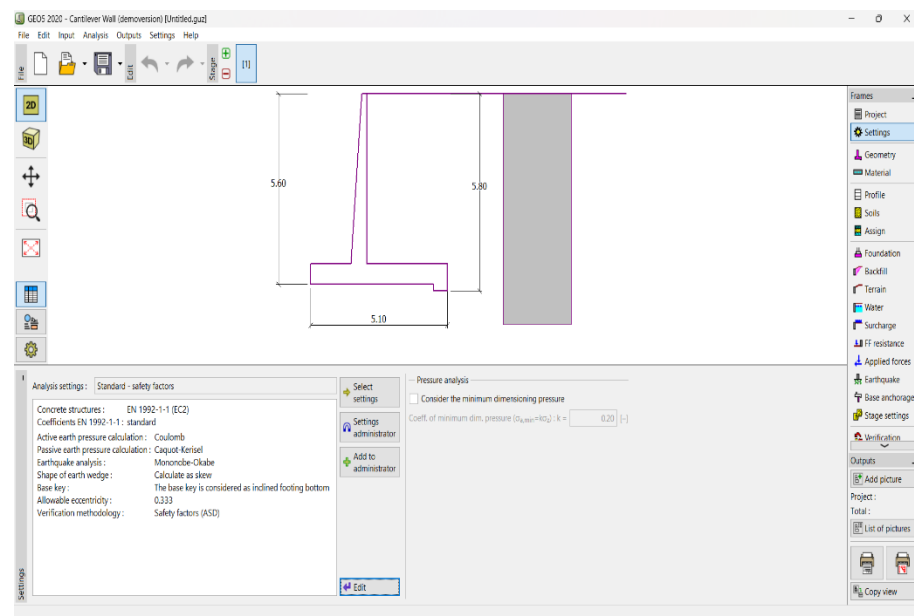
#### 1. Project

Pada bagian ini digunakan untuk mengisi beberapa hal terkait pekerjaan yang ingin kita lakukan dengan mengisi pada dialog box.



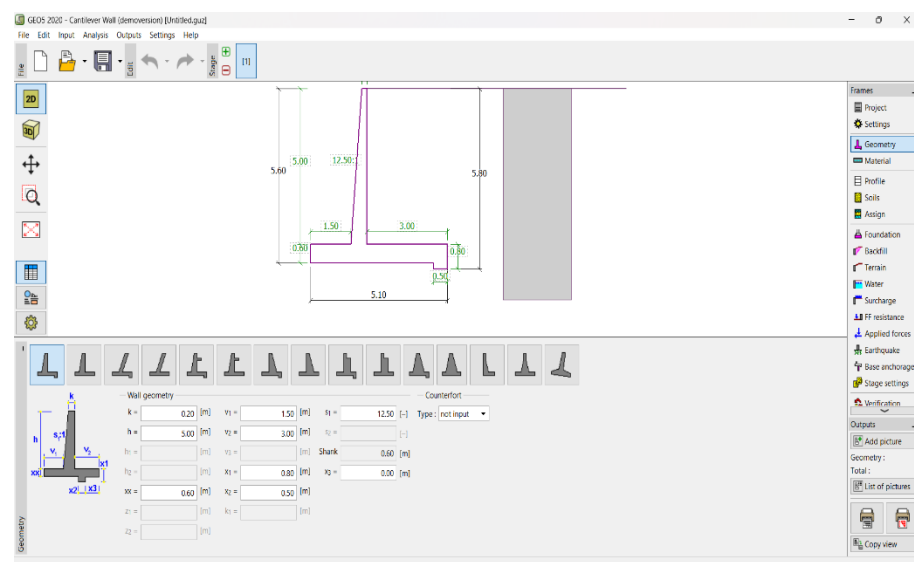
## 2. Settings

Tools setting disini berguna untuk mengatur standar-standar dan acuan yang ingin digunakan. Klik pada bagian edit untuk merubah acuan material and standard serta *wall analysis*.



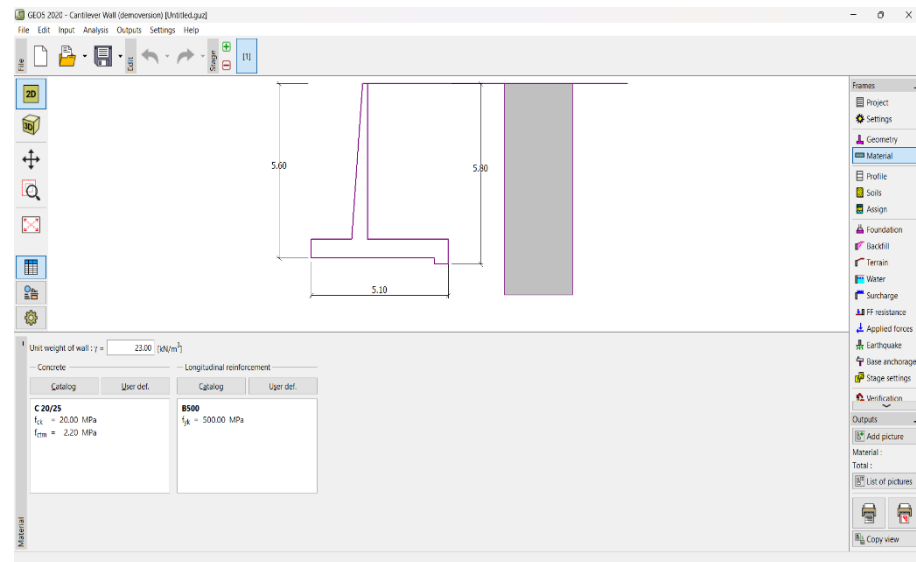
## 3. Geometry

Tools geometry digunakan menentukan tipe dan ukuran dari konstruksi yang akan dianalisis.



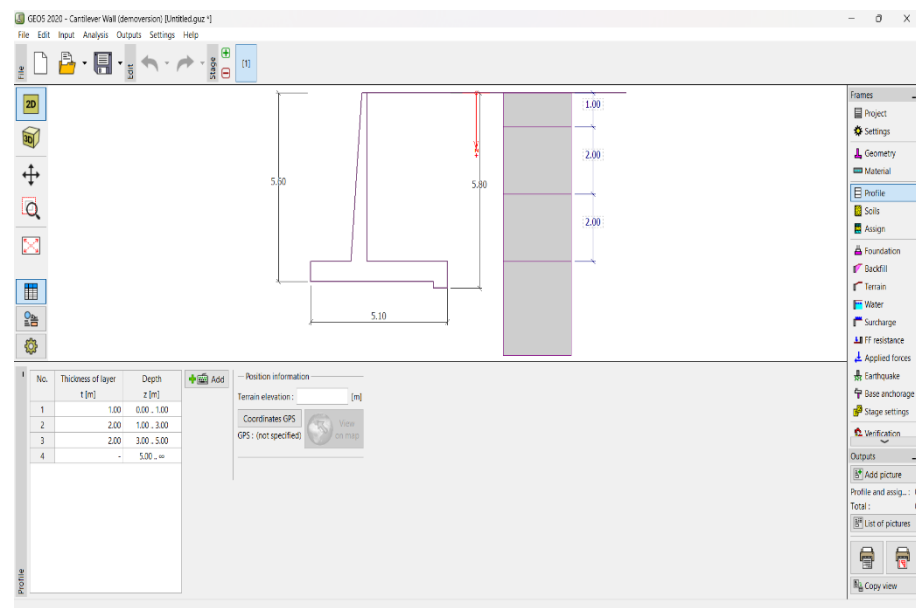
#### 4. Material

*Tools* ini berguna untuk mengatur parameter dari material yang akan digunakan dengan mengganti nilai-nilai pada dialog box sesuai dengan tembok yang akan dianalisis.



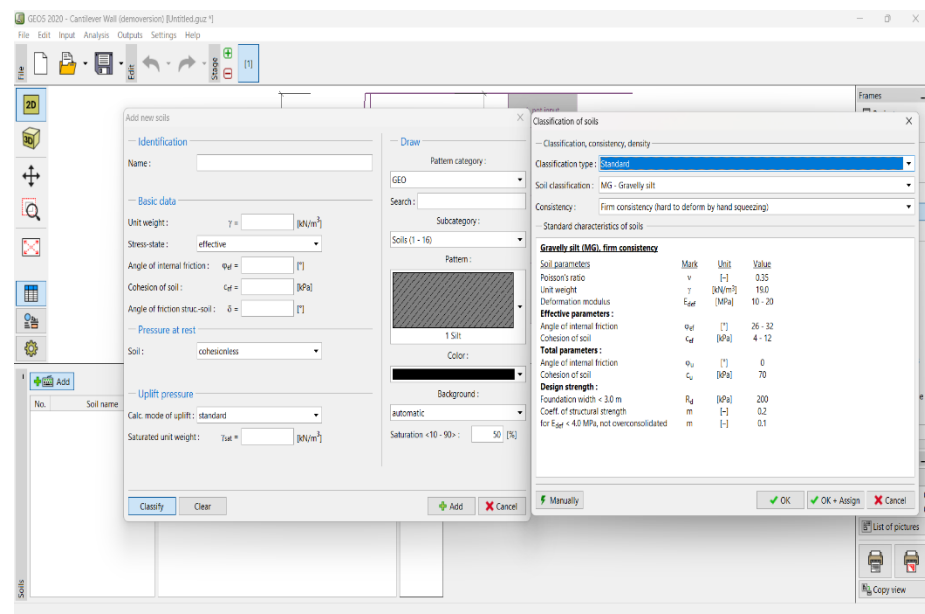
#### 5. Profile

*Tools* untuk menentukan kedalaman dari tiap jenis tanah yang ada pada tembok.



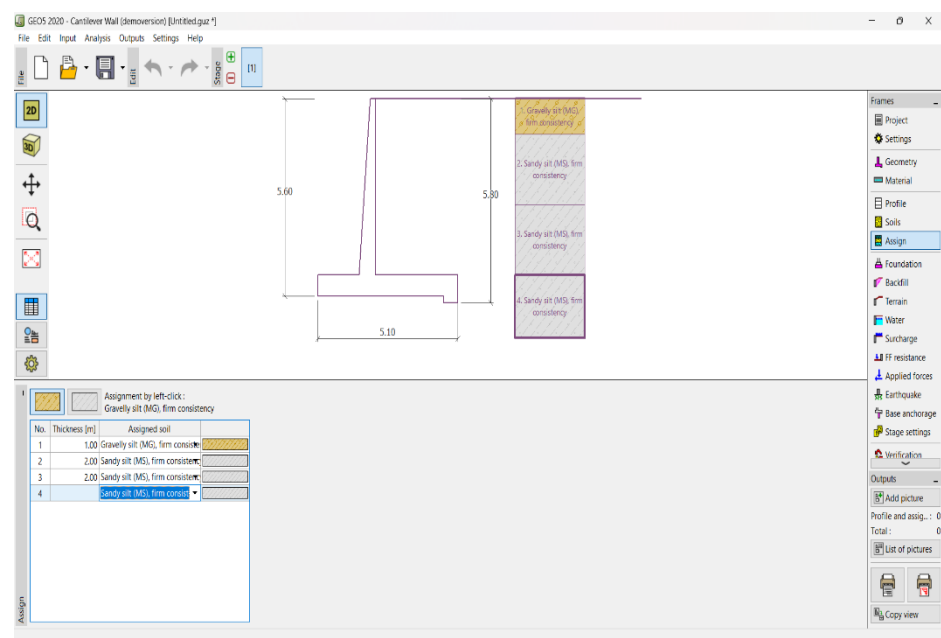
## 6. Soils

Pada bagian ini berfungsi untuk memilih jenis tanah yang akan digunakan. Klik pada bagian *add* dan *classify* untuk menentukan jenis-jenis dan parameter tanah.



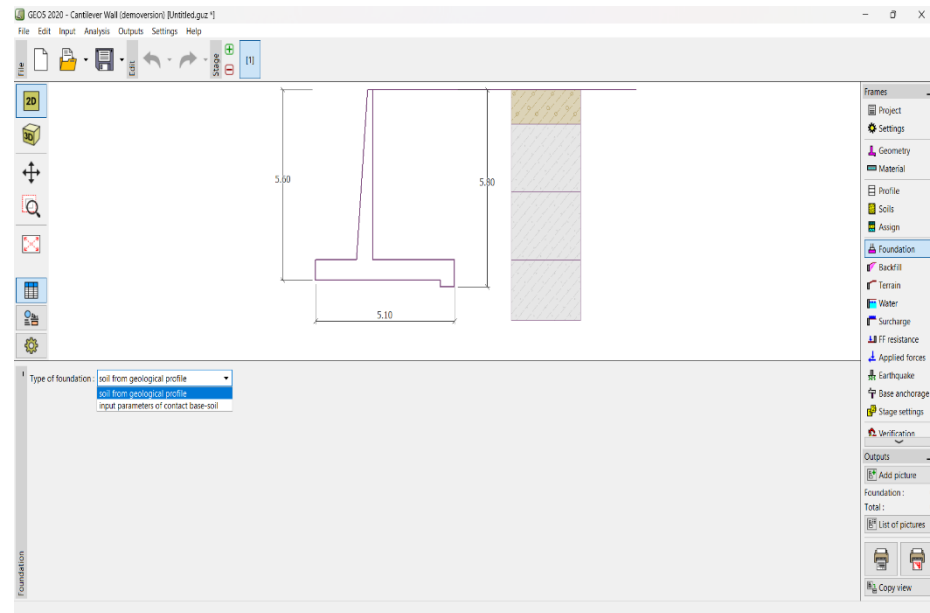
## 7. Assign

Setelah memilih jenis tanah, pada tools *assign* digunakan untuk menentukan jenis tanah sesuai kedalamannya masing-masing.



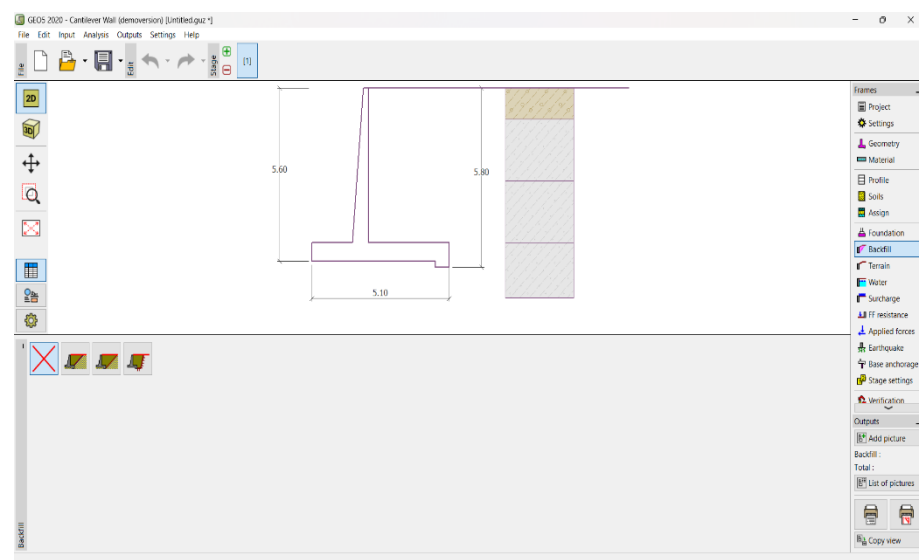
## 8. Foundation

*Tool* ini digunakan untuk memilih tipe dari parameter tanah yang akan menahan pondasi.



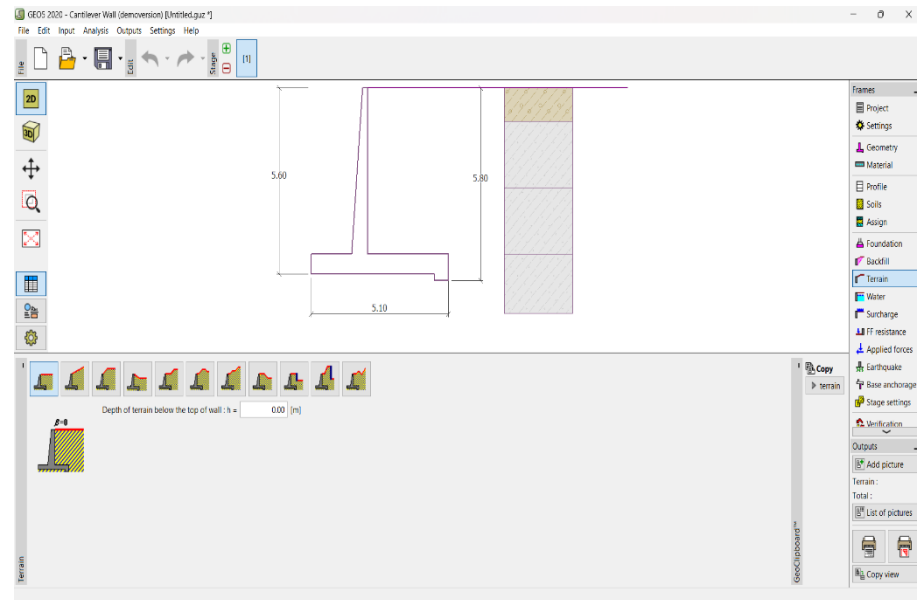
## 9. Backfill

*Backfill* berfungsi untuk menentukan tipe dan bentuk timbunan kembali yang dilakukan apabila menggunakan jenis tanah yang berbeda dari kondisi dilapangan..



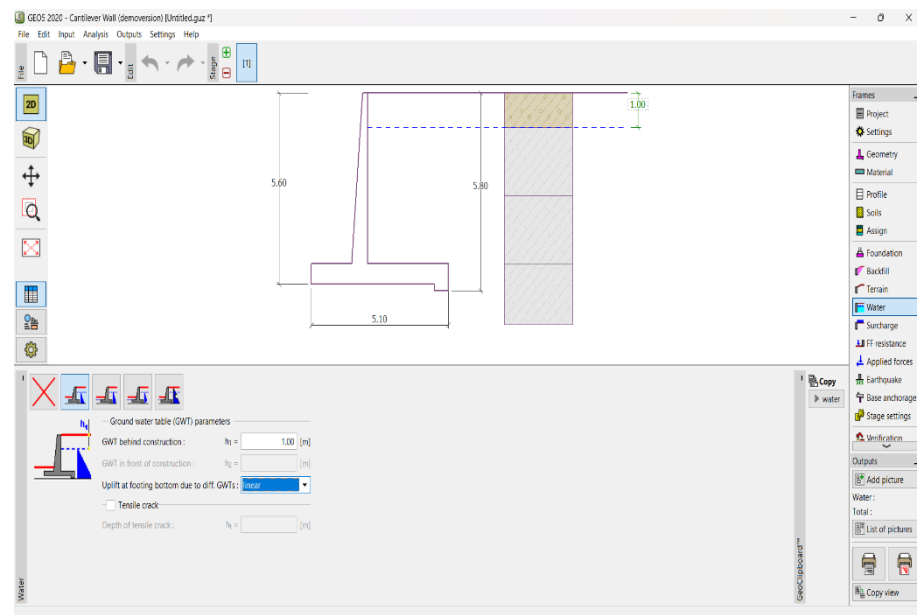
## 10. Terrain

*Tools* ini digunakan untuk memilih medan atau kondisi tanah yang ada pada belakang tembok sesuai dengan kondisi lapangan.



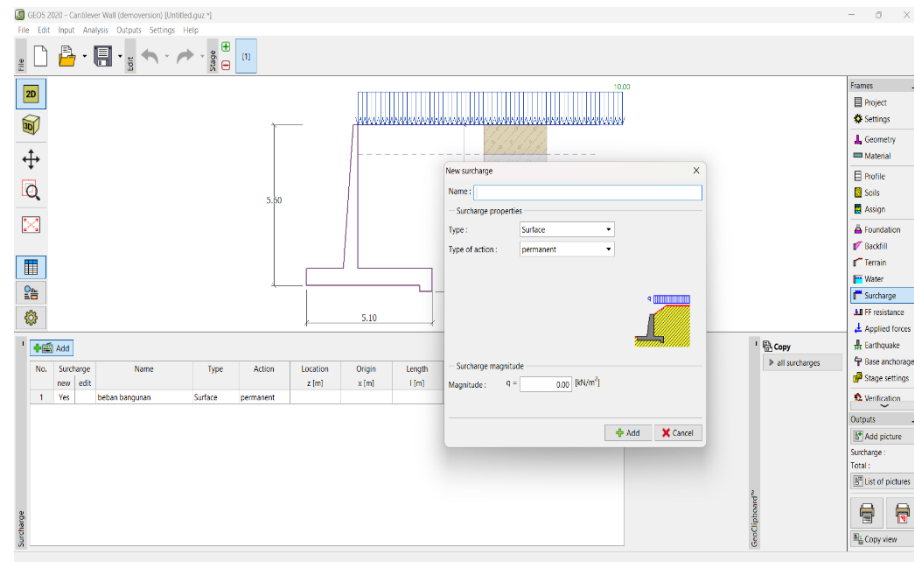
## 11. Water

*Tools Water* adalah *tools* yang memungkinkan untuk mengatur kondisi air tanah yang ada pada lokasi.



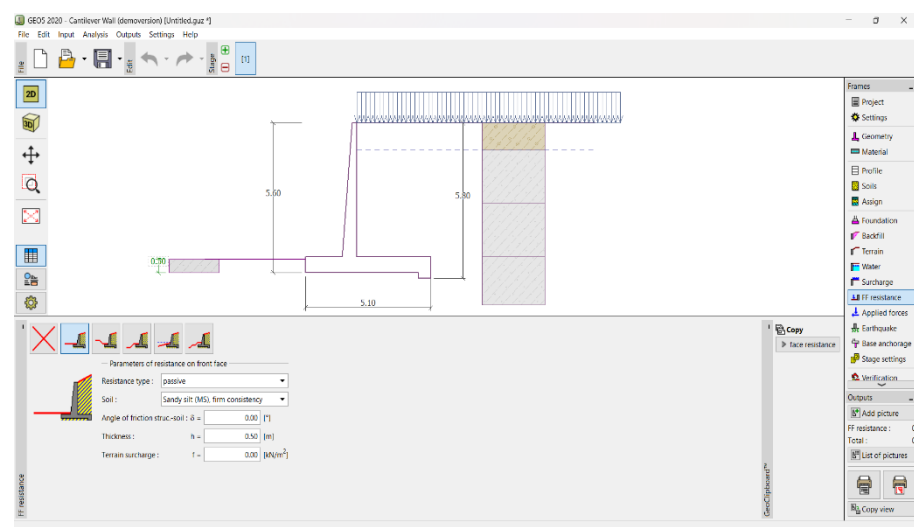
## 12. Surcharge

*Surcharge* atau beban tambahan berfungsi untuk menambahkan beban tambahan yang bekerja pada konstruksi bangunan. Klik pada bagian *add* lalu pilih beban sesuai dengan yang diinginkan.



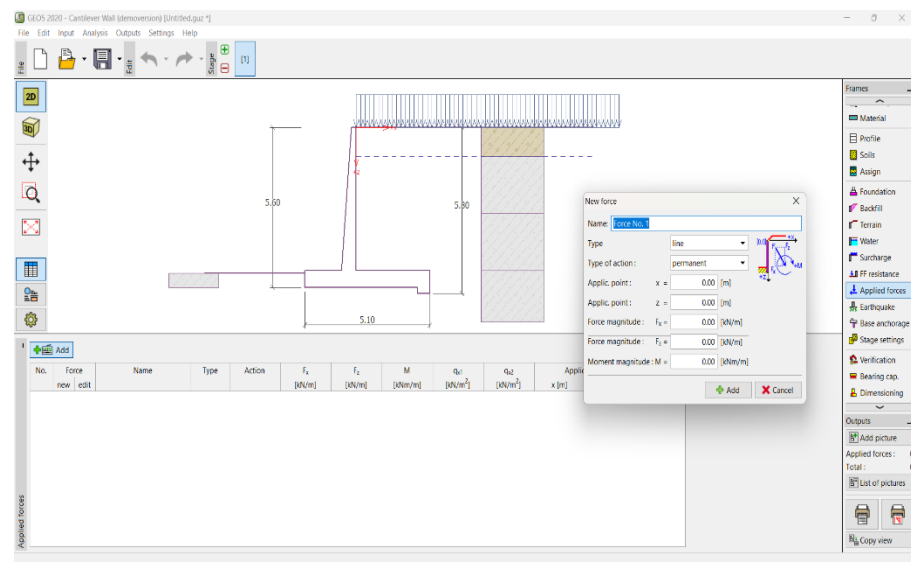
## 13. FF Resistance

*FF Resistance* atau gaya yang bekerja pada bagian depan bangunan. Tools ini berfungsi untuk menentukan parameter gaya yang bekerja pada bagian depan bangunan.



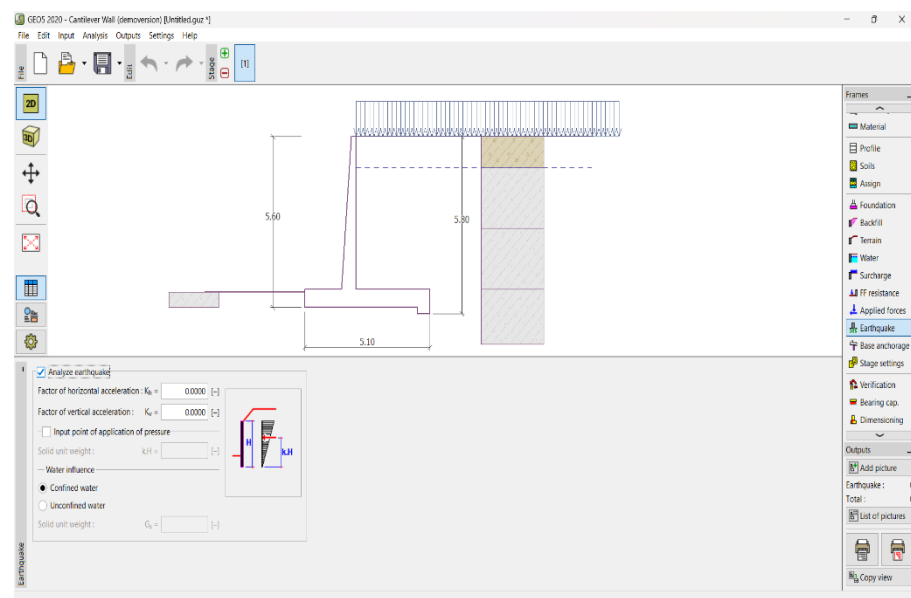
## 14. Applied Forces

*Applied Forces* adalah gaya tambahan yang berkerja pada bangunan. Pada tools ini berfungsi untuk menambahkan beberapa gaya apabila diperlukan. Klik *Add* untuk menambahkan gaya.



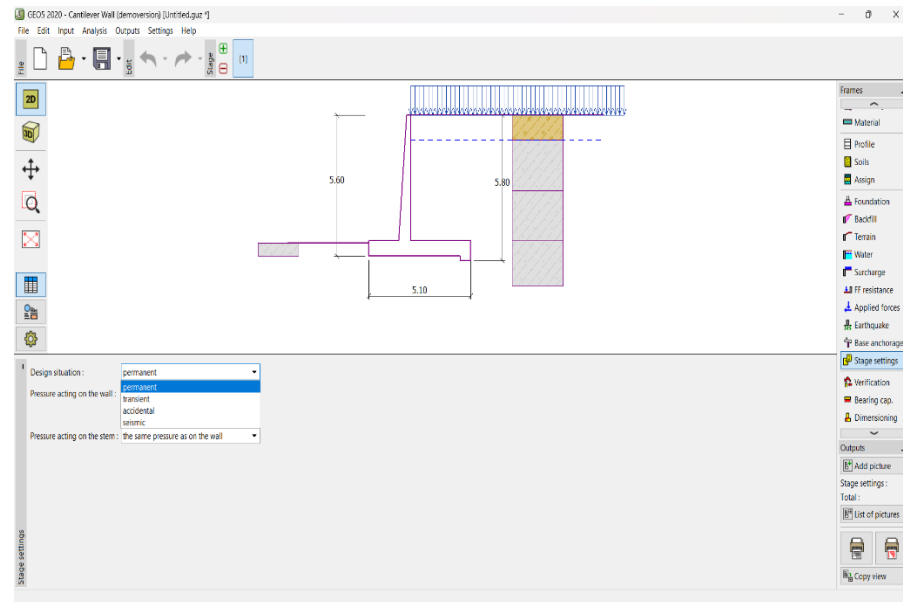
## 15. Earthquake

*Earthquake* atau beban gempa adalah tools yang berfungsi untuk menganalisis beban gempa yang terjadi isi nilai pada bagian dialog box untuk menginput gaya gempa yang terjadi.



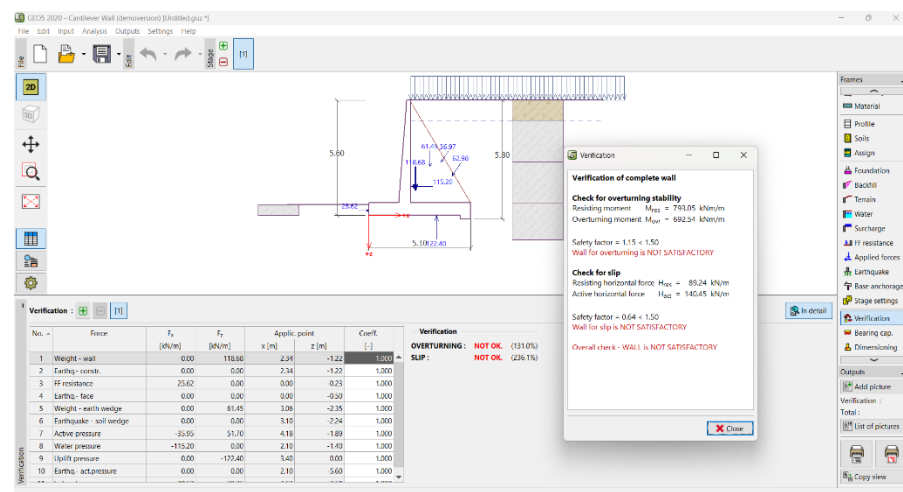
## 16. Stage Setting

*Tools* ini berguna untuk mengatur situasi dari konstruksi yang akan dianalisis.



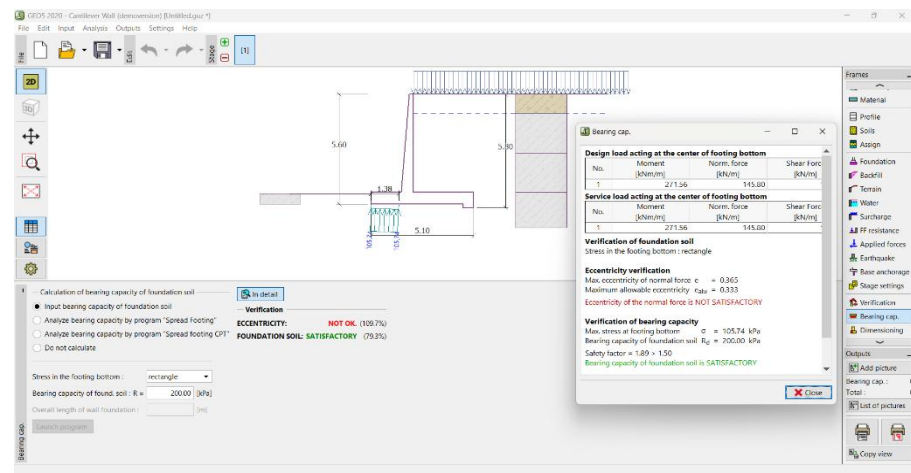
## 17. Verification

*Verification* adalah tools yang digunakan untuk memverifikasi stabilitas dari konstruksi bangunan terhadap guling dan geser. Dinding penahan tanah dikatakan aman apabila hasil dari *verification* program ini muncul pemberitahuan *Satisfactory* dan apabila muncul *NOT OK*. Klik pada bagian *verification* dan otomatis sistem akan menganalisis.

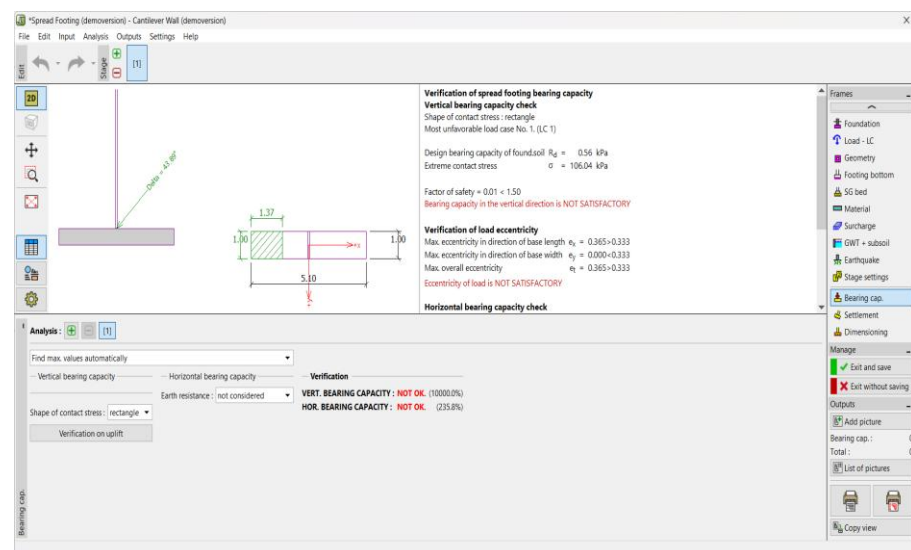


## 18. Bearing Capacity

Tools ini digunakan untuk menganalisis daya dukung tanah terhadap bangunan. Sama halnya dengan tools *verification* hasil dari analisis ini dikatakan aman apabila muncul pemberitahuan *satisfactory*. Pada bagian bawah dari tools ini pilih input kapasitas dukung ijin atau dapat dianalisis menggunakan program *spread footing* kemudian klik pada bagian in detail untuk memunculkan hasil analisis.



Analisis *Bearing Capacity* menggunakan *Spread Footing*, pilih pada bagian analisis bearing capacity by program spread footing selanjutnya pilih launch program maka otomatis hasil akan keluar. Contoh dapat dilihat berikut ini :



## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil analisis pada BAB IV dapat disimpulkan beberapa hal mengenai analisis stabilitas struktur dari bangunan *seawall* yang berada di Pantai Pasangkayu, Kabupaten Pasangkayu, Analisis stabilitas struktur ini ditinjau terhadap bahaya gaya geser, gaya guling, dan keruntuhan kapasitas daya dukung tanah. Hasil analisis stabilitas pada bangunan *sea wall* diperoleh *safety factor* (SF) dengan perhitungan manual pada kondisi normal yaitu SF Geser =  $2,02 > 1,5$ . SF Guling =  $2,49 > 2,0$  dan SF Daya dukung tanah =  $9,53 < 13,832$ . Pada kondisi gempa diperoleh SF Geser =  $1,24 > 1,1$ . SF Guling =  $2,19 > 1,5$  dan SF Daya dukung tanah =  $11,19 < 13,832$ . Analisis pada program GEO5 diperoleh *safety factor* (SF) pada kondisi normal yaitu SF Geser =  $12,86 > 1,5$ . SF Guling =  $4,07 > 2,0$  dan SF Daya dukung tanah =  $6,91 > 3$ . Pada kondisi gempa diperoleh SF Geser =  $1,64 > 1,1$ . SF Guling =  $2,31 > 1,5$  dan SF Daya dukung tanah =  $7,39 > 1,00$ . Nilai faktor keamanan yang diperoleh baik itu dalam kondisi normal maupun kondisi gempa serta pada perhitungan manual maupun analisis menggunakan program GEO5 menunjukkan hasil yang memenuhi sesuai persyaratan Braja M, Das dan SNI 8460:2017, Sehingga konstruksi bangunan *seawall* dianggap aman.

Hasil perhitungan stabilitas antara perhitungan manual dengan program GEO5, memiliki sedikit perbedaan dikarenakan rumus atau metode yang digunakan berbeda, Pada perhitungan manual digunakan metode Rankine untuk perhitungan tekanan tanah lateral akan tetapi pada program GEO5 menggunakan metode yang dirumuskan oleh Coulomb serta menggunakan beberapa persyaratan yang ada pada program GEO5, sehingga menghasilkan nilai faktor keamanan yang berbeda tetapi semua nilai faktor keamanan tetap memenuhi persyaratan yang diberikan.

#### **5.2 Saran**

Pada proses analisis diperlukan analisis yang terfokus serta ketelitian sehingga diharapkan dapat menghasilkan nilai yang akurat, keakuratan data seperti data tanah juga merupakan satu hal yang menunjang keakuratan dari hasil analisis,

Selanjutnya untuk analisis kedepannya diharapkan nantinya bisa menggunakan *software* geoteknik lainnya guna sebagai perbandingan hasil perhitungan yang lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO Design Method For Reinforced Earth Structures Subject to Seismic Forces. (1995). *Seismic Design of Reinforced Earth Retaining Walls and Bridge Abutments* (Issue January).
- Badan Standarisasi Nasional. (2017). Badan Standardisasi Nasional Standar Nasional Indonesia Persyaratan Perancangan Geoteknik. *Persyaratan Perancangan Geoteknik SNI 8460:2017*, 191. [www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id)
- Das, B. M. (1988). Mekanika Tanah Jilid 1 (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik). In *Penerbit Erlangga*.
- Das, B. M. (1993). Mekanika Tanah Jilid 2 (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis). In *Erlangga*.
- Das, B. M. (2016). Principles of Foundation Engineering, Eighth Edition. In *Global Engineering: Timothy L. Anderson*. <https://doi.org/10.1201/9781003211174-45>
- Destiyani, Haza, Z. F., & Darmawan, A. (2022). Tinjauan Stabilitas Lereng Akibat Beban Gempa Dengan Pemodelan Numeris (Studi Kasus Jalan Plono Kebun Teh Nglinggo Kabupaten Kulonprogo Yogyakarta). *CivETech*, 4(1), 1–10. <https://doi.org/10.47200/civetech.v4i1.1101>
- Dinulhaq, Di. (2023). Analisa perencanaan dinding penahan tanah pada proyek ruas jalan tol betung - tempino – jambi seksi 4 jalan arteri simpang tempino sta 0 + 350. In *Skripsi*.
- European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. (n.d.). *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts Data*. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/open-data>
- Hald, T. (1998). Wave Induced Loading and Stability of Rubble Mound Breakwaters. *Aalborg University*. [http://vbn.aau.dk/files/55248437/Wave\\_Induced>Loading\\_and\\_Stability\\_of\\_Rubble\\_Mound\\_Breakwaters.pdf](http://vbn.aau.dk/files/55248437/Wave_Induced>Loading_and_Stability_of_Rubble_Mound_Breakwaters.pdf)
- Hardiyatmo, H. C. (1996). Teknik Fondasi 1. In *Gramedia Pustaka Utama*.

- Hardiyatmo, H. C. (2002). Mekanika Tanah I Jilid III. In *Gajah Mada University Press*.
- Hardiyatmo, H. C. (2011). *Analisis dan Perancangan Fondasi I*. UGM Press.
- Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air. (2013). *Standar Perencanaan Irigasi Kriteria Perencanaan Bagian Parameter Bangunan KP-06*.
- Kisworo, G. R. (2015). *Perencanaan dinding gravitasi dengan programgeo 5*. 9–14.
- PT. Tunas Teknik Sejati. (2023). *Laporan Penyelidikan Tanah*.
- Ratulangi, D. R. ., Manoppo, F. J., & Willar, D. (2017). Penetapan Prioritas Penanganan Pantai Berdasarkan Pemilihan Jenis Bangunan Pada Proyek-Proyek Konstruksi Balai Wilayah Sungai Sulawesi-I (BWSS-I). *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 7(3), 827–845.
- Ridhayani, I., Manaf, A., Istiqlal Chalid, N., & Rohani, I. (2021). Stabilitas Bangunan Sea Wall Pantai Sumare Kabupaten Mamuju. *Bandar: Journal of Civil Engineering*, 3(1), 31–40.
- Situmorang, K. (2022). *Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah Type Gravity Wall Pada Area Inlet Proyek*.
- Triatmodjo, B. (1999). Buku Teknik Pantai. In *Beta Offset*.
- Ulfah, R. N. (2019). Analisis stabilitas dinding penahan tanah tipe a' pada bendung di. Kamijoro proyek. In *skripsi*.  
[Http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/red2017-eng-8ene.pdf?sequence=12&isallowed=y%0ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484\\_sistem\\_pembetungan\\_terpusat\\_strategi\\_melestari](http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/red2017-eng-8ene.pdf?sequence=12&isallowed=y%0ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_sistem_pembetungan_terpusat_strategi_melestari)
- Zulfendri. (2022). Perencanaan Dinding Penahan Tanah Retaining Wall Dam Katapiang Jorong Binu Nagari Kamang Hilia Kecamatan Kamang Magek. In *Skripsi* (Vol. 2, Issue 1). <https://doi.org/10.33559/err.v2i1.1390>