

**SKRIPSI**

**ANALISIS STABILITAS BREAKWATER PANTAI AKIBAT  
PENGERUKAN**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**MUHAMMAD YUSRIL YUSHAN  
D011 19 1032**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### ANALISIS STABILITAS BREAKWATER PANTAI AKIBAT PENGERUKAN

Disusun dan diajukan oleh

**MUHAMMAD YUSRIL YUSHAN**  
**D011 19 1032**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 12 Oktober 2023  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



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

Pembimbing Pendamping,



**Ir. Ariningsih Suprapti, ST, MT**  
NIP. 197307122000032002

Ketua Program Studi,



**Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng**  
NIP. 196805292002121002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;  
Nama : Muhammad Yusril Yushan  
NIM : D011191032  
Program Studi : Teknik Sipil  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Analisis Stabilitas Breakwater Pantai Akibat Pengerukan}

adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 23 Oktober 2023

Yang Menyatakan



Muhammad Yusril Yushan

## KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Syukur Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa, atas segala kebaikan dan karunia-Nya kepada setiap insan intelektual, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tak lupa sholawat serta salam kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW sebaik-baiknya suri tauladan. Penyusunan tugas akhir yang berjudul “**ANALISIS STABILITAS BREAKWATER PANTAI AKIBAT Pengerukan**” merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa terselesaikannya Tugas Akhir ini tidak hanya dari penulis sendiri melainkan berkat ilmu, arahan, bimbingan serta bantuan dari berbagi pihak. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. **Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. H. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T.,IPM** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. **Bapak Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge S.T., M.Eng.,** selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. **Bapak Prof. Dr. Eng. Tri Harianto, S.T., M.T.,** selaku dosen pembimbing I dan **Ibu Ir. Ariningsih Suprapti, S.T., M.T.,** selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan serta kesabarannya dalam menghadapi kualitas keilmuan penulis dari awal penelitian hingga selesainya tugas akhir ini. Semoga kebaikan, kesehatan serta kemudahan senantiasa dilimpahkan kepada beliau.
4. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Seluruh staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua yang tercinta, yaitu ayahanda **Salman Yushan** dan ibunda **Andi Kasmawati** atas semua kasih sayang yang begitu tulus dan doa yang tiada henti serta nasehat-nasehat yang selalu melekat pada penulis disetiap waktu.
2. **Tenri, Yusran** dan **Fathur** sebagai saudara/saudari tercinta dan teman seumur hidup yang selalu memberikan tunjangan serta dukungannya dalam hidup penulis.
3. Kepada keluarga besar senior-senior Asisten Laboratorium Mekanika Tanah kak **Asruddin Machmud**, kak **Egi Karaka**, kak **Megawati Cahaya Putri**, kak **Novi Azizah**, kak **Feby Alistia Mardi**, serta kak **Zainal** sebagai laboran yang telah banyak membantu dan memberi motivasi yang sangat bermanfaat dalam mendukung penulisan tugas akhir ini.
4. Kepada teman-teman kerja sampel, **Asisten Laboratorium Mekanika Tanah Angkatan 2019** yaitu **Jaemshon, Sara Malisan Lati, Mufidatul Azmi Kaharuddin, Muh. Megumi Tjaronge, Mutiara, dan Ruly Sultan Siahaan** yang selama ini turut mewarnai perjalanan dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Kepada teman-teman **Asisten Laboratorium Mekanika Tanah Angkatan 2020** yaitu **Aisa, Kelvin, Nusrah, Danti, dan Melda**.
6. Kepada **Ammar** dan **Nindya** sebagai sahabat sekaligus teman bertukar pikiran sedari awal perkuliahan dan turut mewarnai masa perkuliahan penulis.
7. **Sara dan Yayat** selaku partner dan teman seperjuangan penulis yang selalu membantu dan memberikan dukungan dalam penyelesaian tugas akhir.
8. Kak **Thasya BCL., ST.**, kak **Moh. Alief AF Baso, ST.**, Kak **Muh. Gilang Alifandri, ST.**, dan Kak **Upe Zahra, ST.** selaku senior yang senantiasa memberikan masukan dan semangat dalam penyelesaian tugas akhir.

9. Rekan-rekan **KKD Geoteknik Angkatan 2019** atas segala bantuan moril dan materi yang diberikan yang berbuah motivasi dalam menulis skripsi ini.
10. Saudara-saudari **PORTLAND 2020**, teman-teman Departemen Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin **Angkatan 2019** yang senantiasa memberikan warna serta pengalaman yang sangat berharga selama masa perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran dari pembaca sangat penulis harapkan demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Akhirnya semoga Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan kebaikan dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Gowa,      Oktober 2023

Penulis

## ABSTRAK

**MUHAMMAD YUSRIL YUSHAN.** *ANALISIS STABILITAS BREAKWATER PANTAI AKIBAT Pengerukan.* (Dibimbing oleh Tri Harianto dan Ariningsih Suprapti).

Pemanfaatan breakwater adalah untuk melindungi daerah perairan pantai dan pelabuhan dari gangguan gelombang. Bangunan ini memisahkan daerah perairan laut bebas dengan daerah perairan pantai, sehingga perairan di sekitar pantai dan pelabuhan tetap tenang dan tidak banyak dipengaruhi oleh gelombang besar dari arah laut bebas. Pada daerah sekitar breakwater yang telah dibangun, berbagai aktifitas perairan telah dilakukan untuk berbagai keperluan, misalnya pengerukan. Aktifitas pengerukan di sekitar bangunan breakwater tentunya akan mempengaruhi kondisi perairan di sekitar breakwater itu sendiri. Untuk pengerukan dengan skala yang besar, dapat terjadi perubahan geometri dasar laut yang signifikan. Perubahan yang signifikan ini selanjutnya memperbesar kemungkinan terjadinya kegagalan pada dasar laut di sekitar bangunan breakwater tersebut. Analisis diperlukan untuk menentukan tingkat keamanan struktur breakwater terhadap perubahan kontur yang terjadi. Analisis stabilitas struktur breakwater pantai yang dilakukan perlu dilakukan untuk setiap tahapan selama dilakukan pengerukan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis stabilitas struktur breakwater pantai pada kondisi eksisting sebelum dilakukan pengerukan dan pada kondisi setelah dilakukan pengerukan. Stabilitas struktur breakwater pantai ditinjau berdasarkan angka keamanan yang diperoleh dari program komputer Geostudio slope/w.

Tahapan penelitian yaitu analisis pemodelan struktur breakwater pantai dengan program komputer berbasis metode kesetimbangan batas yaitu Geostudio slope/w. Struktur breakwater pantai dibagi menjadi tiga potongan melintang. Pemodelan masing-masing potongan melintang dilakukan dalam tiga kondisi, yaitu kondisi eksisting sebelum pengerukan, kondisi setelah pengerukan tahap awal dan kondisi setelah pengerukan tahap akhir.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur breakwater pantai tetap dalam keadaan stabil terhadap perubahan kondisi setelah dilakukan pengerukan. Angka keamanan struktur breakwater setelah pengerukan cenderung menurun dibandingkan sebelum dilakukan pengerukan.

**Kata kunci:** Stabilitas breakwater, Pengerukan, *Geostudio slope/w*

## **ABSTRACT**

**MUHAMMAD YUSRIL YUSHAN. STABILITY ANALYSIS OF COASTAL BREAKWATER DUE TO DRREDDING.** (supervised by Tri Harianto and Ariningsih Suprapti).

*The use of breakwaters is to protect coastal waters and harbors from wave disturbance. This building separates the waters of the high seas from the coastal waters, so that the waters around the coast and harbor remain calm and are not much affected by large waves from the high seas. In the area around the breakwater that has been built, various water activities have been carried out for various purposes, such as dredging. Dredging activities around the breakwater structure will certainly affect the condition of the waters around the breakwater itself. For dredging on a large scale, significant changes in the geometry of the seafloor can occur. This significant change further increases the possibility of failure on the seabed around the breakwater structure. Analysis is needed to determine the safety level of the breakwater structure against contour changes that occur. Analysis of the stability of the beach breakwater structure that is carried out needs to be carried out for each stage during the dredging.*

*This study aims to analyze the stability of the coastal breakwater structure in the existing conditions before dredging and after dredging. The stability of the coastal breakwater structure is reviewed based on the safety score obtained from the Geostudio slope/w computer program.*

*The research stage is the analysis of coastal breakwater structure modeling using a computer program based on the boundary equilibrium method, namely Geostudio slope/w. The coastal breakwater structure is divided into three cross sections. Modeling of each cross section was carried out in three conditions, namely the existing condition before dredging, the condition after the initial dredging and the condition after the final dredging.*

*The results showed that the coastal breakwater structure remained in a stable state against changes in conditions after dredging. The safety factor of the breakwater structure after dredging tends to decrease compared to before dredging.*

**Keywords:** *Breakwater stability, Dredging, Geostudio slope/w*



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
ABSTRAK .....	vi
<i>ABSTRACT</i> .....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL .....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Batasan Masalah .....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Breakwater .....	6
2.2 Pengerukan.....	8
2.3 Teori Analisis Stabilitas Lereng.....	11
2.3.1 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Stabilitas Lereng.....	11
2.3.2 Kuat Geser Tanah .....	12
2.3.3 Keruntuhan Menurut Mohr-Coulomb .....	13
2.3.4 Metode Bishop.....	14
2.4 Gaya yang Bekerja pada Breakwater .....	16
2.4.1 Gaya Gelombang Dinamis.....	16
2.4.2 Gaya Hidrostatik .....	17
2.5 Stabilitas Breakwater .....	18
2.5.1 Stabilitas Terhadap Guling ( <i>Overturing</i> ).....	19
2.5.2 Stabilitas Terhadap Geser ( <i>Sliding</i> ).....	19
2.5.3 Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah ( <i>Bearing Capacity</i> ).....	19
2.5.4 Stabilitas Terhadap Penurunan Tanah ( <i>Settlement</i> ).....	21
2.6 Geostudio Slope/w .....	21
2.6.1 Metode Keseimbangan Batas .....	22
2.6.2 Penentuan Angka Keamanan.....	23

BAB III METODE PENELITIAN.....	25
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian .....	25
3.2 Instrumen .....	25
3.3 Prosedur Penelitian .....	25
3.4 Teknik Pengumpulan Data.....	26
3.4.1 Data Bathymetri.....	26
3.4.2 Data Muka Air Laut.....	27
3.4.3 Data Lapisan Tanah .....	28
3.5 Pemodelan Stabilitas Breakwater.....	30
3.5.1 Potongan Melintang Breakwater .....	30
3.5.2 Beban-Beban yang Bekerja .....	32
3.6 Analisis dengan Program Geostudio Slope/w.....	36
3.6.1 Pengaturan Awal dan <i>Analysis Settings</i> .....	36
3.6.2 Membuat Sketsa dan Region Gambar .....	38
3.6.3 Mendefinisikan Parameter Tanah.....	38
3.6.4 Menentukan Parameter tiap Lapisan Tanah .....	39
3.6.5 Menggambar Muka Air Laut .....	39
3.6.6 Mendefinisikan dan Menggambarkan Beban yang Bekerja.....	40
3.6.7 Menggambar <i>Entry and Exit</i> Bidang Longsor.....	40
3.6.8 <i>Solving The Problem</i> .....	41
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	42
4.1 Analisis Stabilitas Breakwater Terhadap Guling, Geser dan Daya Dukung..	42
4.1.1 Analisis Stabilitas Breakwater Terhadap Guling dan Geser .....	42
4.1.2 Analisis Stabilitas Breakwater Terhadap Daya Dukung .....	46
4.2 Analisis Stabilitas Breakwater Sebelum Pengerukan .....	47
4.2.1 Analisis Stabilitas Potongan 1 .....	47
4.2.2 Analisis Stabilitas Potongan 2 .....	49
4.2.3 Analisis Stabilitas Potongan 3 .....	51
4.3 Analisis Stabilitas Breakwater Setelah Pengerukan.....	53
4.3.1 Analisis Stabilitas Potongan 1 .....	54
4.3.2 Analisis Stabilitas Potongan 2 .....	59
4.3.3 Analisis Stabilitas Potongan 3 .....	64
4.4 Pembahasan.....	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	77
5.1 Kesimpulan .....	77
5.2 Saran .....	77
DAFTAR PUSTAKA .....	79

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1</b> Faktor Keamanan Intensitas Kelongsoran.....	11
<b>Tabel 2</b> Variasi Nilai Faktor Daya Dukung Berdasarkan Sudut Geser Dalam ....	20
<b>Tabel 3</b> Tinggi Gelombang Maksimum saat Pasang Tertinggi pada Breakwater	27
<b>Tabel 4</b> Tinggi Gelombang Minimum saat Surut Terendah pada Breakwater.....	27
<b>Tabel 5</b> Input Parameter Data Tanah Potongan 1 Breakwater .....	28
<b>Tabel 6</b> Input Parameter Data Tanah Potongan 2 Breakwater .....	29
<b>Tabel 7</b> Input Parameter Data Tanah Potongan 3 Breakwater .....	29
<b>Tabel 8</b> Luas Geometri Beban Gelombang .....	33
<b>Tabel 9</b> Perhitungan Berat dan Momen Penahan Breakwater Potongan 1 .....	42
<b>Tabel 10</b> Perhitungan Berat dan Momen Penahan Breakwater Potongan 2.....	44
<b>Tabel 11</b> Perhitungan Berat dan Momen Penahan Breakwater Potongan 3.....	45
<b>Tabel 12</b> Rekapitulasi Nilai Angka Keamanan Breakwater Potongan 1 saat Pasang Tertinggi (HWS) .....	55
<b>Tabel 13</b> Rekapitulasi Nilai Angka Keamanan Breakwater Potongan 1 saat Surut Terendah (LWS).....	58
<b>Tabel 14</b> Rekapitulasi Nilai Angka Keamanan Breakwater Potongan 2 saat Pasang Tertinggi (HWS) .....	61
<b>Tabel 15</b> Rekapitulasi Nilai Angka Keamanan Breakwater Potongan 2 saat Surut Terendah (LWS).....	63
<b>Tabel 16</b> Rekapitulasi Nilai Angka Keamanan Breakwater Potongan 3 saat Pasang Tertinggi (HWS) .....	66
<b>Tabel 17</b> Rekapitulasi Nilai Angka Keamanan Breakwater Potongan 3 saat Surut Terendah (LWS).....	68
<b>Tabel 18</b> Rekapitulasi Persentase Penurunan Angka Keamanan Lokal Potongan Melintang Breakwater saat Pasang Tertinggi (HWS) .....	70
<b>Tabel 19</b> Rekapitulasi Persentase Penurunan Angka Keamanan Overall Potongan Melintang Breakwater saat Pasang Tertinggi (HWS) .....	72
<b>Tabel 20</b> Rekapitulasi Persentase Penurunan Angka Keamanan Lokal Potongan Melintang Breakwater saat Surut Terendah (LWS).....	74
<b>Tabel 21</b> Rekapitulasi Persentase Penurunan Angka Keamanan Overall Potongan Melintang Breakwater saat Surut Terendah (LWS).....	76

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1</b> Pengerukan Pantai .....	2
<b>Gambar 2</b> Pemecah Gelombang Sisi Miring .....	6
<b>Gambar 3</b> Pemecah Gelombang Sisi Tegak .....	6
<b>Gambar 4</b> Echo sounder kapal, pengukur kedalaman dasar laut.....	9
<b>Gambar 5</b> Sudut Geser Dalam dan Kohesi .....	14
<b>Gambar 6</b> Gaya-gaya Yang Bekerja Pada Suatu Potongan.....	14
<b>Gambar 7</b> Gaya Hidrostatik .....	17
<b>Gambar 8</b> Halaman Awal Program Geostudio 2018 R2 .....	22
<b>Gambar 9</b> Diskritisasi Irisan dan Gaya Irisan pada Suatu Massa Geser .....	23
<b>Gambar 10</b> Diagram Alir Penelitian.....	26
<b>Gambar 11</b> Peta Bathymetri Lokasi Breakwater .....	27
<b>Gambar 12</b> Potongan melintang 1 breakwater untuk kondisi eksisting, kondisi setelah pengerukan tahap pertama, dan kondisi setelah pengerukan tahap akhir .	31
<b>Gambar 13</b> Potongan melintang 2 breakwater untuk kondisi eksisting, kondisi setelah pengerukan tahap pertama, dan kondisi setelah pengerukan tahap akhir .	31
<b>Gambar 14</b> Potongan melintang 3 breakwater untuk kondisi eksisting, kondisi setelah pengerukan tahap pertama, dan kondisi setelah pengerukan tahap akhir .	32
<b>Gambar 15</b> Jendela Pengaturan Kertas Kerja dan Satuan yang Digunakan .....	36
<b>Gambar 16</b> Jendela Penentuan Project ID .....	37
<b>Gambar 17</b> Jendela Penentuan Metode Analisis .....	37
<b>Gambar 18</b> Jendela Penentuan Bidang Longsor.....	38
<b>Gambar 19</b> Jendela Penggambaran Model Geometri Breakwater.....	38
<b>Gambar 20</b> Jendela Pendefinisian Setiap Lapisan Tanah.....	39
<b>Gambar 21</b> Jendela Penggambaran Parameter Tanah .....	39
<b>Gambar 22</b> Jendela Penggambaran Muka Air Laut.....	40
<b>Gambar 23</b> Jendela Penggambaran Beban Merata .....	40
<b>Gambar 24</b> Jendela Penggambaran Bidang Longsor.....	41
<b>Gambar 25</b> Jendela Proses Running Program .....	41
<b>Gambar 26</b> Pembagian Segmen Breakwater Potongan 1 Untuk Perhitungan Stabilitas Terhadap Momen dan Geser .....	42

<b>Gambar 27</b> Pembagian Segmen Breakwater Potongan 2 Untuk Perhitungan Stabilitas Terhadap Momen dan Geser .....	44
<b>Gambar 28</b> Pembagian Segmen Breakwater Potongan 3 Untuk Perhitungan Stabilitas Terhadap Momen dan Geser .....	45
<b>Gambar 29</b> Hasil Analisis Potongan 1 saat Pasang Tertinggi (HWS) Kondisi Eksisting (Lokal) .....	48
<b>Gambar 30</b> Hasil Analisis Potongan 1 saat Pasang Tertinggi (HWS) Kondisi Eksisting (Overall) .....	48
<b>Gambar 31</b> Hasil Analisis Potongan 1 saat Surut Terendah (LWS) Kondisi Eksisting (Lokal) .....	49
<b>Gambar 32</b> Hasil Analisis Potongan 1 saat Surut Terendah (LWS) Kondisi Eksisting (Overall) .....	49
<b>Gambar 33</b> Hasil Analisis Potongan 2 saat Pasang Tertinggi (HWS) Kondisi Eksisting (Lokal) .....	50
<b>Gambar 34</b> Hasil Analisis Potongan 2 saat Pasang Tertinggi (HWS) Kondisi Eksisting (Overall) .....	50
<b>Gambar 35</b> Hasil Analisis Potongan 2 saat Surut Terendah (LWS) Kondisi Eksisting (Lokal) .....	51
<b>Gambar 36</b> Hasil Analisis Potongan 2 saat Surut Terendah (LWS) Kondisi Eksisting (Overall) .....	51
<b>Gambar 37</b> Hasil Analisis Potongan 3 saat Pasang Tertinggi (HWS) Kondisi Eksisting (Lokal) .....	52
<b>Gambar 38</b> Hasil Analisis Potongan 3 saat Pasang Tertinggi (HWS) Kondisi Eksisting (Overall) .....	52
<b>Gambar 39</b> Hasil Analisis Potongan 3 saat Surut Terendah (LWS) Kondisi Eksisting (Lokal) .....	53
<b>Gambar 40</b> Hasil Analisis Potongan 3 saat Surut Terendah (LWS) Kondisi Eksisting (Overall) .....	53
<b>Gambar 41</b> Hasil Analisis Potongan 1 saat Pasang Tertinggi (HWS) Kondisi Setelah Pengerukan Tahap 1 (Lokal) .....	54
<b>Gambar 42</b> Hasil Analisis Potongan 1 saat Pasang Tertinggi (HWS) Kondisi Setelah Pengerukan Tahap 1 (Overall) .....	54

<b>Gambar 43</b> Hasil Analisis Potongan 1 saat Pasang Tertinggi (HWS) Kondisi Setelah Pengerukan Tahap 2 (Lokal) .....	55
<b>Gambar 44</b> Hasil Analisis Potongan 1 saat Pasang Tertinggi (HWS) Kondisi Setelah Pengerukan Tahap 2 (Overall) .....	55
<b>Gambar 45</b> Hasil Analisis Potongan 1 saat Surut Terendah (LWS) Kondisi Setelah Pengerukan Tahap 1 (Lokal) .....	56
<b>Gambar 46</b> Hasil Analisis Potongan 1 saat Surut Terendah (LWS) Kondisi Setelah Pengerukan Tahap 1 (Overall) .....	57
<b>Gambar 47</b> Hasil Analisis Potongan 1 saat Surut Terendah (LWS) Kondisi Setelah Pengerukan Tahap 2 (Lokal) .....	57
<b>Gambar 48</b> Hasil Analisis Potongan 1 saat Surut Terendah (LWS) Kondisi Setelah Pengerukan Tahap 2 (Overall) .....	58
<b>Gambar 49</b> Hasil Analisis Potongan 2 saat Pasang Tertinggi (HWS) Kondisi Setelah Pengerukan Tahap 1 (Lokal) .....	59
<b>Gambar 50</b> Hasil Analisis Potongan 2 saat Pasang Tertinggi (HWS) Kondisi Setelah Pengerukan Tahap 1 (Overall) .....	59
<b>Gambar 51</b> Hasil Analisis Potongan 2 saat Pasang Tertinggi (HWS) Kondisi Setelah Pengerukan Tahap 2 (Lokal) .....	60
<b>Gambar 52</b> Hasil Analisis Potongan 2 saat Pasang Tertinggi (HWS) Kondisi Setelah Pengerukan Tahap 2 (Overall) .....	60
<b>Gambar 53</b> Hasil Analisis Potongan 2 saat Surut Terendah (LWS) Kondisi Setelah Pengerukan Tahap 1 (Lokal) .....	61
<b>Gambar 54</b> Hasil Analisis Potongan 2 saat Surut Terendah (LWS) Kondisi Setelah Pengerukan Tahap 1 (Overall) .....	62
<b>Gambar 55</b> Hasil Analisis Potongan 2 saat Surut Terendah (LWS) Kondisi Setelah Pengerukan Tahap 2 (Lokal) .....	62
<b>Gambar 56</b> Hasil Analisis Potongan 2 saat Surut Terendah (LWS) Kondisi Setelah Pengerukan Tahap 2 (Overall) .....	63
<b>Gambar 57</b> Hasil Analisis Potongan 3 saat Pasang Tertinggi (HWS) Kondisi Setelah Pengerukan Tahap 1 (Lokal) .....	64
<b>Gambar 58</b> Hasil Analisis Potongan 3 saat Pasang Tertinggi (HWS) Kondisi Setelah Pengerukan Tahap 1 (Overall) .....	64

<b>Gambar 59</b> Hasil Analisis Potongan 3 saat Pasang Tertinggi (HWS) Kondisi Setelah Pengerukan Tahap 2 (Lokal) .....	65
<b>Gambar 60</b> Hasil Analisis Potongan 3 saat Pasang Tertinggi (HWS) Kondisi Setelah Pengerukan Tahap 2 (Overall) .....	65
<b>Gambar 61</b> Hasil Analisis Potongan 3 saat Surut Terendah (LWS) Kondisi Setelah Pengerukan Tahap 1 (Lokal) .....	66
<b>Gambar 62</b> Hasil Analisis Potongan 3 saat Surut Terendah (LWS) Kondisi Setelah Pengerukan Tahap 1 (Overall) .....	67
<b>Gambar 63</b> Hasil Analisis Potongan 3 saat Surut Terendah (LWS) Kondisi Setelah Pengerukan Tahap 2 (Lokal) .....	67
<b>Gambar 64</b> Hasil Analisis Potongan 3 saat Surut Terendah (LWS) Kondisi Setelah Pengerukan Tahap 2 (Overall) .....	68
<b>Gambar 65</b> Angka Keamanan (FS) Lokal Potongan Breakwater (HWS) .....	69
<b>Gambar 66</b> Angka Keamanan (FS) Overall Potongan Breakwater (HWS) .....	71
<b>Gambar 67</b> Angka Keamanan (FS) Lokal Potongan Breakwater (LWS) .....	73
<b>Gambar 68</b> Angka Keamanan (FS) Overall Potongan Breakwater (LWS) .....	75

## DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
H	Tinggi bangunan breakwater (m)
B	Lebar bawah bangunan breakwater (m)
LWS	Muka air laut surut terendah
HWS	Muka air laut pasang tertinggi
FS	Angka keamanan
$\phi$	Sudut gesekan internal ( $^{\circ}$ )
c	Kohesi tanah ( $\text{kN/m}^2$ )
$\gamma$	Berat isi tanah ( $\text{kN/m}^3$ )
$\psi$	Sudut dilatasi ( $^{\circ}$ )
E	Modulus young ( $\text{kN/m}^2$ )
$\nu$	Poisson rasio
$\tau$	Tegangan geser ( $\text{kN/m}^2$ )
$\sigma$	Tegangan normal ( $\text{kN/m}^2$ )
u	Tegangan pori ( $\text{kN/m}^2$ )
$S'$	Kuat gesek efektif ( $\text{kN/m}$ )
W	Berat total (kN)
$H_b$	Tinggi gelombang pecah (m)
$d_s$	Kedalaman perairan (m)
$R_m$	Gaya gelombang dinamis ( $\text{kN/m}$ )
$M_m$	Momen akibat gelombang dinamis ( $\text{kN.m}$ )
$R_s$	Gaya hidrostatis ( $\text{kN/m}$ )



<b>Lambang/Singkatan</b>	<b>Arti dan Keterangan</b>
$M_s$	Momen akibat gaya hidrostatik (kN.m)
$\sum M_R$	Momen penahan yang berasal dari berat sendiri bangunan (kN.m)
$\sum M_o$	Momen pengguling yang berasal dari gelombang dan hidrostatik (kN.m)
$\sum V$	Total gaya vertikal yang berasal dari berat sendiri bangunan (kN)
$\sum H$	Total gaya horizontal yang berasal dari berat sendiri bangunan (kN)
$q_u$	Daya dukung batas / tegangan ultimit (kN/m <sup>2</sup> )
$q_{max}$	Tekanan maksimum oleh beban berat bangunan di atasnya (kN/m <sup>2</sup> )
$N_c$	Faktor daya dukung tanah
$N_q$	Faktor daya dukung tanah
$N_\gamma$	Faktor daya dukung tanah
$S_c$	Besar penurunan tanah dan struktur (m)
$C_c$	Koefisien kompresi
$e_o$	Angka pori mula-mula
$H_f$	Tebal segmen tanah (m)
$P_o$	Tekanan akibat berat sendiri tanah (kN/m <sup>2</sup> )
$\Delta P$	Perubahan tekanan pada tanah akibat bangunan (kN/m <sup>2</sup> )

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia sebagai negara maritim memiliki luas wilayah laut seluas lebih dari 3,5 juta km<sup>2</sup>, atau sama dengan dua kali luas wilayah daratan yang dimiliki (Triatmodjo : 1999). Luas wilayah laut yang sangat luas tersebut mempunyai potensi sumber daya yang sangat besar, sehingga berbagai sarana prasarana perairan telah dibangun untuk menunjang pemanfaatan potensi laut tersebut. Salah satu dari sarana prasarana tersebut adalah pemecah gelombang (breakwater).

Pemanfaatan breakwater adalah untuk melindungi daerah perairan pantai dan pelabuhan dari gangguan gelombang. Bangunan ini memisahkan daerah perairan laut bebas dengan daerah perairan pantai, sehingga perairan di sekitar pantai dan pelabuhan tetap tenang dan tidak banyak dipengaruhi oleh gelombang besar dari arah laut bebas. Dengan adanya breakwater ini, aktifitas bongkar muat di pelabuhan bisa berjalan lancar tanpa gangguan gelombang yang besar.

Pada daerah sekitar breakwater yang telah dibangun, berbagai aktifitas perairan telah dilakukan untuk berbagai keperluan, misalnya pengerukan di sekitar breakwater. Tujuan pengerukan ini sangat beragam, misalnya pengerukan yang digunakan sebagai metode pemeliharaan breakwater akibat adanya sedimen yang mengendap di mulut breakwater. Pengerukan dalam hal ini diperlukan untuk mempertahankan kedalaman air laut yang akan dilalui kapal-kapal agar tidak kandas dengan dasar laut yang semakin tinggi akibat adanya pengendapan.

Tujuan pengerukan lainnya adalah penggunaan material pengerukan sebagai material reklamasi di lokasi yang berbeda. Pengerukan dalam hal ini diperlukan karena material yang akan dikeruk dapat digunakan sebagai material untuk penimbunan/material reklamasi di lokasi yang berbeda. Sebelum dilakukan pengerukan untuk tujuan ini, terlebih dahulu harus diketahui karakteristik parameter material kerukan yang selanjutnya akan digunakan sebagai material reklamasi. Hal ini bertujuan untuk material yang akan digunakan untuk reklamasi memiliki karakteristik yang memenuhi kriteria dan spesifikasi desain di lokasi reklamasi.



**Gambar 1** Pengerukan Pantai

(Sumber: Saner Gulkosen/iStok Foto)

Aktifitas pengerukan di sekitar bangunan breakwater tentunya akan mempengaruhi kondisi perairan di sekitar breakwater itu sendiri. Pengaruh pengerukan di sekitar breakwater dapat ditemui dari topografi maupun kedalaman muka air laut di sekitar daerah bangunan breakwater. Untuk pengerukan dengan skala yang besar, dapat terjadi perubahan geometri dasar laut yang signifikan. Perubahan yang signifikan ini selanjutnya memperbesar kemungkinan terjadinya kegagalan pada dasar laut di sekitar bangunan breakwater tersebut. Oleh karena itu, dalam aktifitas pengerukan perlu untuk dilakukan secara bertahap agar proses pengerukan tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap bangunan breakwater yang sudah ada.

Pengaruh dari pengerukan di sekitar bangunan breakwater pantai sangat perlu untuk dianalisis dari segi stabilitas struktur. Analisis diperlukan untuk menentukan tingkat keamanan struktur breakwater terhadap perubahan kontur yang terjadi. Analisis stabilitas struktur breakwater pantai yang dilakukan perlu dilakukan untuk setiap tahapan selama dilakukan pengerukan. Hal ini dilakukan untuk mengantisipasi jika terjadi kegagalan struktur akibat perubahan geometri topografi akibat pengerukan, baik kegagalan struktur pada daerah lokal struktur breakwater maupun kegagalan struktur secara overall pada daerah sekitar pengerukan.

Dalam melakukan analisis stabilitas breakwater, data parameter geoteknis pada lapisan tanah di bawah bangunan breakwater sangat diperlukan. Parameter ini diperlukan karena parameter lapisan tanah di bawah breakwater sangat

mempengaruhi stabilitas bangunan breakwater yang berada di atasnya. Parameter tanah ini yang akan menjadi kemampuan tahanan tanah terhadap beban yang bekerja pada struktur breakwater.

Penelitian ini memuat tentang Analisis Stabilitas Breakwater Pantai Akibat Pengerukan. Data yang digunakan adalah data sekunder terkait data topografi, data parameter lapisan tanah, dan data gelombang di sekitar struktur breakwater.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian pada latar belakang maka dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menganalisis stabilitas struktur breakwater pantai pada kondisi eksisting sebelum dilakukan pengerukan?
2. Bagaimana menganalisis stabilitas struktur breakwater pantai setelah dilakukan pengerukan?
3. Bagaimana perbandingan stabilitas struktur breakwater pantai sebelum dan setelah dilakukan pengerukan?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan Rumusan Masalah di atas maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis stabilitas struktur breakwater pantai pada kondisi eksisting sebelum dilakukan pengerukan
2. Menganalisis stabilitas struktur breakwater pantai setelah dilakukan pengerukan
3. Membandingkan stabilitas struktur breakwater pantai sebelum dan setelah dilakukan pengerukan

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Melalui penelitian ini diharapkan memberi manfaat dalam menganalisis stabilitas struktur pemecah gelombang (breakwater) akibat pengerukan di sekitar pantai dengan menggunakan instrumen program komputer berbasis metode kesetimbangan batas (*Limit Equilibrium Method*) yaitu Geostudio Slope/w.

## 1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat berjalan dengan lebih terarah dan fokus pada tujuan penelitian yang ingin dicapai maka perlu dibuat batasan masalah sebagai berikut:

1. Dalam penelitian ini, penentuan angka keamanan untuk analisis stabilitas breakwater menggunakan program komputer berbasis metode kesetimbangan batas yaitu *software* Geostudio 2018 slope/w
2. Breakwater pantai yang dianalisis dibagi menjadi 3 potongan melintang
3. Breakwater pantai dianalisis dalam 3 kondisi, yaitu kondisi eksisting, kondisi setelah pengerukan tahap pertama, dan kondisi setelah pengerukan tahap akhir
4. Breakwater pantai dianalisis sebagai material isotropis yang terbuat dari material beton mutu tinggi
5. Beban yang ditinjau adalah beban hidrostatik ( $R_s$ ), dan beban gelombang dinamis ( $R_m$ ).
6. Lapisan tanah keras dianalisis mencapai kedalaman 20 m.
7. Analisis angka keamanan yang ditinjau adalah angka keamanan lokal dan angka keamanan *overall*

## 1.6 Sistematika Penulisan

Agar lebih terarah, sistematika penulisan yang akan dilakukan sesuai tahapan-tahapan yang dipersyaratkan sehingga tugas akhir yang dihasilkan lebih sistematis. Sistematika penulisan penelitian ini dapat diurutkan yaitu:

### **BAB I PENDAHULUAN**

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 data-data yang diperoleh dari hasil pengujian serta pembahasan dari hasil pengujian yang diperoleh.

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Merupakan bab yang menyimpulkan hasil dari analisis penelitian dan memberikan saran-saran dan rekomendasi penelitian.

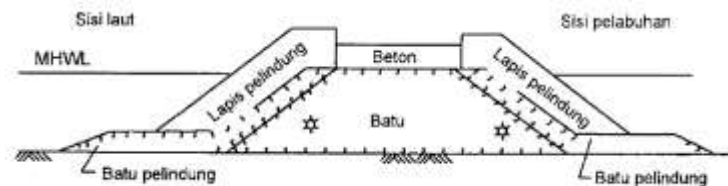
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

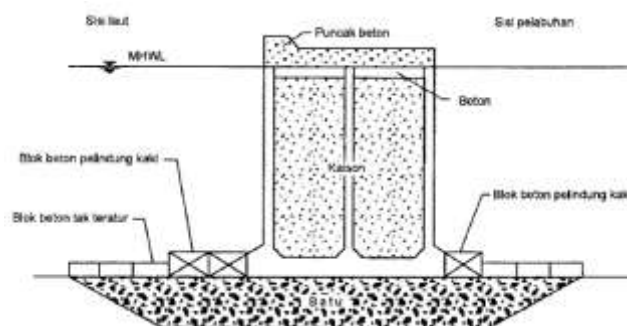
#### 2.1 Breakwater

Pemecah gelombang (breakwater) adalah bangunan yang digunakan untuk melindungi daerah perairan pelabuhan dari gangguan gelombang. Bangunan ini memisahkan daerah perairan dari laut bebas, sehingga perairan pelabuhan tidak banyak dipengaruhi oleh gelombang besar di laut. Dengan adanya pemecah gelombang ini daerah perairan pelabuhan menjadi tenang dan kapal bisa melakukan bongkar muat barang dengan mudah.

Ada beberapa macam pemecah gelombang ditinjau dari bentuk dan bahan bangunan yang digunakan. Menurut bentuknya pemecah gelombang dapat dibedakan menjadi pemecah gelombang sisi miring, sisi tegak dan campuran. Pemecah gelombang bisa dibuat dari tumpukan batu, blok beton, beton massa, turap dan sebagainya.



**Gambar 2** Pemecah Gelombang Sisi Miring



**Gambar 3** Pemecah Gelombang Sisi Tegak

(Sumber Bambang Triatmodjo, 2009)

Mengingat tujuan utama pemecah gelombang adalah untuk melindungi kolam pelabuhan terhadap gangguan gelombang, maka pengetahuan tentang gelombang dan gaya-gaya yang ditimbulkannya merupakan faktor penting dalam

perencanaan. Pemecah gelombang harus mampu menahan gaya-gaya gelombang yang bekerja. Pada pemecah gelombang sisi miring, butir-butir batu atau blok beton harus diperhitungkan sedemikian rupa sehingga tidak runtuh oleh serangan gelombang. Demikian juga, pemecah gelombang dinding tegak harus mampu menahan gaya-gaya pengguling yang disebabkan oleh gaya gelombang dan tekanan hidrostatis. Selain itu, tanah dasar juga harus mampu mendukung beban bangunan di atasnya.

Batu adalah salah satu bahan utama yang digunakan untuk membangun pemecah gelombang. Mengingat jumlah yang diperlukan sangat besar maka ketersediaan batu di sekitar lokasi pekerjaan harus diperhatikan. Ketersediaan batu dalam jumlah besar dan biaya angkutan dari lokasi batu ke proyek yang ekonomis akan mengarahkan pada pemilihan pemecah gelombang tipe tumpukan batu.

Faktor penting lainnya adalah karakteristik dasar laut yang mendukung bangunan tersebut di bawah pengaruh gelombang. Tanah dasar (fondasi bangunan) harus mempunyai daya dukung yang cukup sehingga stabilitas bangunan dapat dijamin. Pada pantai dengan tanah dasar lunak, dimana daya dukung tanah kecil, maka konstruksi harus dibuat ringan (memperkecil dimensi) atau memperlebar dasar sehingga bangunan berbentuk trapezium (sisi miring) yang terbuat dari tumpukan batu atau blok beton. Apabila daya dukung tanah besar maka dapat digunakan pemecah gelombang sisi tegak. Sering dijumpai tanah dasar sangat lunak sehingga tidak mampu mendukung beban di atasnya. Untuk mengatasi masalah tersebut perlu dilakukan perbaikan tanah dasar dengan mengeruk tanah tersebut dan menggantinya dengan pasir, atau dengan memancang cerucuk bambu yang akan berfungsi sebagai fondasi.

Selain itu kedalaman air juga penting terutama di dalam analisis stabilitas bangunan. Di daerah pantai yang dalam dimensi pemecah gelombang sisi miring (trapezium) menjadi besar yang berarti dibutuhkan bahan bangunan menjadi mahal. Dengan demikian apabila kedalaman air besar pemakaian pemecah gelombang sisi miring tidak ekonomis. Dalam hal ini dipakai pemecah gelombang sisi tegak.

Stabilitas pemecah gelombang sisi tegak tergantung pada dimensi bangunan. Berat sendiri bangunan harus mampu menahan gaya-gaya gelombang.



Perbandingan antara tinggi (H) dan lebar (B) bangunan juga mempengaruhi stabilitas. Semakin besar kedalaman diperlukan lebar bangunan lebih besar. Perbandingan antara lebar dan tinggi pemecah gelombang tidak boleh kurang dari tiga perempat ( $B > 0,75H$ ). Dengan demikian di laut yang sangat dalam pemakaian pemecah gelombang sisi tegak tidak ekonomis lagi. Pada kondisi ini digunakan pemecah gelombang tipe campuran. Bagian bawah dari bangunan ini terbuat dari tumpukan batu sedang bagian atas merupakan bangunan sisi tegak.

## 2.2 Pengerukan

Definisi Pengerukan (*Dredging*) menurut *International Association of Dredging Companies* (IADC) adalah mengambil material atau tanah di dasar air, biasanya di perairan dangkal seperti danau, sungai, muara maupun laut dangkal dan memindahkan atau membuangnya di tempat lain. Sedangkan pada Peraturan Menteri Perhubungan No. 52 Tahun 2011 tentang pengerukan dan Reklamasi, pengerukan adalah pekerjaan mengubah bentuk dasar perairan untuk mencapai kedalaman dan lebar yang dikehendaki atau untuk mengambil material dasar perairan yang dipergunakan untuk keperluan tertentu.

Tujuan dilakukan pengerukan menurut Bray dan Cohen (2010) adalah sebagai berikut:

1. Pelayaran : Untuk membuat atau memperpanjang pelabuhan, untuk memelihara perluasan, perbaikan sarana lalu lintas laut pelabuhan.
2. Konstruksi dan Reklamasi : Untuk mendapatkan material bangunan seperti pasir, kerikil, dan tanah liat atau untuk menimbun lahan (dengan material kerukan) sebagai tempat membangun daerah industri, pemukiman, jalan dan lainnya.
3. Perbaikan Lingkungan : Untuk menghilangkan atau memulihkan polutan pada saluran air dan meningkatkan kualitas air.
4. Pengendali Banjir : Untuk memperbaiki atau memperlancar aliran sungai dengan memperdalam dasar sungai.
5. Pertambangan : Untuk memperoleh bahan-bahan tambang seperti mineral dan lainnya.

Tipe-tipe pengerukan yang dimana menurut Adlin (2017) secara garis besar pengerukan dibagi menjadi 3 jenis yaitu :

1. Pengerukan Awal (*Capital Dredging*)

*Capital Dredging* dilakukan pada tipe tanah yang telah lama mengendap. Pengerukan jenis ini biasanya digunakan dalam pengerjaan pelabuhan, alur pelayaran, waduk, atau area yang akan digunakan sebagai industri.

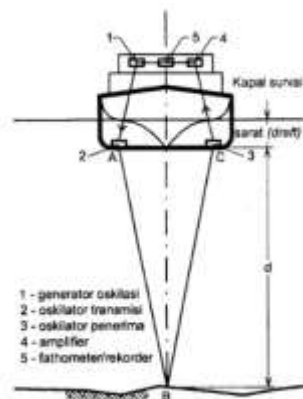
2. Pengerukan Perawatan (*Maintenance Dredging*)

*Maintenance Dredging* dilakukan pada tipe tanah yang belum lama mengendap. Pengerukan ini dilakukan untuk membersihkan siltation yang terjadi secara alami. Pengerukan ini biasanya diterapkan pada perawatan alur pelayaran dan pelabuhan.

3. Pengerukan Ulang (*Remedial Dredging*)

*Remedial Dredging* ini dapat dilakukan pada wilayah yang telah dikeruk namun mengalami kesalahan. Kesalahan ini biasanya berupa kesalahan kedalaman pengerukan.

Pada saat ini biasa digunakan suatu alat elektronis, biasa disebut *echo sounders* yang telah dipakai sejak tahun.1925. Prinsip kerja dari *echo sounders* adalah dengan mengirimkan getaran pulse pendek secara periodik dari luas kapal (titik A) yaitu antara 500-600 pulse tiap menit. Getaran ini diteruskan secara vertikal ke bawah dan dasar laut, memantulkan pulse tersebut (titik B) untuk kemudian diterima kembali oleh *oskilator* penerima yang ditempatkan di bagian lunas kapal yang sama (titik C) (lihat Gambar 4).



**Gambar 4** *Echo sounder* kapal, pengukur kedalaman dasar laut.

(Sumber : Kramadibrata, 2002)

Tergantung dari kedalaman perairan, getaran-getaran pulse tadi menempuh jarak sejak dikirimkan sampai diterima kembali. Jadi satu pulse getaran, di mana d adalah jarak antara lunas kapal sampai dengan dasar laut. Perbedaan kecil, secara dalil pythagoras, untuk jarak tempuh  $(AB + BC) > 2d$  dapat diabaikan. Bila kecepatan pulse getaran dalam air laut : 1.500 m/detik, untuk waktu tempuh satu detik berarti:  $2d : 1.500$  atau  $d=750$  meter.

Peta Bathymetri menunjukkan kontur kedalaman dasar laut dari posisi 0,00m LWS. Sehingga bathymetri ini berfungsi untuk mengetahui kedalaman dasar laut atau dasar sungai yang nantinya kapal akan aman digunakan untuk bermanuver. Hasil dari pemetaan bathymetri ini adalah susunan garis-garis kedalaman (kontur).

Hasil pengukuran dapat diplot secara manual atau dilakukan menggunakan komputer. Selanjutnya hasil dituangkan pada kertas gambar. Garis-garis kontur peta digambar untuk tiap interval -0.5 m sampai -1.0 m LWS atau dengan perbedaan hingga -10.0 m untuk peta laut dalam. Adanya berbagai benda yang menghalangi atau berbahaya di dasar laut juga perlu ditandai. Dari peta tersebut dapat diketahui kelandaian/kemiringan dasar laut yang paling optimal dan efisien sehingga dapat direncanakan posisi yang tepat untuk suatu bangunan dermaga dan kebutuhan kedalaman perairan yang memadai.

Untuk melakukan evaluasi layout perairan yang akan dilakukan pengerukan, diperlukan data-data yang meliputi data bathymetri, data pasang surut, data tanah, dan data kapal. Dengan menggunakan data-data tersebut dapat dilakukan evaluasi layout perairan yang akan menentukan alur pengerukan apakah sesuai dengan perencanaan awal atau akan dibuat alur baru dalam pengerukan.

Sebelum melakukan pengerukan, juga perlu untuk melakukan analisis stabilitas lereng dinding pengerukan. Stabilitas lereng dinding pengerukan akan dihitung guna mengetahui kekuatan tanah area keruk dan area longsor lereng. Dari data stabilitas lereng nantinya dapat diketahui kemiringan dasar alur keruk yang paling optimal.

### 2.3 Teori Analisis Stabilitas Lereng

Stabilitas lereng sangat dipengaruhi oleh kuat geser tanah untuk menentukan kemampuan tanah dalam menahan tegangan sampai runtuh. Analisis stabilitas lereng didasarkan pada konsep kesetimbangan plastis pembatas. Tujuan dari analisis stabilitas lereng adalah untuk mengetahui faktor keamanan bidang rawan longsor. Bentuk umum dari perhitungan stabilitas lereng adalah mencari nilai angka aman (FS) dengan membandingkan momen-momen yang dihasilkan dari gaya yang diberikan. Bowles (1991), memberikan intensitas kelongsoran berdasarkan faktor keamanan kuat geser disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1** Faktor Keamanan Intensitas Kelongsoran

Nilai Faktor Keamanan (FS)	Kejadian / Intensitas Longsor
<1,07	Longsoran biasa/sering terjadi (kritis)
1,07 – 1,25	Longsoran pernah terjadi (labil)
>1,25	Longsoran jarang terjadi (stabil)

Nilai keamanan lereng dapat diperoleh dengan melakukan pengujian trial error pada beberapa daerah longsor biasanya berupa busur lingkaran, setelah itu diambil nilai FS minimum sebagai indikasi daerah tersebut daerah longsor kritis. Tujuan utama dari analisa stabil lereng adalah untuk menentukan faktor keamanan (*Factor of Safety*).

#### 2.3.1 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Stabilitas Lereng

Stabilitas lereng dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain sebagai berikut ini:

1. Geometri lereng dan tinggi lereng sangat mempengaruhi kestabilan atau kestabilan lereng. Semakin besar kemiringan dan tinggi lereng, semakin rendah stabilitasnya.
2. Struktur tanah dan batuan yang sangat berpengaruh terhadap kestabilan lereng adalah sesar, sesar dan sesar. Struktur batuan ini merupakan tanah lemah yang juga merupakan rembesan air.

3. Parameter fisik dan mekanik tanah yang mempengaruhi kestabilan lereng adalah densitas, porositas dan kadar air. Kuat tekan, kuat tarik, kuat geser, gaya rekat, dan sudut geser internal merupakan sifat mekanik batuan yang juga mempengaruhi stabilitas lereng.
4. Berat massa batuan akan mempengaruhi besarnya beban pada permukaan tanah longsor. Oleh karena itu, semakin besar berat komponen batuan, maka semakin besar pula gaya dorong yang menyebabkan terjadinya lereng longsor. Akibatnya, stabilitas lereng menurun.
5. Tanah dengan porositas tinggi akan banyak menyerap air. Oleh karena itu, semakin besar berat wadah, akan mengurangi stabilitas lereng. Semakin tinggi kadar air, semakin besar kadar air dalam batuan, semakin besar pori-pori air.
6. Kuat tekan, tarik dan geser. Kekuatan batuan biasanya dinyatakan dalam bentuk kuat tekan, kuat tarik dan kuat geser. Batu dengan daya tahan tinggi akan lebih stabil.
7. Semakin tinggi gaya perekat dan sudut geser internal, semakin tinggi gaya perekat dan sudut geser internal, semakin tinggi kekuatan geser batu. Jadi akan lebih stabil.

Kejadian geser pada balok beton tanpa tulangan, umumnya kerusakan terjadi di daerah sepanjang kurang lebih tiga kali tinggi efektif balok dan dinamakan bentang geser. Retak akibat tarik diagonal merupakan salah satu cara terjadinya kerusakan geser. Pada bentang geser lebih pendek, kerusakan timbul akibat kombinasi dari pergeseran, remuk dan belah, sedangkan untuk balok tanpa tulangan geser dengan bentang geser lebih panjang, retak akibat tegangan tarik lentur akan terjadi terlebih dahulu sebelum retak karena tarik diagonal. Terjadinya retak tarik lenturan pada balok tanpa tulangan geser merupakan peringatan awal kerusakan geser.

### **2.3.2 Kuat Geser Tanah**

Menurut Hardiyatmo (2019) dalam bukunya Mekanika Tanah 1, kekuatan geser tanah adalah gaya tahanan yang diberikan oleh partikel tanah terhadap

tekanan atau gaya tarik. Berdasarkan pengertian tersebut, pada saat dibebani tanah akan dibatasi oleh:

1. Gaya kohesif tanah tergantung pada jenis tanah dan kerapatannya, tetapi tidak pada kerapatan yang bekerja pada bidang geser.
2. Gesekan antar partikel tanah yang amplitudonya sebanding dengan tegangan normal pada bidang geser.

Sudut gesekan internal ( $\phi$ ) dan kohesi ( $c$ ) adalah nilai parameter tahanan geser tanah. Semakin tinggi nilainya, semakin tinggi kekuatan gesernya. Pemahaman tentang proses geser diperlukan untuk menganalisis stabilitas tanah, seperti kekuatan dukung, stabilitas lereng, dan tekanan tanah lateral pada struktur pendukung. Kuat geser tanah adalah gaya tahanan dalam yang diberikan per satuan luas massa tanah terhadap keruntuhan atau keruntuhan sepanjang bidang keruntuhan dalam massa tanah.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan geser tanah berpasir meliputi: ukuran butir, air intergranular, kekasaran permukaan butir, rasio rongga atau kepadatan relatif, distribusi ukuran butir, bentuk butir, dll. tegangan utama dan riwayat tegangan.

### **2.3.3 Keruntuhan Menurut Mohr-Coulomb**

Pada model material tanah Mohr-Coulomb ada 6 parameter tanah yang diperlukan yakni sudut geser dalam tanah ( $\phi$ ), kohesi tanah ( $C$ ), sudut dilatasi ( $\psi$ ), modulus Young ( $E$ ), poisson rasio ( $\nu$ ) dan berat volume tanah ( $\gamma$ ). Dalam metode ini, parameter kekuatan geser tanah yang tersedia berturut-turut direduksi secara otomatis hingga kelongsoran terjadi. Cara keruntuhan lereng, lokasi bidang gelincir dan titik ujung bidang gelincir (*out-slip point*) berhubungan dengan besarnya kohesi ( $C$ ), sudut geser dalam ( $\phi$ ) dan kemiringan lereng. Nilai kohesi ( $C$ ) yang kecil, sudut geser dalam ( $\phi$ ) atau sudut kemiringan lereng yang kecil dapat membuat bidang gelincir yang dalam dan titik ujung bidang gelincir yang jauh dari kaki lereng.

Pada kriteria Mohr-Coulomb, selubung keruntuhan dianggap sebagai garis lurus untuk mempermudah perhitungan.



Dengan mempertimbangkan seluruh keseimbangan gaya, maka rumus untuk menentukan nilai FS menggunakan metode Bishop diperoleh sebagai berikut:

$$FS = \frac{1}{\sum w \sin \alpha} \sum \left[ \{c'l \cos \alpha + (\tan \varphi')\} \frac{\sec \alpha}{1 + \frac{\tan \varphi' \tan \alpha}{F}} \right] \quad (2)$$

Dimana:

S	= Kuat gesek efektif (N/m)
s	= Kuat gesek yang ada (N/m)
W	= Berat total pada irisan (N)
EL, ER	= Gaya antar irisan yang bekerja secara horisontal pada penampang kiri dan kanan (N)
XL, XR	= Gaya antar irisan yang bekerja secara vertikal pada penampang kiri dan kanan (N)
P	= Gaya normal total pada irisan (N)
b	= Lebar dari irisan (m)
l	= Panjang dari irisan (m)
c'	= Kohesi efektif (kg/cm <sup>2</sup> )
φ	= Sudut geser dalam (°)
u	= Tegangan pori (kg/cm <sup>2</sup> )
R	= Radius lingkaran bidang gelincir (m)
α	= sudut Kemiringan lereng (°)

Metode Bishop dipakai untuk menganalisis permukaan gelincir (*slip surface*) yang berbentuk lingkaran. Dalam metode ini diasumsikan bahwa gaya-gaya normal total berada/bekerja dipusat atas potongan dan bisa ditentukan dengan mengurangi gaya-gaya pada potongan secara vertikal atau normal. Persyaratan keseimbangan dipakai pada potongan-potongan yang membentuk lereng tersebut. Metode Bishop menganggap bahwa gaya-gaya yang bekerja pada irisan mempunyai resultan nol pada arah vertikal. Secara umum prinsip metode Bishop yaitu: kekuatan geser didefinisikan dengan menggunakan hubungan linier Mohr-Coulomb, keseimbangan normal, keseimbangan tangensial dan keseimbangan momen



## 2.4 Gaya yang Bekerja pada Breakwater

Untuk mengetahui keamanan struktur breakwater terhadap stabilitas guling dan geser perlu diketahui gaya-gaya yang bekerja pada struktur breakwater. Pada struktur breakwater yang direncanakan ini, gaya yang bekerja adalah gaya akibat gelombang dinamis dan gaya hidrostatik.

Pada saat gelombang merambat dari perairan dalam ke pantai dan mengenai bangunan, maka gelombang tersebut akan mengalami proses perubahan tinggi dan gelombang. Perubahan tersebut dikarenakan adanya proses refraksi, difraksi, pendangkalan dan pecahnya gelombang. Apabila gelombang telah pecah sebelum mencapai lokasi bangunan maka gelombang rencana yang dipakai adalah tinggi gelombang pecah ( $H_b$ ) di lokasi bangunan. Tinggi gelombang pecah ini dikaitkan dengan kedalaman perairan ( $d_s$ ) dan kemiringan dasar pantai ( $m$ ). Apabila pantai relatif datar, maka tinggi gelombang pecah dapat ditentukan dengan rumus (Triatmodjo, 1999):

$$H_b = 0,78 d_s \quad (3)$$

Dimana:

$H_b$  = Tinggi gelombang pecah (m)

$d_s$  = Kedalaman perairan (m)

### 2.4.1 Gaya Gelombang Dinamis

Gelombang merupakan pergerakan naik dan turunnya air dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang diakibatkan oleh beberapa faktor seperti angin, gravitasi bulan, pergerakan kapal, dan gempa bumi atau letusan gunung api dalam periode tertentu. Gelombang yang berada di laut sangat kompleks dan sulit digambarkan, puncak permukaan laut sering nampak berubah-ubah, hal ini bisa diamati dari permukaan airnya yang diakibatkan oleh arah perambatan gelombang yang sangat bervariasi serta bentuk gelombang yang tak beraturan apalagi jika gelombang tersebut di bawah pengaruh angin.

Gelombang dapat menimbulkan energi untuk membentuk pantai, menimbulkan arus dan transpor sedimen, serta menyebabkan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan pantai. Sehingga gelombang merupakan faktor terpenting dalam menentukan tata letak pelabuhan, alur pelayaran, perencanaan bangunan

pantai dan sebagainya. Pada buku CEM Part 6 pada bab *Coastal Project Element Fundamental Design*, diketahui bahwa gaya gelombang dinamis yang terjadi pada struktur adalah:

$$R_m = \frac{1}{2} \times \gamma_{air} \times ds \times Hb \quad (4)$$

Sedangkan, untuk menghitung momen yang diakibatkan oleh gaya gelombang dinamis pada struktur dapat digunakan persamaan:

$$M_m = R_m \times (ds \times \frac{Hb}{2}) \quad (5)$$

Dimana:

$M_m$  = Momen akibat gelombang dinamis (kN.m)

$R_m$  = Gaya gelombang dinamis (kN/m)

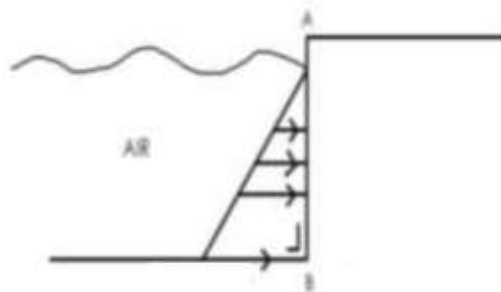
$\gamma_{air}$  = Berat jenis air ( $\gamma_{air\ laut} = 1025 \text{ kg/m}^3$ )

$ds$  = Kedalaman perairan (m)

$Hb$  = Tinggi gelombang pecah (m)

#### 2.4.2 Gaya Hidrostatik

Menurut Hardiyatmo HC (2006) dalam Jurnal Ariany dan Soehoed, Y.D.M (2012), tekanan hidrostatik adalah tekanan yang bergantung pada kedalaman terhadap suatu luas bidang tekan pada kedalaman tertentu. Besarnya tekanan ini bergantung pada ketinggian zat cair, massa jenis dan percepatan gravitasi. Tekanan yang dirasakan oleh dasar wadah yang berisi air sama dengan besarnya gaya berat zat cair yang menekan.



**Gambar 7** Gaya Hidrostatik

Berdasarkan buku *Coastal Engineering Manual Part 6, Chapter Coastal Project Element Fundamental Design*, distribusi berat struktur dan beban

diferensial yang diterapkan pada struktur pantai harus dievaluasi, terutama untuk struktur tipe gravitasi yang memanjang ke kedalaman yang lebih besar atau mencakup jenis tanah yang berbeda. Gaya lateral akibat tekanan hidrostatis yang tidak seimbang juga harus diperhatikan.

Distribusi tekanan hidrodinamik total pada pemecah gelombang terdiri dari dua komponen-waktu yang bervariasi: komponen tekanan hidrostatis karena kedalaman air sesaat di dinding, dan komponen tekanan dinamis karena percepatan partikel air. Selama siklus gelombang, gaya yang didapatkan dari integrasi distribusi tekanan pada dinding bervariasi antara nilai minimal ketika palung gelombang berada di dinding hingga nilai maksimum ketika puncak gelombang berada di dinding.

Pada buku CEM Part 6 pada bab *Coastal Project Element Fundamental Design*, diketahui bahwa gaya hidrostatis yang terjadi pada struktur adalah:

$$R_s = \frac{1}{2} \times \gamma_{air} \times (ds + Hb)^2 \quad (6)$$

Sedangkan, untuk menghitung momen yang diakibatkan oleh gaya gelombang dinamis pada struktur dapat digunakan persamaan:

$$M_s = \frac{1}{6} \times \gamma_{air} \times (ds + Hb)^3 \quad (7)$$

Dimana:

$M_s$  = Momen akibat gaya hidrostatis (kN.m)

$R_s$  = Gaya hidrostatis (kN/m)

$\gamma_{air}$  = Berat jenis air ( $\gamma_{air\ laut} = 1025 \text{ kg/m}^3$ )

$ds$  = Kedalaman perairan (m)

$Hb$  = Tinggi gelombang pecah (m)

## 2.5 Stabilitas Breakwater

Dari sebuah desain pemecah gelombang (breakwater), dapat dilakukan analisis stabilitas struktur breakwater. Hal ini dilakukan untuk memastikan keamanan bangunan dari kemungkinan guling (*overturning*), geser (*sliding*), turun (*settlement*) dan daya dukung (*bearing capacity*) tanah setelah pelaksanaan pembangunan (Das, 2016).

### 2.5.1 Stabilitas Terhadap Guling (*Overturing*)

Tekanan yang diakibatkan oleh gelombang akan mengakibatkan bangunan cenderung berotasi pada kaki bangunan. Kestabilan bangunan terjadi apabila momen gaya yang mengakibatkan struktur berotasi dapat ditahan oleh berat sendiri dari struktur tersebut. Stabilitas bangunan menahan guling harus lebih besar dari angka keamanan ( $F_s$ ) = 2. Stabilitas bangunan terhadap guling dapat dihitung dengan persamaan:

$$FS_{(Overturing)} = \frac{\sum M_R}{\sum M_o} > 2 \quad (8)$$

Dimana:

$\sum M_R$  = Momen penahan yang berasal dari berat sendiri bangunan

$\sum M_o$  = Momen pengguling yang berasal dari gelombang dan hidrostatis

### 2.5.2 Stabilitas Terhadap Geser (*Sliding*)

Gaya yang bekerja secara vertikal akan menekan struktur. Apabila gaya penahan yaitu gaya horizontal yang berasal dari gelombang datang kecil dan tidak dapat menahan gaya yang menekan akan mengakibatkan pergeseran pada struktur. Stabilitas keamanan terhadap geser harus lebih besar dari angka keamanan ( $F_s$ ) = 1,5. Stabilitas bangunan terhadap gaya geser dapat dihitung dengan persamaan:

$$FS_{(Sliding)} = \frac{\sum V}{\sum H} > 1,5 \quad (9)$$

Dimana:

$\sum V$  = Total gaya vertikal yang berasal dari berat sendiri bangunan

$\sum H$  = Total gaya horizontal yang berasal dari gaya gelombang dan gaya hidrostatis

### 2.5.3 Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah (*Bearing Capacity*)

Tanah yang berada di bagian bawah bangunan akan mendapat tekanan akibat berat sendiri bangunan. Apabila daya dukung tanah lebih kecil dari beban yang bisa diterima tanah, bangunan akan mengalami kegagalan/runtuh. Stabilitas struktur terhadap daya dukung tanah harus lebih besar dari angka kermanan ( $F_s$ )= 3. Stabilitas bangunan terhadap daya dukung tanah dapat dihitung dengan persamaan:

$$FS_{(Bearing\ Capacity)} = \frac{q_u}{q_{max}} > 3 \quad (10)$$

Dimana:

$q_u$  = Daya dukung batas/tegangan ultimit ( $\text{kg/m}^2$ )

$q_{max}$  = Tekanan maksimum oleh beban berat bangunan di atasnya ( $\text{kg/m}^2$ )

Nilai  $q_u$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$q_u = 1.3c'N_c + \gamma N_q D_f + 0.5\gamma B N_\gamma \quad (11)$$

$N_c$ ,  $N_q$ , dan  $N_\gamma$  merupakan angka yang didapat dari propertis tanah dalam penyelidikan tanah di laboratorium. Tabel 2 menunjukkan variasi nilai  $N_c$ ,  $N_q$ , dan  $N_\gamma$  berdasarkan nilai sudut geser dalam.

**Tabel 2** Variasi Nilai Faktor Daya Dukung Berdasarkan Sudut Geser Dalam

$\phi$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$\phi$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$
0	5.14	1.00	0.00	16	11.63	4.34	3.06
1	5.38	1.09	0.07	17	12.34	4.77	3.53
2	5.63	1.20	0.15	18	13.10	5.26	4.07
3	5.90	1.31	0.24	19	13.93	5.80	4.68
4	6.19	1.43	0.34	20	14.83	6.40	5.39
5	6.49	1.57	0.45	21	15.82	7.07	6.20
6	6.81	1.72	0.57	22	16.88	7.82	7.13
7	7.16	1.88	0.71	23	18.05	8.66	8.20
8	7.53	2.06	0.86	24	19.32	9.60	9.44
9	7.92	2.25	1.03	25	20.72	10.66	10.88
10	8.35	2.47	1.22	26	22.25	11.85	12.54
11	8.80	2.71	1.44	27	23.94	13.20	14.47
12	9.28	2.97	1.69	28	25.80	14.72	16.72

13	9.81	3.26	1.97	29	27.86	16.44	19.34
14	10.37	3.59	2.29	30	30.14	18.40	22.40
15	10.98	3.94	2.65	31	32.67	20.63	25.99

#### 2.5.4 Stabilitas Terhadap Penurunan Tanah (*Settlement*)

Dalam perencanaan bangunan, penurunan tanah juga perlu dihitung untuk mengetahui seberapa besar penurunan yang akan terjadi pada bangunan dan dalam jangka berapa lama sehingga terhindar dari kegagalan bangunan. Penurunan tanah ini adalah akibat tekanan dari berat bangunan yang bekerja mengenai lapisan tanah sehingga mengakibatkan penurunan. Besar penurunan tanah akibat beban yang bekerja dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$S_c = \frac{C_c \times H_f}{1 + e_0} \log \frac{P_0 + \Delta P}{P_0} \quad (12)$$

Dimana:

$S_c$  = Besar penurunan tanah dan struktur (m)

$C_c$  = Koefisien kompresi

$H_f$  = Tebal segmen tanah (cm)

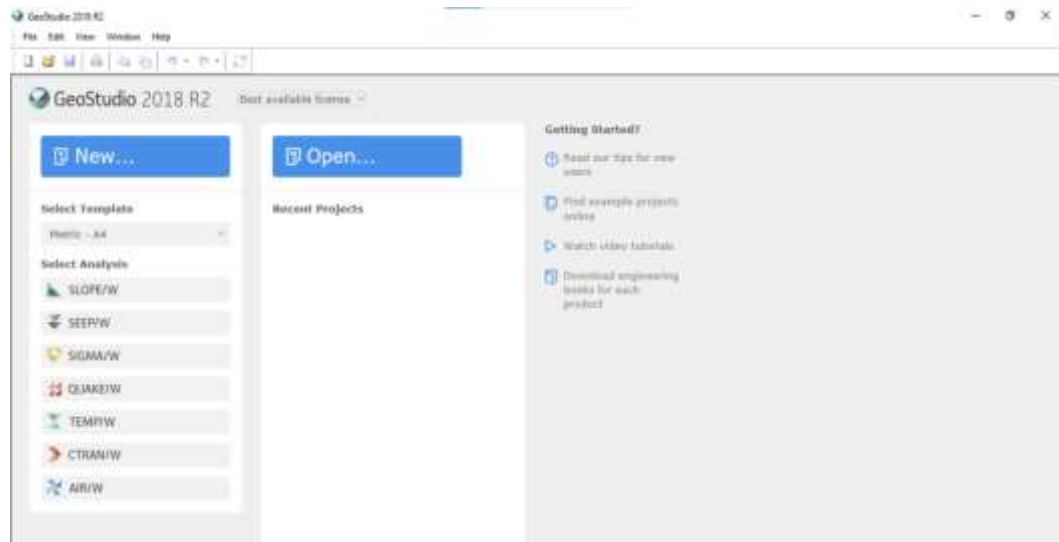
$e_0$  = Angka pori mula-mula tanah

$P_0$  = Tekanan akibat berat tanah ( $\text{ton/m}^2$ )

$\Delta P$  = penambahan tekanan pada tanah akibat bangunan ( $\text{ton/m}^2$ )

#### 2.6 Geostudio Slope/w

Program Geostudio adalah sebuah paket aplikasi untuk pemodelan geoteknik dan geo-lingkungan. *Software* ini melingkupi Slope/w, Seep/w, Sigma/w, Quake/w, Temp/w, dan Citran/w, yang sifatnya terintegrasi sehingga memungkinkan untuk menggunakan hasil dari satu produk ke dalam produk yang lain. Ini unik dan fitur yang kuat sangat memperluas jenis masalah yang dapat dianalisis dan memberikan fleksibilitas untuk memperoleh modul seperti yang dibutuhkan untuk proyek yang berbeda.



**Gambar 8** Halaman Awal Program Geostudio 2018 R2

Slope/w merupakan produk perangkat lunak untuk menghitung faktor keamanan lereng dan kemiringan batuan. Dengan slope/w kita dapat menganalisis masalah baik secara sederhana maupun kompleks dengan menggunakan salah satu dari delapan metode kesetimbangan batas untuk berbagai permukaan yang miring, kondisi tekanan air pori, sifat tanah dan beban terkonsentrasi. Kita dapat menggunakan elemen tekanan pori air yang terbatas, tegangan statis, atau tekanan dinamik pada analisis stabilitas lereng. Selain itu kita juga dapat melakukan analisis probabilistik.

### 2.6.1 Metode Kesetimbangan Batas

Jenis analisis kesetimbangan batas untuk menilai stabilitas lereng telah digunakan dalam rekayasa geoteknik selama beberapa dekade. Pada tahun 1916, Petterson (1955) menyajikan analisis stabilitas Stigberg Quay di Gothenberg, Swedia dimana permukaan slip diambil berbentuk lingkaran dan massa geser dibagi menjadi beberapa irisan. Selama beberapa dekade berikutnya, Fellenius (1936) memperkenalkan metode irisan Biasa (*Ordinary*). Pada pertengahan tahun 1950-an Janbu (1954) dan Bishop (1955) mengembangkan kemajuan dalam metode ini.

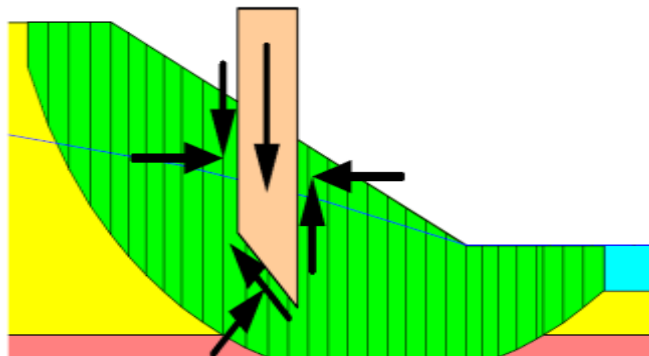
Munculnya komputer elektronik pada tahun 1960-an memungkinkan penanganan prosedur berulang yang melekat dalam metode kesetimbangan batas ini dengan lebih mudah, yang menghasilkan formulasi matematis yang lebih

kompleks seperti yang dikembangkan oleh Morgenstern dan Price (1965) dan Spencer (1967). Perangkat lunak keseimbangan batas modern seperti SLOPE/W memungkinkan penanganan kompleksitas analisis yang semakin meningkat.

Meskipun perangkat lunak modern memungkinkan untuk menganalisis masalah yang semakin kompleks, alat yang sama juga memungkinkan untuk lebih memahami metode keseimbangan batas. Tampilan grafis dengan bantuan komputer atas data yang digunakan dalam perhitungan memungkinkan untuk melihat lebih dari faktor keamanan. Misalnya, melihat secara grafis semua gaya detail pada setiap irisan dalam massa geser potensial, atau melihat distribusi berbagai parameter di sepanjang permukaan slip, sangat membantu untuk memahami detail teknik tersebut.

### 2.6.2 Penentuan Angka Keamanan

Banyak teknik dan solusi berbeda untuk metode irisan telah dikembangkan selama bertahun-tahun. Pada dasarnya, semuanya sangat mirip. Perbedaan antara metode-metode tersebut bergantung pada: persamaan statika apa yang dimasukkan dan dipenuhi dan gaya antar irisan apa yang disertakan dan apa asumsi hubungan antara geser antar irisan dan gaya normal? Gambar 9 mengilustrasikan massa geser yang didiskritisasikan ke dalam irisan dan gaya-gaya yang mungkin terjadi pada irisan tersebut. Gaya normal dan gaya geser bekerja pada dasar irisan dan sisi irisan.



**Gambar 9** Diskritisasi Irisan dan Gaya Irisan pada Suatu Massa Geser

Metode Biasa atau Fellenius merupakan metode yang pertama kali dikembangkan. Metode ini mengabaikan semua gaya antar irisan dan hanya memenuhi kesetimbangan momen. Dengan menggunakan asumsi yang disederhanakan ini memungkinkan penghitungan faktor keamanan menggunakan



perhitungan tangan, yang dapat digunakan ketika tidak ada komputer yang tersedia.

Kemudian Bishop (1955) merancang skema yang mencakup gaya normal antar irisan, namun mengabaikan gaya geser antar irisan. Sekali lagi, metode Bishop yang disederhanakan hanya memenuhi keseimbangan momen. Yang menarik dan penting dari metode ini adalah kenyataan bahwa dengan memasukkan gaya antar irisan normal, persamaan faktor keamanan menjadi nonlinier dan diperlukan prosedur berulang untuk menghitung faktor keamanan.

Metode Sederhana Janbu mirip dengan metode Sederhana Bishop yang mencakup gaya antar irisan normal dan mengabaikan gaya geser antar irisan. Perbedaan antara metode Penyederhanaan Bishop dan metode Penyederhanaan Janbu adalah bahwa metode Penyederhanaan Janbu hanya memenuhi kesetimbangan gaya horizontal, bukan kesetimbangan momen.

Belakangan, komputer memungkinkan untuk lebih mudah menangani prosedur berulang yang melekat pada metode kesetimbangan batas, dan hal ini menghasilkan formulasi matematis yang lebih kompleks yang mencakup semua gaya antar irisan dan memenuhi semua persamaan statika. Dua metode tersebut adalah metode Morgenstern-Price dan Spencer.