

**TUGAS AKHIR
(SKRIPSI)**

**EVALUASI PERKUATAN LERENG DINDING
PENAHAN TANAH JALAN CIBEUREUM KECAMATAN
KERTASARI KABUPATEN BANDUNG**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana (Strata-1)
Program Studi Teknik Sipil

Dosen Pembimbing:

Muhammad Syukri, ST., MT.

Nik. 432 200 200

Disusun Oleh :

Adithya Ramadhan

NIM. 2112171042



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS SANGGA BUANA (YPKP)
BANDUNG**

2023

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**EVALUASI PERKUATAN LERENG DINDING
PENAHAN TANAH JALAN CIBEUREUM KECAMATAN
KERTASARI KABUPATEN BANDUNG**

Diajukan sebagai salah satu syarat menyelesaikan Jenjang Program Strata 1 (S1)
Program Studi Teknik Sipil

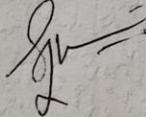
Disusun Oleh :

Nama : **Adithya Ramadhan**

NPM : **2112171042**

Telah Diperiksa dan Disetujui,

Pembimbing

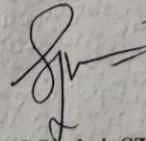


Muhammad Syukri, ST., MT.

NIP : 432.200.200

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Muhammad Syukri, ST., MT.

NIP : 432.200.200



Universitas
Sangga Buana
(YPKP)

FORMULIR BIMBINGAN TOPSUS

EVALUASI PERKUATAN LERENG DINDING
PENAHAN TANAH JALAN CIBEUREUM KECAMATAN
KERTASARI KABUPATEN BANDUNG



Program
Studi Teknik
Sipil

Mahasiswa :
Adithya Ramadhan
2112171042

Dosen Pembimbing:
Muhammad Syukri, ST.,MT.
NIK. 432 200 200

TOPSUS
2022-2023

No	Tanggal Pertemuan	Uraian Kegiatan, Catatan Perbaikan	Paraf Pembimbing
		Kumpulkan & analisis awal data lapangan	h.
		Relajasi lagi lg faktor keamanan stabilitas	h.
		Detailkan analisis setiap faktor keamanan.	h.
		Revisi' hitungan end overturning.	h.
		Rincikan analisis dg plot's	h.
		Modelkan utk rencana pisanan dan bayangan rd plot's.	h.
		Acc Srdag. TA	h.

Signature

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**EVALUASI PERKUATAN LERENG DINDING
PENAHAN TANAH JALAN CIBEUREUM KECAMATAN
KERTASARI KABUPATEN BANDUNG**

Diajukan sebagai salah satu syarat menyelesaikan Jenjang Program Strata 1 (S1)

Program Studi Teknik Sipil

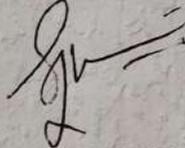
Disusun Oleh :

Nama : **Adithya Ramadhan**

NPM : **2112171042**

Telah Diperiksa dan Disetujui,

Pembimbing

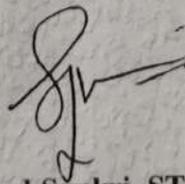


Muhammad Syukri, ST., MT.

NIP : 432.200.200

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Muhammad Syukri, ST., MT.

NIP : 432.200.200

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Dengan ini penulis menyatakan bahwa dalam Tugas Akhir ini yang berjudul “**EVALUASI PERKUATAN LERENG DINDING PENAHAN TANAH JALAN CIBEUREUM KECAMATAN KERTASARI KABUPATEN BANDUNG**” tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang pengetahuan penulis juga tidak terdapat karya atau pendapat yang dituliskan atau diterbitkan orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam Tugas Akhir ini sebagaimana disebutkan dalam Daftar Pustaka. Selain itu penulis menyatakan pula, bahwa Tugas Akhir ini dibuat oleh penulis sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar, maka penulis bersedia dikenai sanksi/resiko sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandung, Agustus 2023

Pembuat Pernyataan



Adithya Ramadhan

NPM : 2112171042

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr Wb

Alhamdulillah, puji dan syukur kita panjatkan kehadiran Allah SWT karena berkat limpahan Rahmat, Hidayah serta Inayah-Nyalah penyusun dapat menyelesaikan Seminar Proposal ini.

Penelitian ini disusun sebagai sebagian dari syarat untuk memperoleh gelar Strata I pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sangga Buana (YPKP), Penelitian ini berjudul Evaluasi Perkuatan Lereng Penahan Longsor Jalan Cibereum Kecamatan Kertasari Kabupaten Bandung

Penyusun menyadari akan kelemahan dan keterbatasan kemampuan penyusun, baik keterbatasan ilmu pengetahuan dalam mengkaji sesuatu, maka penyusun mengakui bahwa laporan ini tidak mungkin terwujud tanpa bantuan dari berbagai pihak. Penyusun mengucapkan terimakasih disampaikan kepada :

1. Muhammad Syukri. ST., MT. selaku Ketua Prodi Teknik Sipil dan pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu untuk membimbing, memberi petunjuk dan motivasi dalam penyusunan penelitian ini.
2. Dosen dan Staf Jurusan Teknik Sipil USB (YPKP) yang telah menjadi inspirasi kepada penyusun dalam Laporan Seminar Proposal ini.
3. Pihak Dinas Pekerjaan Umum dan Tata Ruang Kabupaten Bandung, atas pemberian ijin pengambilan titik uji, kebaikan dan segala perhatiannya.
4. Terimakasih kepada Amih, (Alm) Apih, Istri dan keluarga tercinta, yang telah memotivasi, memberikan dukungan moril serta materil selama penyusun menyusun Tugas Akhir ini.
5. Teman seperjuangan Teknik Sipil USB (YKP) angkatan 2017 yang selalu memberi dukungan moril sehingga penyusun semangat dalam mengerjakan Tugas Akhir.

Mudah-mudahan segala pengorbanan dan jasa baik dari semua pihak yang membantu baik selama dalam penyusunan laporan ini mendapat balasan yang setimpal dari Allah SWT.

Selayaknya manusia sebagai makhluk yang tidak sempurna, begitupun Laporan Seminar Proposal ini yang masih banyak kekurangan. Maka dari itu, saran dan kritik membangun sangat penyusun harapkan demi perbaikan kedepannya. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penyusun khususnya dan bagi pembaca pada umumnya.

Wassalamu'allaikum Wr Wb

Bandung, Mei 2023

Penyusun

Adithya Ramadhan

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
<i>ABSTRACT</i>	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR SINGKATAN DAN NOTASI.....	x
BAB 1 Pendahuluan.....	1-1
1.1. Latar Belakang.....	1-1
1.2. Rumusan Masalah.....	1-3
1.3. Ruang Lingkup Penelitian	1-3
1.4. Tujuan Penelitian	1-3
1.5. Sistematika Penulisan	1-3
1.5.1. Bab I Pendahuluan	1-3
1.5.2. Bab II Landasan Teori	1-3
1.5.3. Bab III Metode Penelitian.....	1-4
1.5.4. Bab IV Pembahasan.....	1-4
1.5.5. Bab V Penutup.....	1-4
BAB 2 Landasan Teori	2-1
2.1. Pengertian Longsor.....	2-1
2.2. Bronjong	2-1
2.3. Tanah	2-5
2.3.1. Identifikasi Tanah	2-5
2.3.2. Kadar Air, Angka Pori, Porositas, dan Berat Volume Tanah ...	2-7
2.3.3. Analisis Ukuran Butiran	2-11
2.3.4. Kuat Geser	2-14
2.3.5. Sifat-sifat Teknis Tanah.....	2-18
2.3.6. Klasifikasi Tanah	2-22
2-27	
2.4. Penyelidikan Tanah di Lapangan.....	2-28
2.5. Dinding Penahan Tanah.....	2-32
2.5.1. Dinding Penahan Tanah.....	2-32
2.5.2. Teori Tekanan Tanah Lateral.....	2-34
2.5.3. Hitungan Stabilitas Dinding Penahan	2-51
2.6. Persyaratan Teknis Dinding Penahan	2-61
2.6.1. Dimensi Tipikal Dinding Penahan Tanah.....	2-61
2.6.2. Faktor-Faktor yang Perlu Diperhatikan dalam Perancangan ..	2-62
2.6.3. Pemeriksaan Stabilitas Dinding dan Faktor Keamanan Minimum	
2-62	
2.7. Kriteria Perancangan Lereng	2-62
2.7.1. Kriteria Pembebanan.....	2-62

2.7.2.	Beban Gempa.....	2-63
2.7.3.	Beban Lalu Lintas	2-63
2.7.4.	Kriteria Loading dan Unloading (stress history).....	2-64
2.7.5.	Kriteria Umur Rencana	2-64
2.7.6.	Kriteria Deformasi	2-64
2.7.7.	Kriteria Faktor Keamanan.....	2-64
2.8.	Plaxis.....	2-66
2.8.1.	Instalasi	2-67
2.8.2.	Aspek Umum Pemodelan	2-67
2.8.3.	Prosedur Penginputan	2-69
2.8.4.	Memulai Program	2-71
BAB 3	Metodologi.....	3-1
3.1.	Metode Penelitian	3-1
3.2.	Lokas Penelitian.....	3-2
3.3.	Data Teknis Dinding Penahan Tanah	3-3
3.4.	Menentukan Parameter Tanah	3-3
3.5.	Uraian Langkah-Langkah Penelitian	3-4
3.5.1.	Bahan Penelitian	3-4
3.5.2.	Pengujian Laboratorium.....	3-4
3.6.	Sistem Klasifikasi Tanah	3-10
3.6.1.	Klasifikasi Tanah Unified	3-10
3.6.2.	Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO	3-12
3.7.	Tekanan Tanah Lateral	3-12
3.7.1.	Tekanan Tanah Aktif	3-12
3.8.	Faktor Keamanan Stabilitas	3-13
3.8.1.	Stabilitas Terhadap Penggulingan (Overturning)	3-13
3.8.2.	Stabilitas Terhadap Geser (Sliding).....	3-13
3.8.3.	Stabilitas Terhadap Daya Dukung (Bearing Capacity).....	3-14
3.9.	Analisa Stabilitas dengan Menggunakan <i>Software</i> Plaxis.....	3-14
BAB 4	Pembahasan	4-1
4.1.	Identifikasi Tanah	4-1
4.1.1.	Lapangan.....	4-1
4.1.2.	Laboratorium.....	4-1
4.2.	Klasifikasi Tanah	4-3
4.2.2.	Lapis Kiri	4-3
4.2.3.	Lapis Kanan	4-5
4.3.	Tekanan Tanah Lateral	4-6
4.3.1.	Tekanan Tanah Aktif	4-6
4.4.	Stabilitas Terhadap Penggulingan (<i>Overturning</i>).....	4-12
4.4.1.	Momen Momen yang Melawan Penggulingan (Mw).....	4-12
4.4.2.	Momen Momen yang Mengakibatkan Penggulingan (Mgl)...	4-18
4.4.3.	Faktor Stabilitas Terhadap Guling	4-19
4.5.	Stabilitas Terhadap Geser (<i>Sliding</i>).....	4-19
4.5.1.	Tahanan Dinding Penahan Tanah Terhadap Penggeseran	4-19
4.5.2.	Faktor Stabilitas Terhadap Geser	4-20

4.6. Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah (<i>Bearing Capacity</i>)	4-21
4.6.1. Eksentrisitas Resultan (e).....	4-21
4.6.2. Nilai Faktor Kapasitas Dukung.....	4-21
4.6.3. Kapasitas Dukung Ultimit (q_u).....	4-22
4.6.4. Tekanan akibat Beban Struktur (q).....	4-23
4.6.5. Faktor Stabilitas Terhadap Daya Dukung (<i>Bearing Capacity</i>).....	4-23
4.7. Stabilitas Menggunakan Software Plaxis	4-24
4.7.1. Skenario 1 (Pengaruh Terhadap Beban Merata).....	4-24
4.7.2. Skenario 2 (Dinding Penahan Tanah Bagian Bawah).....	4-26
4.7.3. Skenario 3 (Dinding Penahan Tanah)	4-28
4.8. Resume Faktor Stabilitas	4-31
BAB 5 Kesimpulan dan Saran	5-1
5.1. Kesimpulan	5-1
5.2. Saran	5-1
DAFTAR PUSTAKA	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Tanah Longsor di Jalan Cibereum Kecamatan Kertasari.....	1-1
Gambar 1.2 Lokasi Penelitian.....	1-2
Gambar 2.1 Bronjong Kawat	2-2
Gambar 2.2 Bronjong kawat bentuk I sebelum disetel menjadi kotak	2-3
Gambar 2.3 Bronjong bentuk II sebelum disetel menjadi kotak.....	2-3
Gambar 2.4 Bronjong kawat bentuk I setelah disetel menjadi kotak.....	2-3
Gambar 2.5 Bronjong kawat bentuk II setelah disetel menjadi kotak	2-4
Gambar 2.6 Diagram fase tanah.....	2-7
Gambar 2.7 Klasifikasi butiran menurut Sistem Unified, ASTM, MIT, International Nomenclature	2-12
Gambar 2.8 Distribusi ukuran butir tanah.....	2-13
Gambar 2.9 Kuat geser tanah granuler.....	2-15
Gambar 2.10 Kuat geser tanah kohesif untuk kondisi drained dan undrained.....	2-16
Gambar 2.11 Metode uji geser tanah	2-17
Gambar 2.12 Contoh penggambaran simbol-simbol jenis tanah	2-28
Gambar 2.13 Skema alat kerucut statis dan cara kerja alat (Bowles, 1997)	2-30
Gambar 2.14 Contoh grafik hasil uji sondir.....	2-31
Gambar 2.15 Klasifikasi tanah didasarkan pada hasil uji kerucut statis (sondir)	2-32
Gambar 2.16 Hubungan sudut gesek dalam puncak, ϕ' dan q_c	2-32
Gambar 2.17 Berbagai tipe dinding penahan tanah	2-33
Gambar 2.18 Tekanan Tanah Lateral.....	2-36
Gambar 2.19 Tekanan tanah lateral dan lingkaran Mohr yang mewakili kedudukan tegangan di dalam tanah.....	2-38
Gambar 2.20 Distribusi tekanan tanah aktif pada dinding penahan menurut tipe gerakan dinding.....	2-40
Gambar 2.21 Diagram tekanan tanah aktif Rankine	2-44
Gambar 2.22 Diagram tekanan tanah aktif Rankine ($K_{a1} > K_{a2}$).....	2-48
Gambar 2.23 Diagram tekanan tanah pasif Rankine ($K_{p1} > K_{p2}$).....	2-49
Gambar 2.24 Diagram tekanan tanah aktif akibat beban terbagi rata q untuk teori Rankine	2-50
Gambar 2.25 Gaya-gaya yang bekerja pada dinding penahan tanah	2-51
Gambar 2.26 (a) Stabilitas terhadap penggeseran dan penggulingan, (b) Memperbesar tahanan geser dengan pengunci.....	2-54
Gambar 2.27 (a). Pembebanan fondasi dan bentuk bidang geser,(b). Bentuk keruntuhan dalam analisis kapasitas dukung, (c). Distribusi tekanan tanah pasif pada permukaan BD	2-57
Gambar 2.28 Hubungan ϕ dan N_γ, N_c, N_q (Terzaghi, 1943).....	2-59
Gambar 2.29 Dimensi tipikal dinding penahan tanah.....	2-61
Gambar 2.30 Nodes dan titik tegangan.....	2-68
Gambar 2.31 Spin edit	2-69
Gambar 2.32 Radio buttons	2-70

Gambar 2.33 Check boxes	2-70
Gambar 2.34 Combo boxes.....	2-70
Gambar 2.35 Page control and tab sheets	2-71
Gambar 2.36 General settings - General tab sheet.....	2-72
Gambar 2.37 General settings - Dimensions tab sheet	2-73
Gambar 2.38 Main window of the Input program	2-74
Gambar 2.39 Toolbars.....	2-75
Gambar 3.1 Flow Chart Penelitian.....	3-1
Gambar 3.2 Lokasi Penelitian.....	3-2
Gambar 4.1 Lokasi Pengambilan Sampel.....	4-1
Gambar 4.2 Klasifikasi Jenis Tanah Area Kiri Bronjong	4-3
Gambar 4.3 Klasifikasi Jenis Tanah Area Kanan Bronjong	4-5
Gambar 4.4 Diagram Tekanan Tanah Titik Kiri.....	4-9
Gambar 4.5 Diagram Tekanan Tanah Titik Kanan.....	4-9
Gambar 4.6 Momen Penggulingan Terhadap 0 Titik Kiri	4-13
Gambar 4.7 Momen Penggulingan Terhadap 0 Titik Kanan	4-13
Gambar 4.8 Total Displacements pada Tanah Sebelah Kiri Skenario 1	4-25
Gambar 4.9 Total Displacements pada Tanah Sebelah Kanan Skenario 1	4-25
Gambar 4.10 Grafik SF Terhadap Beban Tanah Sebelah Kiri Skenario 1	4-26
Gambar 4.11 Grafik SF Terhadap Beban Tanah Sebelah Kanan Skenario 1	4-26
Gambar 4.12 Total Displacements pada Tanah Sebelah Kiri Skenario 2.....	4-27
Gambar 4.13 Total Displacements pada Tanah Sebelah Kanan Skenario 2.....	4-27
Gambar 4.14 Grafik SF Terhadap Beban Tanah Sebelah Kiri Skenario 2	4-28
Gambar 4.15 Grafik SF Terhadap Beban Tanah Sebelah Kanan Skenario 2	4-28
Gambar 4.16 Total Displacements pada Tanah Sebelah Kiri Skenario 3.....	4-29
Gambar 4.17 Total Displacements pada Tanah Sebelah Kanan Skenario 3	4-30
Gambar 4.18 Grafik SF Terhadap Beban Tanah Sebelah Kiri Skenario 3	4-30
Gambar 4.19 Grafik SF Terhadap Beban Tanah Sebelah Kanan Skenario 3	4-31

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ukuran bronjong kawat bentuk I	2-4
Tabel 2.2 Ukuran-ukuran bronjong kawat bentuk II.....	2-4
Tabel 2.3 Sistem klasifikasi tanah Unified	2-26
Tabel 2.4 Sistem klasifikasi tanah AASHTO	2-27
Tabel 2.5 Macam tanah dan translasi saat tanah dalam kondisi aktif (Bowles,1997) .2-39	
Tabel 2.6 Nilai-nilai Ko untuk berbagai jenis tanah (Punmia. 1980)	2-41
Tabel 2.7 Nilai-nilai kisaran koefisien tekanan tanah lateral (Bowles, 1977)	2-42
Tabel 2.8 Koefisien tekanan tanah aktif (Ka) teori Rankine.....	2-46
Tabel 2.9 Koefisien tekanan tanah pasif (Kp) teori Rankine	2-47
Tabel 2.10 Koefisien gesek (f) antara dasar fondasi dan tanah dasar (AREA, 1958) .2-53	
Tabel 2.11 Nilai-nilai kapasitas dukung Terzaghi (1943).....	2-60
Tabel 2.12 Beban lalu lintas untuk analisis stabilitas (DPU, 2001) dan beban di luar jalan.....	2-63
Tabel 2.13 Nilai faktor keamanan untuk lereng tanah	2-65
Tabel 2.14 Rekomendasi nilai faktor keamanan untuk lereng batuan	2-65
Tabel 3.1 Soil & Interfaces	3-14
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Laboratorium	4-2
Tabel 4.2 Resume Tekanan Tanah.....	4-12
Tabel 4.3 Perhitungan Berat Sendiri dan Momen Ke-0.....	4-14
Tabel 4.4 Perhitungan Berat Sendiri dan Momen Ke-0 (Lanjutan).....	4-15
Tabel 4.5 Perhitungan Berat Sendiri dan Momen Ke-0 (Lanjutan).....	4-16
Tabel 4.6 Perhitungan Berat Sendiri dan Momen Ke-0 (Lanjutan).....	4-17
Tabel 4.7 Perhitungan Berat Sendiri dan Momen Ke-0 Tekanan Tanah Titik Kiri.4-18	
Tabel 4.8 Perhitungan Berat Sendiri dan Momen Ke-0 Tekanan Tanah Titik Kanan.4-18	
Tabel 4.9 Koefisien Gesek (f) Antara Dasar Fondasi dan Tanah Dasar (AREA, 1958)	4-20
Tabel 4.10 Nilai – Nilai Faktor Kapasitas Dukung Terzagi 1943.....	4-22
Tabel 4.11 Resume Faktor Stabilitas	4-31

DAFTAR SINGKATAN DAN NOTASI

SINGKATAN	Nama	Pemakaian pertama kali pada halaman
V_a	volume udara	2 - 8
V_w	volume air	2 - 8
V_a	volume butiran padat	2 - 8
V_a	volume rongga pori = $V_a + V_w$	2 - 8
V_a	volume total = $V_v + V$	2 - 8
W_s	berat butiran padat	2 - 9
W_w	berat air	2 - 9
W_a	berat udara, dianggap sama dengan nol	2 - 9
γ_w	berat volume air	2 - 9
e_{max}	kemungkinan angka pori maksimum	2 - 10
e_{min}	kemungkinan angka pori minimum	2 - 10
e	angka pori pada keadaan di lapangan	2 - 10
r	tahanan geser tanah atau kuat geser tanah	2 - 14
c	kohesi	2 - 14
σ	tegangan total	2 - 14
u	tekanan air pori	2 - 14
φ	sudut gesek dalam (<i>angel of internal friction</i>)	2 - 22
G		2 - 22
S		2 - 22
C	Kerikil (<i>gravel</i>)	2 - 22
M	Pasir (<i>sand</i>)	2 - 22
O	lempung (<i>clay</i>)	2 - 22
	lanau (<i>silt</i>)	
	lanau atau lempung organik (<i>organic silt or clay</i>)	2 - 22
Pt	tanah gambut dan tanah organik tinggi (<i>peat and highly organic soil</i>)	2 - 22
W	gradasi baik (<i>well - graded</i>)	2 - 22
P	gradasi buruk (<i>poorly - graded</i>)	2 - 22
H	plastisitas tinggi (<i>high - plasticity</i>)	2 - 22
L	plastisitas rendah (<i>low - plasticity</i>)	2 - 23
K_o	koefisien tekanan tanah saat diam	2 - 23
γ	berat volume tanah (kN/m^3)	2 - 41
S_d	tegangan geser yang terjadi pada dinding belakang	2 - 41
c_d	adhesi antara tanah dan dinding belakang	2 - 41
δ		2 - 41
σ	sudut gesek antara tanah dan dinding	2 - 49

q		komponen tegangan normal, yaitu	
H		tekanan lateral yang arahnya tegak	
K_a		lurus permukaan dinding	2 – 49
γ		beban terbagi rata (kN/m ²)	2 – 49
	$\sum Rh$	tinggi dinding penahan (m)	2 – 49
W		koefisien tekanan tanah aktif	
		berat volume tanah (kN/m ³)	2 – 51
δ_h		tahanan dinding penahan tanah terhadap	
		penggeseran	2 – 51
		berat total dinding penahan dan tanah di	
	c_a	atas pelat fondasi (kN)	2 – 51
		sudut gesek antara tanah dan dasar	
	c	fondasi, biasanya diambil $1/3 - (2/3) \phi$	2 – 51
	ad	$a_d \times c =$ adhesi antara tanah dan dasar	
	B	dinding (kN/m ²)	2 – 51
	$\sum Rh$	kohesi tanah dasar (kN/m ²)	2 – 51
	F	faktor adhesi	2 – 51
		lebar fondasi (m)	2 – 51
	$\sum Mh$	jumlah gaya-gaya horizontal (kN)	2 – 51
	$\sum Mgl$	$\text{tg } \delta_b =$ koefisien gesek antara tanah	
		dasar dan dasar fondasi	2 – 54
W		momen yang melawan penggulingan	2 – 54
		(kN.m)	
	B	momen yang mengakibatkan	2 – 54
		penggulingan (kN.m)	
	$\sum P_{ah}$	berat tanah di atas pelat fondasi + berat	2 – 54
	$\sum P_{av}$	sendiri dinding penahan (kN)	2 – 54
c		lebar kaki dinding penahan (m)	2 – 54
D_f		jumlah gaya-gaya horizontal (kN)	2 – 57
γ		jumlah gaya-gaya vertikal (kN)	2 – 57
	B	kohesi tanah (kN/m ²)	2 – 57
	N_c, N_q, N_γ	kedalaman fondasi (m)	2 – 57
	K_a	berat volume tanah (kN/m ³)	3 – 14
	K_p	lebar fondasi dinding penahan tanah	3 – 14
	\emptyset	(m)	3 – 14
	P_q	faktor-faktor kapasitas dukung Terzaghi	3 – 14
	P_a	Koefisien tanah aktif	3 – 14
	P_p	Koefisien tanah pasif	3 – 14
	Q	Sudut geser (°)	3 – 14
	H	Tekanan terhadap beban tambahan	3 – 14
SFG_{uling}		(kN/m)	3 – 14
Mr_{Mo}		Tekanan tanah aktif (kN/m)	3 – 14
		Tekanan tanah pasif (kN/m)	3 – 14
		Beban lalu lintas (kN/m ²)	
		Kedalam tanah (m)	
		Faktor stabilitas terhadap guling	
		Momen penahan	
		Momen pengguling	

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Administrasi Penelitian

Lampiran 2. Lembar Asistensi

Lampiran 3. Hasil Pengolahan

LaboratoriumLampiran 4. Gambar

Desain Eksisting

Lampiran 5. Berita Acara Perbaikan Tugas Akhir

ABSTRAK

EVALUASI PERKUATAN LERENG DINDING PENAHAN TANAH JALAN CIBEREUM KECAMATAN KERTASARI KABUPATEN BANDUNG

Oleh
Adithya Ramadhan
NIM. 2112171042

Perpindahan pembentuk lereng berupa batuan, bahan rombakan, tanah atau material campuran, bergerak ke bawah atau keluar lereng yang mengakibatkan tanah menjadi longsor. Penyebab tanah longsor bisa di tanggulangi salah satunya dengan membuat dinding penahan tanah. Dinding ini berfungsi sebagai penahan tekanan tanah lateral yang berupa tekanan tanah aktif dan tekanan tanah pasif. Kedua tekan tersebut merupakan parameter dari faktor keamanan stabilitas lereng, dimana faktor tersebut yang menyatakan bahwa dinding penahan tanah tersebut stabil terhadap stabilitas pengguling, penggeser dan kapasitas daya dukung tanah. Kesetabilan lereng didapat berdasarkan nilai faktor keamanan dari suatu lereng menggunakan perhitungan secara manual dengan menggunakan metode Rankin dan metode Terzaghi dibandingkan terhadap nilai faktor keamanan pada SNI 8640-2017 selain itu dapat menggunakan *software* plaxis 8 untuk mendapatkan nilai faktor keamanan tersebut. Hasil dari analisa dua titik kesetabilan lereng dinding penahan tanah yang berada di Jalan Cibereum Kecamatan Kertasari Kabupaten Bandung, dapat dilihat bahwa perhitungan secara manual didapat faktor keamanan terhadap penggulingan titik kiri $2.069 > 2$ (stabil) dan titik kanan $4.545 > 2$ (stabil), penggeseran titik kiri $0.765 > 1.5$ (tidak stabil) dan titik kanan $1.653 > 1.5$ (stabil) dan kapasitas daya dukung tanah titik kiri $14.192 > 3$ (Stabil) dan titik kanan $2.401 > 3$ (tidak stabil). Sedangkan hasil dari penggunaan software Plaxis 8 didapat nilai faktor keamanan senilai (tidak aman) untuk titik kiri 0.95 dan untuk titik kanan 1.065.

Kata Kunci: *Stabilitas Geser, Stabilitas Guling, Stabilitas Daya Dukung*

ABSTRACT

STRENGTHENING EVALUATION OF SOIL WALL SLOPES ON CIBEREUM ROAD, KECAMATAN KERTASARI, BANDUNG DISTRICT

By

Adithya Ramadhan

NIM. 2112171042

Slope-forming movements in the form of rock, scrap material, soil or mixed material, moving down or out of the slope which results in landslides. One of the causes of landslides can be overcome by making a retaining wall. This wall functions as a barrier to lateral soil pressure in the form of active soil pressure and passive soil pressure. Both of these pressures are parameters of the safety factor of slope stability, where this factor states that the retaining wall is stable against the stability of rolling, shifting and soil bearing capacity. Slope stability is obtained based on the value of the safety factor of a slope using manual calculations using the Rankin method and the Terzaghi method compared to the value of the safety factor on SNI 8640-2017. Besides that, you can use the Plaxis 8 software to get the safety factor value. The results of the two-point analysis of the stability of the slope of the retaining wall located at Jalan Cibereum, Kertasari District, Bandung Regency, it can be seen that the manual calculation shows that the safety factor for overturning the left point is $2.069 > 2$ (stable) and the right point is $4.545 > 2$ (stable). left point $0.765 > 1.5$ (unstable) and right point $1.653 > 1.5$ (stable) and the ground bearing capacity of left point $14.192 > 3$ (Stable) and right point $2.401 > 3$ (unstable). While the results of using the Plaxis 8 software, the value of the safety factor is (unsafe) for the left point 0.95 and 1.065 for the right point.

Keywords : *Overturning, Sliding, Bearing Capacity*

BAB 1

Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Air yang meresap kedalam tanah akan menambah bobot tanah. Jika air tersebut menembus sampai tanah kedap air yang berperan sebagai bidang gelincir, maka tanah menjadi licin dan tanah pelapukan di atasnya akan bergerak mengikuti lereng dan keluar lereng. Hal tersebut menyebabkan tanah menjadi longsor.

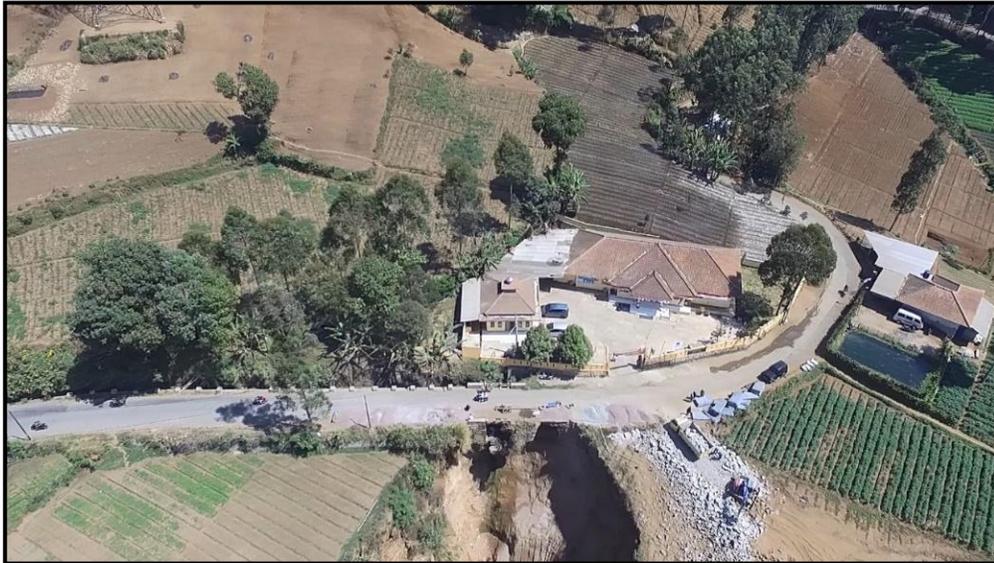
Menurut Muntige Agus Setyo Tanah longsor adalah perpindahan pembentuk lereng berupa batuan, bahan rombakan, tanah atau material campuran tersebut, bergerak ke bawah atau keluar lereng.

Pada tahun 2018 di Jalan Cibereum Kecamatan Kertasari Kabupaten Bandung (Gambar 1.1) terjadi tanah longsor yang diakibatkan karena aliran sungai yang langsung terbuang ke lereng tersebut. (Gambar 1.1).



Gambar 1.1 Tanah Longsor di Jalan Cibereum Kecamatan Kertasari

Satuan Kerja Perangkat Daerah Dinas Pekerjaan Umum dan Tata Ruang Kabupaten Bandung melakukan penanggulangan atas terjadinya longsor tersebut dengan memasang bronjong kawat di lereng.



Gambar 1.2 Lokasi Penelitian

Dalam SNI 03-0090-1999 bronjong adalah kotak yang dibuat dari anyaman kawat baja berlapis seng yang pada penggunaannya diisi batu-batu untuk pencegahan erosi yang dipasang pada tebing-tebing, tepi-tepi sungai, yang proses penganyamannya dengan menggunakan mesin.

Bronjong rawan dari tangan-tangan yang tidak bertanggung jawab karena bronjong terbuat dari kawat dan di tempatkan di atas tanah. Kekokohan bronjong hanya akibat berat sendiri, sehingga jika terjadi tekanan yang lebih besar dari berat sendiri, akan terjadi pergeseran konstruksi bronjong.

Oleh karena itu, penyusun melakukan pendekatan dengan mengevaluasi stabilitas dinding penahan tanah serta mengidentifikasi keadaan tanah di lokasi tersebut. Dengan menggunakan bantuan *software* plaxis, apakah desain tersebut tahan terhadap stabilitas lereng tersebut.

1.2. Rumusan Masalah

Dalam penulisan tugas akhir permasalahan yang menjadi fokus dalam tugas akhir adalah apakah desain tersebut tahan terhadap stabilitas.

1.3. Ruang Lingkup Penelitian

Untuk lebih fokus dan tepat sasaran dalam pengerjaan tugas akhir, maka penulis batasi diantaranya :

- a. Evaluasi desain terhadap terhadap stabilitas lereng (SNI 8640-2017).
- b. Uji lapangan dan uji laboratorium (SNI 3420-2016, SNI 1965;2008, SNI 1964:2008, dan SNI 3423:2008)

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan diadakanya evaluasi ini untuk mengetahui kekuatan desain terhadap stabilitas lereng tanah.

1.5. Sistematika Penulisan

Dalam penyajian sebagai Tugas Akhir akan dibahas dan dijelaskan dengan lima bab, dengan rincian sebagai berikut :

1.5.1. Bab I Pendahuluan

Mengenai latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup penelitian, tujuan penelitian, manfaat penulisan, serta sistematika penulisan.

1.5.2. Bab II Landasan Teori

Bab ini berisi mengenai dasar teori yang akan digunakan untuk memberikan landasan yang kuat.

1.5.3. Bab III Metode Penelitian

Bab ini berisi mengenai langkah-langkah atau cara-cara atau pendekatan evaluasi stabilitas lereng dinding penahan tanah, serta identifikasi keadaan tanah di lokasi tersebut.

1.5.4. Bab IV Pembahasan

Bab ini membahas evaluasi stabilitas lereng dinding penahan tanah seperti kekuatan desain terhadap stabilitas lereng tanah dengan perbandingan menggunakan bantuan *software* Plaxis.

1.5.5. Bab V Penutup

Bagian ini merupakan bab penutup yang berisikan mengenai kesimpulan dan saran yang dapat diambil dari hasil penelitian dalam tugas akhir ini.

BAB 2

Landasan Teori

2.1. Pengertian Longsor

Menurut Agus Setyo Muntohar, tanah longsor adalah perpindahan material pembentuk lereng-lereng berupa batuan, bahan rombakan, tanah, atau material campuran tersebut, bergerak ke bawah atau keluar lereng.

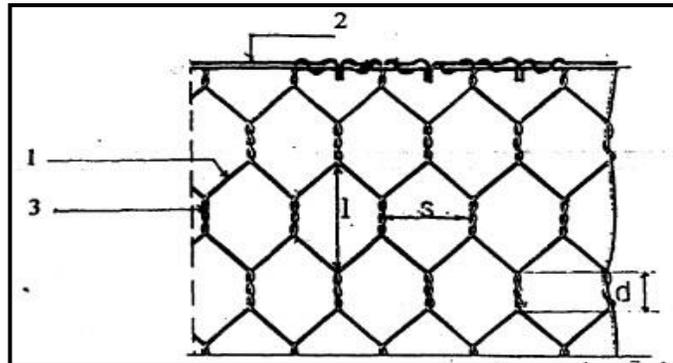
Proses terjadinya longsor karena air yang meresap ke dalam tanah akan menambah bobot tanah. Jika air tersebut menembus sampai tanag kedap air yang berperansebagai bidang gelincir, maka tanah menjadi licin dan tanag pelapukan di atasnya akanbergerak mengikuti lereng dan keluar lereng.

2.2. Bronjong

Bronjong adalah sebuah anyaman dari bahan/material kawat, atau dari belahan-belahan bambu, yang diisi dengan batu-batu. Konstruksi yang terbuat dari bronjong memiliki sifat tidak permanen. Pemanfaat bronjong biasanya dipergunakan untuk melindungi dan memperkuat tebing tanah, baik lereng sungai maupun lereng tanggul, demikian juga berfungsi untuk menjaga tepi sungai terhadap gerusan arus aliran air yang dapat merusak tebing, dan dapat dipergunakan untuk bendung guna meningkatkan taraf muka air. Seiring dengan kemajuan zaman bronjong juga dapat dimanfaatkan untuk menambahkan keindahan kota, yaitu dimanfaatkan untuk teras kota.

Menurut SNI 03-0090-1999 definisi Bronjong Kawat adalah kotang dibuat dari anyaman kawat baja berlapis seng yang pada penggunaannya diisi batu-batu untuk pencegahan erosi yang dipasang pada tebing-tebing tepi-tepi sungai, yang proses penganyamannya dengan menggunakan mesin. Syarat umum bronjong kawqat harus kokoh, bentuk anyaman heksagonal dengan lilitan ganda dan berjarak maksimum 40 mm dan harus simetri. Lilitan harus erat dan tidak terjadi kerenggangan, hubungan

antara kawat sisi dan kawat anyaman dililit minimum 3 kali sehingga bronjong kawat mampu menahan beban dari segala jurusan (Gambar 2. 1).

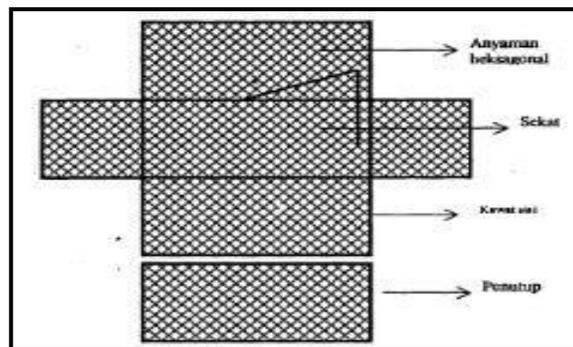


Gambar 2.1 Bronjong Kawat
 Sumber: SNI 03-0090-1999, bronjong kawat

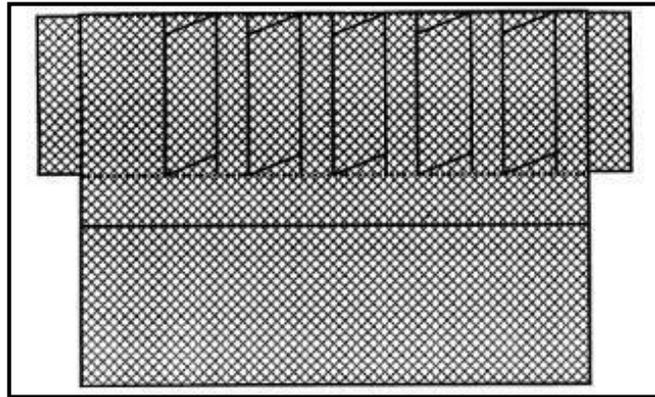
Keterangan :

1. Kawat anyaman
2. Kawat sisi
3. Lilitan ganda
- S. Lebar anyaman
- d. panjang lilitan
- L. Panjang anyaman

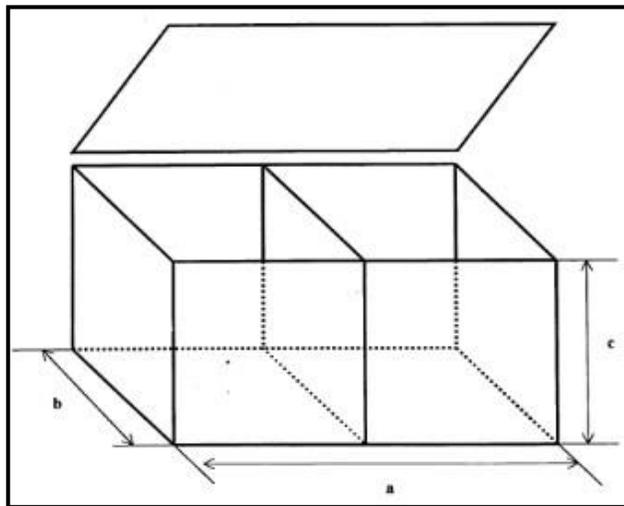
Bronjong kawat memiliki bentuk seperti pada Gambar 2.2 dan Gambar 2.3 apabila disetel akan berbentuk kotak persegi panjang dengan lempengan-lempengan anyaman kawat penyekat pada tiap-tiap jarak 1 m (Gambar 2.4 dan Gambar 2.5)



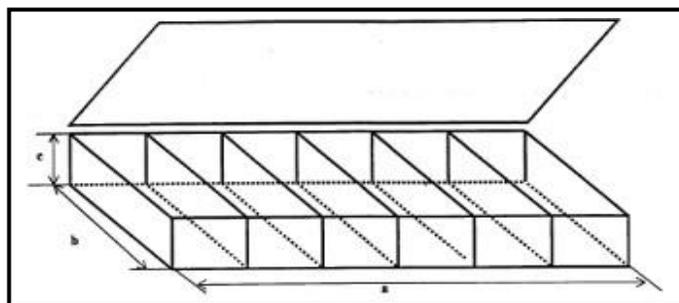
Gambar 2.2 Bronjong kawat bentuk I sebelum disetel menjadi kotak
 Sumber: SNI 03-0090-1999, bronjong kawat



Gambar 2.3 Bronjong bentuk II sebelum disetel menjadi kotak
Sumber: SNI 03-0090-1999, bronjong kawat



Gambar 2.4 Bronjong kawat bentuk I setelah disetel menjadi kotak
Sumber: SNI 03-0090-1999, bronjong kawat



Gambar 2.5 Bronjong kawat bentuk II setelah disetel menjadi kotak
Sumber: SNI 03-0090-1999, bronjong kawat

bronjong kawat bentuk I dan bentuk II dapat dilihat pada tabel d

Tabel 2.1 Ukuran bronjong kawat bentuk I

Kode	Ukuran dalam meter			Jumlah sekat	Kapasitas M3
	a	b	c		
A	2	1	1	1	2
B	3	1	1	2	3
C	4	1	1	3	4
D	2	1	0.5	1	1
E	3	1	0.5	2	1.5
F	4	1	0.5	3	2

Sumber : SNI 03-0090-1999, bronjong kawat

Kolom kode menunjukkan ukuran bronjong kawat sedangkan ukuran anyaman bronjong kawat 800 x 100 mm, diameter kawat anyaman 2.70 mm, kawat sisi 3.40 mm, anyaman pengikat 2 mm. Dan untuk ukuran anyaman bronjong 100 x 120 mm, diameter kawat anyaman 3,00 mm, kawat sisi 4.00 mm dan diameter kawat pengikat 2.0 mm. Toleransi ukuran kotak (lebar, tinggi dan panjang) sebesar 5%

Tabel 2.2 Ukuran-ukuran bronjong kawat bentuk II

Kode	Ukuran dalam meter			Jumlah sekat	Kapasitas M3
	a	b	c		
G	6	2	0.17	5	2.04
H	6	2	0.23	5	2.76
I	6	2	0.30	5	3.60

Sumber : SNI 03-0090-1999, bronjong kawat

Kolom kode menunjukkan ukuran bronjong kawat sedangkan ukuran anyaman bronjong kawat 60 x 80 mm, diameter kawat anyaman 2 mm, kawat sisi 2.70 mm, anyaman pengikat 2 mm. Dan untuk ukuran anyaman bronjong 80 x 100 mm, diameter kawat anyaman 2.70 mm, kawat sisi 3.40 mm dan diameter kawat pengikat 2.0 mm. Toleransi ukuran kotak (lebar, tinggi dan panjang) sebesar 5 %

2.3. Tanah

Tanah, di alam terdiri dari campuran butiran-butiran mineral dengan atau tanpa kandungan bahan organik. Butiran-butiran dengan mudah dipisah-pisahkan satu sama lain dengan kocokan air. Tanah berasal dari pelapukan batuan, yang prosesnya dapat secara fisik maupun kimia. Sifat-sifat teknis tanah, kecuali dipengaruhi oleh sifat batuan induk yang merupakan material asalnya, juga dipengaruhi oleh unsur-unsur luar yang menjadi penyebab terjadinya pelapukan batuan tersebut. Istilah-istilah seperti kerikil, pasir, lanau dan lempung digunakan dalam teknik sipil untuk membedakan jenis-jenis tanah. Pada kondisi alam, tanah dapat terdiri dari dua atau lebih campuran jenis-jenis tanah dan kadang-kadang terdapat pula kandungan bahan organik. Material campurannya, kemudian dipakai sebagai nama tambahan di belakang material unsur utamanya. Sebagai contoh, pasir berlempung adalah pasir yang mengandung lempung, dengan material utama pasir; lempung berlanau adalah lempung yang mengandung lanau, dengan material utamanya adalah lempung dan seterusnya.

2.3.1. Identifikasi Tanah

Tanah berbutir kasar dapat diidentifikasi berdasarkan ukuran butiran. Bergantung klasifikasi yang digunakan, jika dipakai MIT *nomenclature*, butiran-butiran yang berdiameter lebih besar dari 2 mm, diklasifikasikan sebagai kerikil. Jika butiran dapat dilihat oleh mata, tetapi ukurannya kurang dari 2 mm, disebut pasir. Tanah pasir disebut pasir kasar jika diameter butiran berkisar antara 2 - 0,6 mm, pasir sedang jika diameternya antara 0,6 - 0,2 mm, dan pasir halus bila diameternya antara 0,2 - 0,06 mm.

Dalam ASTM D2487, pembagian klasifikasi butiran tanah adalah sebagai berikut:

- a) *Cobble* adalah partikel-partikel batuan yang lolos saringan 12 in (300 mm) dan tinggal dalam saringan 3 in (75 mm) (untuk saringan dengan lubang bujursangkar standar Amerika).
- b) *Boulder* adalah partikel-partikel batuan yang tidak lolos dalam saringan 12 in. (300 mm) (untuk saringan dengan lubang bujursangkar).

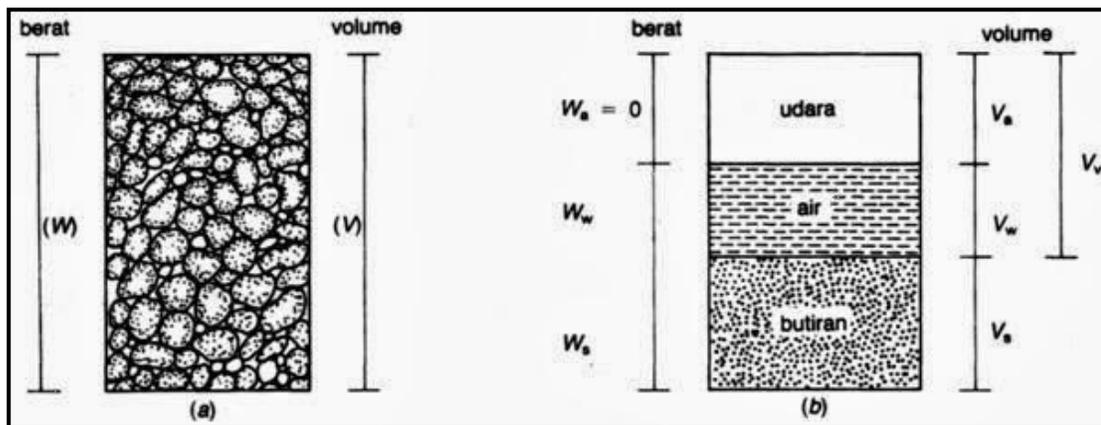
- c) Kerikil adalah partikel-partikel batuan yang lolos saringan 3 in. (75 mm) dan tertahan dalam saringan no. 4 (4,75 mm).
- d) Pasir adalah partikel-partikel batuan yang lolos saringan no. 4 (4,75 mm) dan tinggal dalam saringan no. 200 (0,075 mm), dengan pembagian sebagai berikut:
- Pasir kasar - butirannya lolos saringan no. 4 (4,75 mm) dan tertahan dalam saringan no. 10 (2 mm).
 - Pasir sedang - butirannya lolos saringan no. 10 (2 mm) dan tertahan dalam saringan no. 40 (0,425 mm).
 - Pasir halus - butirannya lolos saringan no. 40 (0,425 mm) dan tertahan dalam saringan no. 200 (0,075 mm).
- e) Lanau adalah tanah yang butirannya lolos saringan no. 200 (0,075 mm). Untuk klasifikasi, lanau adalah tanah berbutir halus, atau fraksi halus dari tanah dengan indeks plastisitas kurang dari 4, atau jika diplot dalam grafik plastisitas letaknya di bawah garis miring yang memisahkan antara lanau dan lempung (garis-A). Lanau anorganik merupakan tanah berbutir halus yang terdiri dari fraksi-fraksi tanah mikroskopis yang mengembangkan plastisitas atau kohesi. Plastisitas menjadi kecil jika terdapat kandungan butiran halus dan bulat *quart* dan disebut tepung batu. Jenis lanau yang lebih plastis mengandung banyak butiran berbentuk serpihan-serpihan yang disebut lanau plastis.

Lempung adalah tanah berbutir halus yang lolos saringan no. 200 (0,075 mm). Lempung mempunyai sifat plastis dalam kisaran kadar air tertentu, dan kekuatannya tinggi bila tanahnya pada kondisi kering udara. Untuk klasifikasi, lempung adalah tanah berbutir halus dengan indeks plastisitas lebih dari 4, atau jika diplot dalam grafik plastisitas letaknya pada atau di atas garis miring yang memisahkan antara lanau dan lempung (garis A). Butiran lempung lebih halus dari lanau, merupakan kumpulan butiran mineral kristalin yang bersifat mikroskopis dan berbentuk serpih-serpih atau pelat-pelat. Material ini bersifat plastis, kohesif dan mempunyai kemampuan menyerap ion-ion. Sifat-sifat tersebut sangat dipengaruhi oleh kandungan air dalam tanah.

Menurut Peck *et al.* (1953), cara membedakan antara lanau dan lempung, adalah dengan mengambil tanah basah yang dicetak dan dikeringkan, kemudian dipecah ke dalam fragmen-fragmen kira-kira berukuran 118 in. (3,1 mm) dan ditekan di antara jari telunjuk dan ibu jari. Fragmen lempung hanya dapat pecah jika ditekan dengan usaha yang relatif besar, sedang fragmen lanau dapat dipecah dengan mudah bila ditekan.

2.3.2. Kadar Air, Angka Pori, Porositas, dan Berat Volume Tanah

Tanah terdiri dari 3 komponen, yaitu: udara, air dan bahan padat. Udara dianggap tidak mempunyai pengaruh teknis, sedang air sangat mempengaruhi sifat-sifat teknis tanah. Ruang di antara butiran-butiran, sebagian atau seluruhnya dapat terisi oleh air atau udara. Bila rongga tersebut terisi air seluruhnya, tanah dikatakan dalam kondisi jenuh. Bila rongga terisi oleh udara dan air, tanah pada kondisi jenuh sebagian (*partially saturated*). Tanah kering adalah tanah yang tidak mengandung air sama sekali atau kadar airnya nol. Hubungan-hubungan antara kadar air, angka pori, porositas, berat volume, dan lain-lainnya tersebut sangat diperlukan dalam praktek. Gambar 2.6 memperlihatkan diagram fase tanah beserta komponen-komponennya.



Gambar 2.6 Diagram fase tanah

Sumber : Analisis & Perancangan Fondasi Bagian I, Hary Christady

Angka pori (e), didefinisikan sebagai perbandingan antara rongga (V_v) dengan volume butiran (V_s), biasanya dinyatakan dalam desimal

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (2.1)$$

Porositas (n), adalah perbandingan antara volume rongga (V_v) dengan volume total (V). Nilai n dapat dinyatakan dalam persen atau desimal

$$n = \frac{V_v}{V} \quad (2.2)$$

Hubungan antara e dan n , adalah

$$n = \frac{e}{1 + e} \quad (2.3)$$

atau

$$e = \frac{n}{1 - n} \quad (2.4)$$

dengan :

V_a = volume udara

V_w = volume air

V_a = volume butiran padat

V_a = volume rongga pori = $V_v + V_w$

V_a = volume total = $V_v + V_s$

Kadar air (w) :

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad (2.5)$$

Berat volume kering (γ_d) :

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (2.6)$$

Berat volume basah (γ_b) :

$$\gamma_b = \frac{W_s + W_w + W_a}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} \quad (2.7)$$

Berat udara (W_a) dianggap sama dengan nol.

Berat volume butiran padat (γ_s)

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \quad (2.8)$$

Berat jenis atau berat spesifik (*specific gravity*) (G_s)

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (2.9)$$

dengan :

$$V_a = W_s + W_w + W_a = W_s + W_w$$

W_s = berat butiran padat

W_w = berat air

W_a = berat udara, dianggap sama dengan nol

γ_w = berat volume air

Derajat kejenuhan (S), adalah perbandingan volume air (V_w) dengan volume rongga pori tanah (V_v), atau

$$S = \frac{V_w}{V_v} \times 100 \quad (2.10a)$$

Hubungan w , G_s dan e adalah :

$$S = \frac{wG_s}{e} \quad (2.10b)$$

Bila tanah dalam keadaan jenuh air ($S = 1$), berlaku :

$$e = wG_s \quad (2.10c)$$

Dari persamaan-persamaan diatas dapat dibentuk hubungan sebagai berikut :

$$\gamma_b = \frac{G_s \gamma_w (1+w)}{1+e} \quad (2.11a)$$

Berat voume basah (γ_b) dapat dinyatakan dalam hubungannya dengan berat volume kering (γ_d) dan kadar air (w):

$$\gamma_b = \gamma_d(1 + w) \quad (2.11b)$$

Hubungan antara γ_b , n , G_s dan w :

$$\gamma_b = G_s \gamma_w (1 - n)(1 + w) \quad (2.11c)$$

Berat volume jenuh ($S = 1$) :

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_w(G_s+e)}{1+e} \quad (2.12)$$

Berat volume kering (dalam pekerjaan di lapangan disebut kepadatan) :

$$\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1+e} \quad (2.13a)$$

Dari Persamaan (1.11c), bila $w = 0$ (tanah kering),

$$\gamma_d = G_s \gamma_w (1 - n) \quad (2.13b)$$

Bila tanah terendam air, berat volume apung (*bouyant unit weight*) atau berat volume efektif (γ'), dinyatakan dengan :

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w \quad (2.14a)$$

Berat volume air, $\gamma_w = 1 \text{ t/m}^3 = 9,81 \text{ kN/m}^3$

Dapat pula dinyatakan dalam :

$$\gamma' = \frac{(G_s - 1)\gamma_w}{1 + e} \quad (2.14b)$$

atau

$$\gamma' = (1 - n)(G_s - 1)\gamma_w \quad (2.14c)$$

Kerapatan relatif (*relative density*) (D_r) umumnya dipakai untuk menunjukkan tingkat kepadatan tanah berbutir kasar di lapangan, yang dinyatakan dalam persamaan:

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \quad (2.15)$$

dengan :

e_{max} = kemungkinan angka pori maksimum

e_{min} = kemungkinan angka pori minimum

e = angka pori pada keadaan di lapangan

Kemungkinan angka pori terbesar atau kondisi terlonggar dari suatu tanah disebut angka pori maksimum (e_{max}), sedang angka pori minimum (e_{min}) adalah kemungkinan angka pori pada kondisi terpadat yang dapat dicapai oleh tanah.

Pada tanah pasir dan kerikil, kerapatan relatif digunakan untuk menyatakan hubungan antara angka pori nyata dengan batas-batas maksimum dan minimum dari angka porinya. Persamaan (2.13) dapat dinyatakan dalam persamaan, sebagai berikut:

$$\gamma_{d(maks)} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + e_{min}} \quad (2.16a)$$

atau

$$\gamma_{d(min)} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + e_{maks}} \quad (2.16b)$$

Dari Persamaan (2.15) dan (2.16), dapat ditentukan persamaan :

$$D_r = \left(\frac{\gamma_d(maks)}{\gamma_d} \right) \left(\frac{\gamma_d - \gamma_d(min)}{\gamma_d(maks) - \gamma_d(min)} \right) \quad (2.17)$$

Dengan $\gamma_d(maks)$ dan $\gamma_d(min)$ berturut-turut adalah berat volume kering maksimum dan minimum pada tanah yang ditinjau. Kerapatan relatif dinyatakan dalam persen.

Kepadatan relatif (*relative compaction*) (R_c) didefinisikan sebagai nilai banding berat volume kering pada kondisi di lapangan dengan berat volume kering maksimumnya:

$$R_c = \frac{\gamma_d}{\gamma_{d_{maks}}} \quad (2.18)$$

R_c dinyatakan dalam persen.

2.3.3. Analisis Ukuran Butiran

Di alam, tanah terdiri dari berbagai macam ukuran butiran, dari yang terbesar sampai yang terkecil. Dalam Gambar 2.7, ditunjukkan pembagian nama jenis tanah didasarkan pada ukuran butiran menurut *Unified Classification System*, ASTM, MIT *nomenclature* dan *International Nomenclature*. Pembagian nama jenis tanah, umumnya dapat dibagi menjadi sebagai berikut:

- a) Batuan, adalah butiran yang berdiameter lebih besar dari 3".
- b) Kerikil adalah butiran yang tinggal dalam saringan berdiameter 2 mm (no. 10).
- c) Pasir adalah butiran yang tinggal dalam saringan berdiameter 0,075 mm (no. 200).
- d) Lanau dan lempung adalah butiran yang lolos saringan berdiameter 0,075 mm (no. 200).

Variasi ukuran butir tanah dan proporsi distribusinya merupakan indikator yang sangat berguna untuk mengetahui perilaku tanah dalam mendukung beban fondasi. Sebagai contoh, jika tanah terdiri dari berbagai macam ukuran butiran, maka tanah tersebut akan lebih padat dan stabil dibandingkan dengan tanah yang terdiri dari butiran-butiran yang seragam. Karena tanah yang berisi berbagai macam ukuran butiran mempunyai sifat-sifat yang baik, maka tanah ini disebut bergradasi-baik (*well graded*). Sebaliknya, tanah yang terdiri dari sedikit variasi ukuran butiran, kurang dapat mendukung beban dengan baik. Tanah ini disebut tanah bergradasi-buruk

(*poorly-graded*), yang umumnya sangat sulit dipadatkan, terutama saat kering. Pasir laut umumnya bergradasi buruk (gradasi seragam) dan tidak dapat dipadatkan dengan baik, sehingga tidak dapat mendukung beban yang besar. Tanah dengan ukuran butiran yang seragam juga bergradasi buruk.

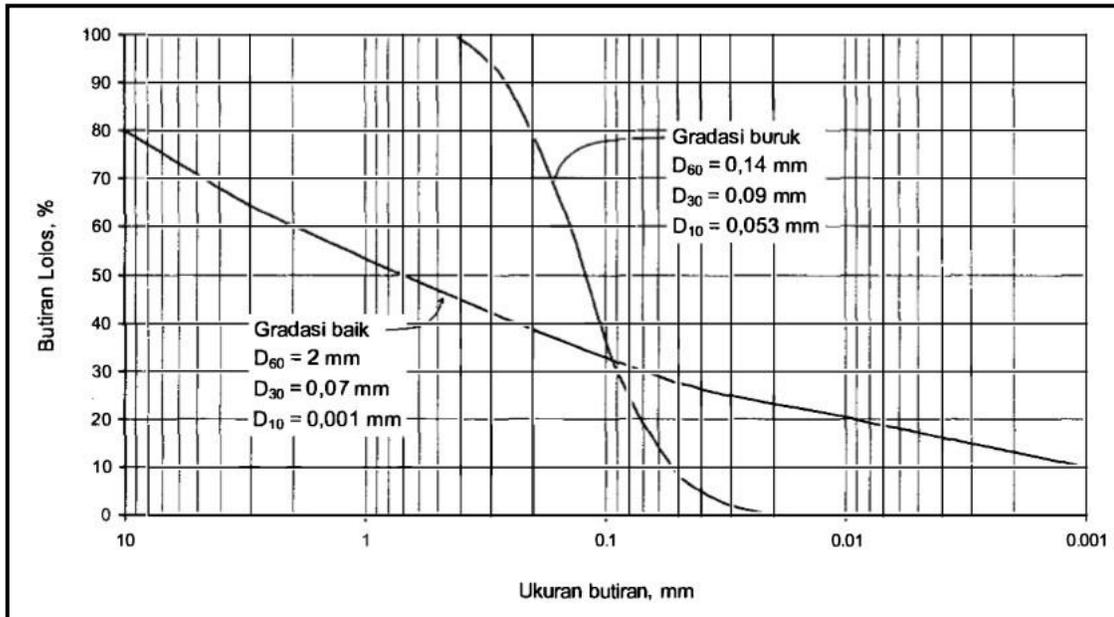
Di laboratorium, untuk mengetahui proporsi distribusi butiran, dilakukan analisis saringan dan uji sedimentasi atau uji hidrometer. Contoh hasil pengujian disajikan dalam Gambar 2.8.

Dalam analisis butiran, D_w yang disebut ukuran efektif (*effective size*), didefinisikan sebagai berat butiran total yang mempunyai diameter butiran lebih kecil dari ukuran tertentu. $D_{10} = 0,5$ mm, artinya 10% dari berat butiran total berdiameter kurang dari 0,5 mm. Dengan cara yang sama, D_{30} dan D_{60} didefinisikan seperti cara tersebut.

Unified Class system	1.7 mm 0.38 0.075												
	kasar	sedang		halus		Butiran halus (lanau dan lempung)							
pasir													
ASTM	2.0 mm 0.42 0.075 0.005 0.001												
	pasir sedang		pasir halus		Lanau		Lempung		Lempung koloidal				
MIT nomenclature	2.0 mm 0.6 0.2 0.06 0.02 0.006 0.002 mm												
	kasar			sedang		halus		kasar		sedang		halus	
	pasir			Lanau				Lempung					
International nomenclature	2.0 mm 1.0 0.5 0.2 0.1 0.05 0.02 0.006 0.002 mm												
	sangat kasar		kasar	sedang	halus	kasar	halus	kasar		halus	kasar	halus	sangat halus
pasir				Mo		Lanau			Lempung				

Gambar 2.7 Klasifikasi butiran menurut Sistem Unified, ASTM, MIT, International Nomenclature

Sumber : Analisis & Perancangan Fondasi Bagian I, Hary Christady



Gambar 2.8 Distribusi ukuran butir tanah

Sumber : Analisis & Perancangan Fondasi Bagian I, Hary Christady

Kemiringan dan bentuk umum dari kurva distribusi butiran dinyatakan oleh koefisien keseragaman, C_u (*coefficient of uniformity*) dan koefisien gradasi atau koefisien kurva, C_c (*coefficient of gradation* atau *coefficient of curvature*), yang diberikan menurut persamaan:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (2.19)$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{60})(D_{10})} \quad (2.20)$$

Untuk pasir, tanah bergradasi baik, jika $1 < C_c < 3$ dengan $C_u > 4$. Kerikil bergradasi baik, jika $1 < C_c < 3$ dengan $C_u > 6$. Bila persyaratan C_c telah terpenuhi, dan nilai $C_u > 15$, maka tanah termasuk bergradasi sangat baik.

Distribusi ukuran butir tanah berbutir kasar ditentukan dari analisis saringan. Ukuran saringan terkecil, umumnya, dipakai saringan nomer 200 standar Amerika atau ukuran diameter lubang 0,075 mm. Karena ukuran ini sangat dekat dengan batas ukuran butiran lanau dan pasir, maka saringan nomer 200 sering dipakai untuk memisahkan antara material berbutir kasar dan yang berbutir halus ketika hanya dipakai analisis saringan saja. Butiran-butiran yang lolos saringan no. 200 diuji dengan cara sedimentasi atau hidrometer.

2.3.4. *Kuat Geser*

Kuat geser tanah dapat dinyatakan dalam persamaan Coulomb :

$$r = c + (\sigma - u) \operatorname{tg} \varphi \quad (2.21)$$

dengan :

r = s = tahanan geser tanah atau kuat geser tanah

c = kohesi

σ = tegangan total

u = tekanan air pori

φ = sudut gesek dalam (*angel of internal friction*)

Dalam persamaan kuat geser tanah, τ sering dituliskan sebagai s . Komponen kohesi tidak bergantung pada tegangan normal. Sebaliknya, komponen tahanan gesek bergantung pada besarnya tegangan normal.

Karena tanah berbutir kasar tidak mempunyai komponen kohesi ($c = 0$), maka kuat gesernya hanya bergantung pada gesekan antar butir tanah. Tanah-tanah semacam ini disebut tanah granuler atau tanah tak kohesif atau tanah non-kohesif. Sebaliknya, tanah yang banyak mengandung butiran halus, seperti: lempung, lanau, dan koloid, disebut tanah berbutir halus atau tanah kohesif.

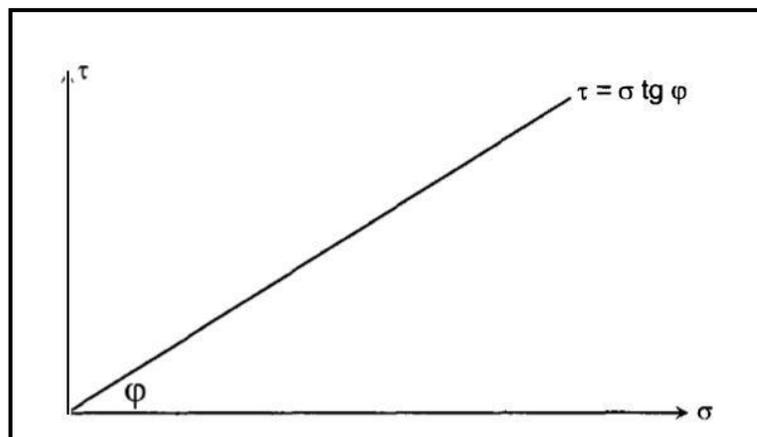
a) Tanah Granuler

Tanah granuler mempunyai tahanan geser yang berupa gesekan. Tahanan gesernya merupakan fungsi dari tegangan normal. Jika tegangan normal besar, tahanan geser

juga besar. Pada Gambar 2.9, dilihatkan bahwa kuat geser tanah granuler bertambah secara langsung dengan kenaikan tegangan normal. Tegangan normal adalah tegangan yang bekerja tegak lurus pada bidang gesernya. Jika tanah granuler kering dan tegangan normal nol, tahanan geser juga nol. Bila tanah basah, kemungkinan tanah ini dapat mempunyai kohesi yang lemah. Namun kohesi tersebut tidak boleh diperhitungkan sebagai bagian dari kuat geser tanah bila dipakai dalam perancangan fondasi.

b) Tanah Kohesif

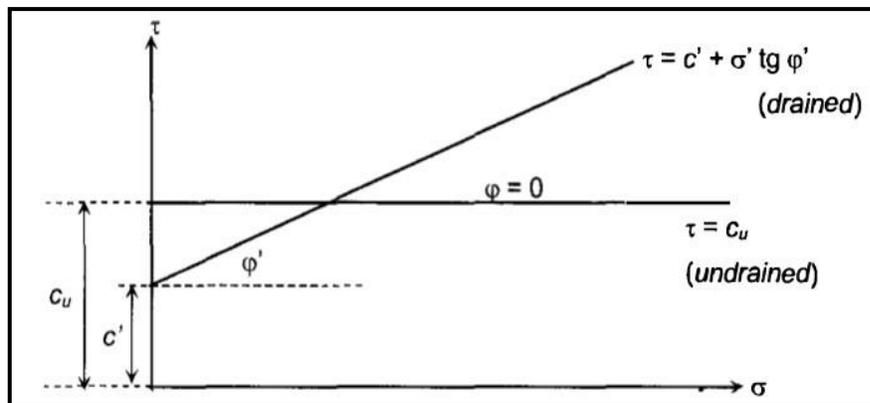
Jika beban diterapkan pada tanah kohesif yang jenuh, maka pertama kali beban tersebut akan didukung oleh tekanan air dalam rongga pori tanah. Pada kondisi ini, butiran-butiran lempung tidak dapat mendekat satu sama lain untuk mengembangkan tahanan geser selama air di dalam rongga pori tidak meninggalkan rongga tersebut. Karena rongga pori tanah lempung sangat kecil, keluarnya air meninggalkan rongga pori memerlukan waktu yang lama. Jika sesudah waktu yang lama setelah air dalam rongga pori berkurang, butiran-butiran lempung mendekat satu sama lain, sehingga tahanan geser tanahnya berkembang. Masalah ini tidak dijumpai pada tanah granuler yang rongga porinya relatif besar, karena sewaktu beban diterapkan, air langsung meninggalkan rongga pori dan butiran dapat mendekat satu sama lain yang mengakibatkan tahanan gesernya langsung berkembang.



Gambar 2.9 Kuat geser tanah granuler

Sumber : Analisis & Perancangan Fondasi Bagian I, Hary Christady

Dalam tanah kohesif, untuk memperoleh nilai kuat gesernya, penting untuk mengetahui besarnya tekanan air pori (u) dalam tiap tahap pengujian. Jika uji kuat geser, misalnya uji triaksial, dilakukan pada tekanan kekang (σ_3) yang berbeda dengan tanpa memberikan waktu untuk keluarnya air pori meninggalkan tanah (kondisi tak terdrainase atau *undrained*), maka pada setiap pengujian, untuk contoh tanah yang identik atau sama, akan diperoleh tegangan-tegangan utama efektif (σ_1' dan σ_3') yang sama. Demikian pula, nilai beda tegangan saat runtuh ($\Delta\sigma_f = \sigma_1 - \sigma_3$) juga akan sama (σ_1 adalah tegangan utama mayor dan σ_3 adalah tegangan utama minor). Pada kondisi ini hanya akan diperoleh kohesi tak terdrainase (c_u), dengan $v = 0$ (Gambar 2.10).



Gambar 2.10 Kuat geser tanah kohesif untuk kondisi drained dan undrained

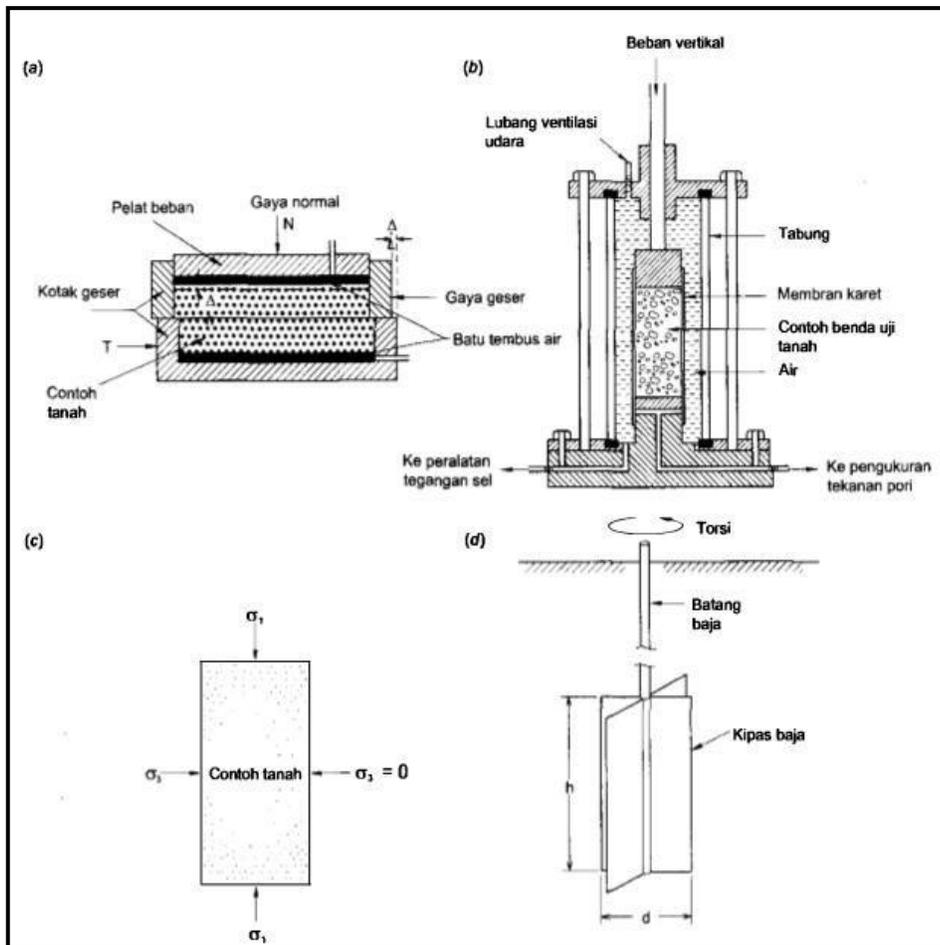
Sumber : Analisis & Perancangan Fondasi Bagian I, Hary Christady

Namun, jika pada saat pembebanan, air pori diberi waktu untuk meninggalkan rongga pori tanahnya (kondisi terdrainase atau *drained*), maka butiran-butiran mendekat satu sama lain dan kuat geser lempung menjadi bertambah. Hal ini diperlihatkan dalam Gambar 2.10 dengan garis kegagalan membentuk sudut ϕ' terhadap absis, yang berarti bahwa kuat geser lempung bertambah jika tegangan normal bertambah, asalkan tegangan berupa tekanan *intergranular* atau tegangan efektif. Untuk memperoleh hasil tersebut, contoh tanah diberi waktu untuk terjadinya penghamburan

tekanan air pori pada penerapan tegangan normalnya. Dengan demikian tekanan yang didukung contoh tanah berupa tegangan efektif. Pada kondisi ini akan diperoleh nilai kohesi efektif (c') dan sudut gesek dalam efektif (ϕ'), sedang kuat geser tanahnya dinyatakan oleh persamaan: $r = c' + \sigma' \tan \phi'$

c) Uji Kuat Geser

Terdapat beberapa cara pengujian di mana kuat geser tanah dapat diukur, antara lain: uji geser langsung (*direct shear test*), uji triaksial, uji tekan-bebas (*unconfined compression test*), dan uji geser kipas atau baling-baling geser (*vane shear test*). Gambar skematis dari alat-alat pengujian tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.11. Penjelasan dari masing-masing pengujian dalam memperoleh parameter kuat geser tanah dapat dipelajari dalam buku Mekanika Tanah I (Hary Christady Hardiyatmo).



Gambar 2.11 Metode uji geser tanah
a) Uji geser langsung (c) Uji tekan bebas

2.3.5. *Sifat-sifat Teknis Tanah*

Berikut ini diberikan penjelasan secara umum dari sifat-sifat teknis berbagai jenis tanah.

(a) Tanah Granuler

Tanah-tanah granuler, seperti: pasir, kerikil, batuan, dan campurannya, mempunyai sifat-sifat teknis yang sangat baik. Sifat-sifat tanah tersebut, antara lain:

- 1) Merupakan material yang baik untuk mendukung bangunan dan perkerasan jalan, karena mempunyai kapasitas dukung yang tinggi dan penurunan kecil, asalkan tanahnya padat. Penurunan terjadi segera sesudah penerapan beban. Jika dipengaruhi getaran pada frekuensi tinggi, penurunan yang besar dapat terjadi pada tanah yang tidak padat.
- 2) Merupakan material yang baik untuk tanah urug pada dinding penahan tanah, struktur bawah tanah, dan lain-lain, karena menghasilkan tekanan lateral yang kecil. Mudah dipadatkan dan merupakan material untuk drainase yang baik, karena lolos air.
- 3) Tanah yang baik untuk urugan, karena mudah dipadatkan dan mempunyai kuat geser yang tinggi.
- 4) Bila tidak dicampur dengan material kohesif, tidak dapat digunakan sebagai bahan tanggul, bendungan, kolam, dan lain-lain, karena permeabilitasnya besar. Galian pada tanah granuler yang terendam air memerlukan penanganan air yang baik.

- Kerapatan relati

Kuat geser dan kompresibilitas tanah granuler tergantung dari kepadatan butiran yang biasanya dinyatakan dalam kerapatan relatif (D_r). Jika tanah granuler dipakai sebagai bahan urugan, kepadatannya dinyatakan dalam persen kepadatan atau kerapatan relatif (R_e). Tanah yang mewakili kondisi lapangan, diuji di laboratorium untuk ditentukan berat volume maksimumnya dengan alat uji pemadatan tertentu. Dalam praktek, kerapatan relatif dapat ditentukan dari uji penetrasi, contohnya alat uji penetrasi standar (SPT).

- Bentuk dan ukuran butiran

Hal lain yang penting mengenai tanah granuler adalah bentuk dan ukuran butirannya. Semakin besar dan kasar permukaan butiran, semakin besar kuat gesernya. Oleh pengaruh gaya geser, butiran yang kecil mudah sekali menggelinding, sedang pada butiran yang besar, akibat geseran, butiran akan memasak satu sama lain. Demikian pula mengenai gradasinya, jika gradasi semakin baik, semakin besar kuat gesernya.

- Kapasitas dukung

Kerikil adalah material granuler yang dalam endapan alluvial biasanya bercampur dengan pasir. Campuran tanah ini sering disebut sirtu (pasir-batu). Kerikil dan pasir dalam kepadatan sedang atau besar mempunyai kapasitas dukung yang tinggi. Kerikil yang terlalu padat akan menyulitkan pemancangan fondasi tiang. Jika penetrasi ke dalam lapisan kerikil disyaratkan, maka diperlukan tiang dari baja. Kerikil berpasir yang lembab dan terletak di atas muka air tanah mempunyai sedikit kohesi, karena itu tebing galian fondasi dapat dibuat tegak, asalkan dicegah dari erosi akibat aliran air. Pekerjaan pemompaan akan menelan biaya besar, bila dasar galian pada lapisan kerikil terletak di bawah muka air tanah. Namun, untuk volume lubang galian yang tidak terlalu besar, air tanah pada kerikil berpasir dapat diturunkan dengan hanya menggunakan pompa kapasitas sedang. Tanah pasir yang juga merupakan material granuler, mempunyai kapasitas dukung dan kompresibilitas yang sama seperti kerikil. Namun, jika tidak padat, nilai kapasitas dukung izin menjadi rendah oleh persyaratan besarnya penurunan.

(b) Tanah Kohesif

Tanah kohesif, seperti: lempung, lempung berlanau, lempung berpasir atau berkerikil yang sebagian besar butiran tanahnya terdiri dari butiran halus. Kuat geser tanah jenis ini ditentukan terutama dari kohesinya. Tanah-tanah kohesif, umumnya, mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

- 1) Kuat geser rendah, terutama bila kadar air tinggi atau jenuh.
- 2) Berkurang kuat gesernya, bila kadar air bertambah.
- 3) Berkurang kuat gesernya bila struktur tanahnya terganggu.
- 4) Bila basah bersifat plastis dan mudah mampat (mudah terkompresi).
- 5) Menyusut bila kering dan mengembang bila basah (terutama lempung ekspansif).
- 6) Berubah volumenya dengan bertambahnya waktu akibat rangkakan (*creep*) pada beban yang konstan.
- 7) Merupakan material kedap air.
- 8) Material yang jelek untuk tanah urug (di belakang dinding penahan), karena menghasilkan tekanan lateral yang tinggi ketika hujan.

(c) Tanah-tanah Lanau dan Loess

Lanau adalah material yang butiran-butirannya lolos saringan no. 200. Peck et al. (1953) membagi tanah ini menjadi 2 kategori, yaitu lanau yang dikarakteristikan sebagai tepung batu atau bubuk batu yang tidak berkohesi dan tidak plastis, dan lanau yang bersifat plastis. Sifat-sifat teknis lanau tepung batu lebih cenderung mendekati sifat pasir halus.

Disebabkan oleh butirannya yang halus, lanau mempunyai sifat-sifat yang tidak menguntungkan, seperti:

- 1) Kuat geser rendah, segera sesudah penerapan beban.
- 2) Kapilaritas tinggi.

- 3) Permeabilitas rendah
- 4) Kerapatan relatif rendah dan sulit dipadatkan.

Lanau alluvial, umumnya, banyak mengandung air dan berkonsistensi lunak. Tanah ini merepotkan bila digali, karena akan selalu longsor. Sebagai pendukung fondasi, lanau merupakan tanah pendukung yang lemah dengan kapilaritas tinggi. Tanah ini biasanya tidak plastis dan kuat gesernya rendah bila kering. Fondasi yang terletak pada tanah lanau harus dirancang dengan sangat hati-hati.

Loess adalah material lanau yang diendapkan oleh angin dengan diameter butiran kira-kira 0,06 mm. Partikel-partikelnya, biasanya mempunyai rekatan karena adanya kalsium karbonat. Akibat dari pengaruh proses pembentukannya, sifat loess sangat berbeda dengan lanau. Karakteristik loess umumnya merupakan endapan yang tidak padat dengan berat volume kira-kira 10 kN/m^3 . Bila mengandung material pengikat (lempung atau kapur), pada kondisi kering, tanah ini mempunyai kapasitas dukung sedang sampai tinggi. Akibat penjumlahan, loess kehilangan sifat rekatnya, dan dapat mengalami penurunan yang tinggi. Loess bisa digali pada tebing yang mendekati vertikal.

(d) Tanah Organik

Sembarang tanah yang mengandung bahan organik, yang mempengaruhi sifat-sifat teknis tanah, disebut tanah organik. Bahan-bahan organik dapat terdiri dari sisa tumbuh-tumbuhan atau binatang. Jumlah bahan organik dinyatakan dalam istilah kadar organik, yaitu nilai banding antara berat bahan organik terhadap contoh tanah yang kering oven. Berat bahan organik dapat ditentukan dengan memanaskan contoh tanah untuk membakar bahan organiknya (McFarland, 1959).

Tanah dalam kondisi alamnya dapat mengandung bahan organik. Biasanya, pada persentase bahan organik yang relatif rendah (kira-kira 2%), tanah mempunyai karakteristik yang tidak menguntungkan. Tanah dengan kandungan bahan organik yang tinggi mempunyai kuat geser rendah, mudah mampat, bersifat asam, dan sifat-

sifat lain yang dapat merusak material bangunan. Oleh karena itu, tanah organik sebaiknya tidak digunakan untuk mendukung fondasi.

Lempung/lanau organik adalah lempung/lanau dengan kandungan bahan organik yang mempengaruhi sifat-sifat tanahnya. Untuk keperluan klasifikasi, lempung/lanau organik adalah lempung/lanau yang mempunyai batas cair (LL) yang setelah dipanaskan dalam oven nilainya berkurang 75% dari nilai batas cair (LL) sebelum dioven (ASTM D2487).

Gambut (*peat*) merupakan material organik yang jelek untuk mendukung fondasi, karena sangat mudah mampat. Fondasi harus diletakkan sampai mencapai tanah yang baik, yang terletak di bawah tanah gambut.

2.3.6. Klasifikasi Tanah

Terdapat dua sistem klasifikasi yang sering digunakan, yaitu *Unified Soil Classification System* dan AASHTO (*American Asssocation of State Highway And Transportation Officials*). Sistem-sistem ini menggunakan sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisitas. Klasifikasi tanah dari *Sistem Unified* mulai pertama diusulkan oleh Casagrande (1942), kemudian direvisi oleh kelompok teknisi dari USBR (*United State Bureau of Reclamation*).

1) Sistem Klasifikasi Unified

Pada sistem Unified, tanah diklasifikasikan ke dalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan nomor 200, dan sebagai tanah berbutir halus (lanau/lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan nomor 200. Selanjutnya, tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan subkelompok yang dapat dilihat dalam Tabel 2.3 simbol-simbol yang digunakan tersebut adalah

G = Kerikil (*gravel*)

S = Pasir (*sand*)

C = lempung (*clay*)

M = lanau (*silt*)

O = lanau atau lempung organik (*organic silt or clay*)

Pt = tanah gambut dan tanah organik tinggi (*peat and highly organic soil*)

W = gradasi baik (*well - graded*)

P = gradasi buruk (*poorly - graded*)

H = plastisitas tinggi (*high - plasticity*)

L = plastisitas rendah (*low - plasticity*)

Prosedur untuk menentukan klasifikasi tanah sistem unified adalah sebagai berikut

1. Tentukan apakah tanah merupakan butiran halus atau butiran kasar secara visual atau dengan cara menyaringnya dengan saringan nomor 200.
2. Jika tanah berupa butiran kasar :
 - a. Saring tanah tersebut dan gambarkan grafik distribusi butiran.
 - b. Tentukan persen butiran lolos saringan No.4. Bila persentase butiran yang lolos kurang dari 50 %, klasifikasikan tanah tersebut sebagai kerikil. Bila butiran yang lolos lebih dari 50 %, klasifikasikan sebagai pasir.
 - c. Tentukan jumlah butiran yang lolos saringan no.200. Jika persentase butiran yang lolos kurang dari 5 %, pertimbangkan bentuk grafik distribusi butiran dengan menghitung C_u dan C_c . Jika termasuk bergradasi baik, maka klasifikasikan sebagai GW (bila kerikil) atau SW (bila pasir). Jika termasuk bergradasi buruk, klasifikasikan sebagai GP (bila kerikil) atau SP (bila pasir).
 - d. Jika persentase butiran tanah yang lolos saringan no.200 diantara 5 sampai 12 %, tanah akan mempunyai simbol dobel dan mempunyai sifat keplastisan (GW - GM, SW - SM, dan sebagainya).
 - e. Jika persentase butiran yang lolos saringan no.200 lebih besar 12 %, harus dilakukan uji batas - batas Atterberg dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no.40. kemudian, dengan menggunakan diagram plastisitas, ditentukan klasifikasinya (GM, GC, SM, SC, GM - GC atau SM - SC).
3. Jika tanah berbutir halus :

- a. Kerjakan uji -uji batas Aterberg dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no.40. Jika batas cair lebih dari 50, klasifikasikan sebagai H (plastisitas tinggi) dan jika kurang dari 50, klasifikasikan sebagai L (Plastisitas rendah).
- b. Untuk H (plastisitas tinggi), jika plot batas -batas Atterberg pada grafik plastisitas dibawah garis A, tentukan apakah tanah organik (OH) atau anorganik (MH). Jika plotnya jatuh digaris A, klasifikasikan sebagai CH.
- c. Untuk L (plastisitas rendah), jika plot batas - batas Atterberg pada grafik plastisitas dibawah garis A dan area yang diarsir, tentukan klasifikasi tanah tersebut sebagai organik (OL) atau anorganik (ML) berdasar warna, bau, atau perubahan batas cair dan batas plastisnya dengan mengeringkannya didalam oven.
- d. Jika plot batas - batas Atterberg pada grafik plastisitas jatuh pada area yang diarsir, dekat dengan garis A atau nilai LL sekitar 50, gunakan simbol dobel.

2) Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem Klasifikasi AASHTO (*American Asssocation of State Highway And Transportation Officials*) berguna untuk menentukan kualitas tanah untuk perencanaan timbunan jalan, *subbase* dan *subgrade*.

Sistem klasifikasi AASHTO membagi tanah ke dalam 8 kelompok, A-1 sampai A-8 termasuk sub-sub kelompok. Tanah-tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris. Pengujian yang digunakan adalah analisis saringan dan batas-batas Atterberg. Sistem klasifikasi AASHTO, dapat diliha dalam Tabel 2.4

Tanah granuler diklasifikasikan ke dalam klasifikasi A-1 sampai A-3. Tanah A-1 merupakan tanah granuler yang bergradasi baik, sedang A-3 adalah pasir bersih yang bergradasi buruk. Tanah A-2 termasuk tanah granular (kurang dari 35% lolos saringan No. 200), tetapi masih mengandung lanau dan lempung. Tanah berbutir halus diklasifikasikan dari A-4 sammpai A-7, yaitu tanah lempung-lanau.

Tabel 2.3 Sistem klasifikasi tanah Unified

Divisi Utama		Simbol	Nama Jenis	Kriteria Klasifikasi
Tanah berbutir kasar 50% butiran tertahan saringan no 200 (0,075 mm)	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan saringan no 4 (4,75 mm)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir – kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{60})(D_{10})}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kerreteria GW
		GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil atau tidak mengandung butiran halus	
		GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir - lempung	Batas – batas atterbreg dibawah garis A atau $PI < 4$ Batas – batas atterbreg diatas garis A atau $PI > 7$ Bila batas atterbreg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas maka dipakai double simbol
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir - lempung	
	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan no 4 (4,75 mm)	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butirs halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{60})(D_{10})}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
		SP	Pasir gradasi buruk, pasir kerikil sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
		SM	Pasir berlanau, campuran pasir lanau	Batas – batas atterbreg dibawah garis A atau $PI < 4$ Batas – batas atterbreg diatas garis A atau $PI > 7$ Bila batas atterbreg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas maka dipakai double simbol
		SC	Pasir berlempung, campuran pasir lempung	
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan 200 (0,075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus (<i>lean clays</i>)	
		OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
	Lanau dan lempung batas cair > 50%	MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis	
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempug gemuk (<i>fat clays</i>)	
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
Tanah dengan kadar organik		P ₁	Gambut (peat) dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual unuk identifikasi secara visual dapat dilihat ASTM <i>Designation</i> D-2488

Sumber : Analisis & Perancangan Fondasi Bagian I, Hary Christady

Tabel 2.4 Sistem klasifikasi tanah AASHTO

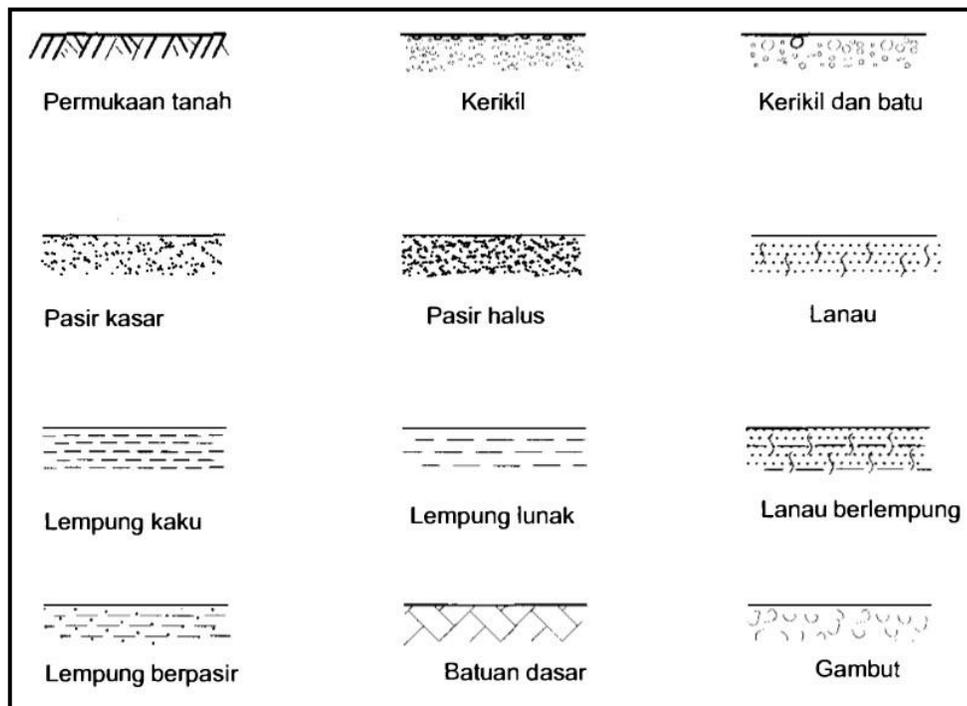
Klasifikasi Umum	Material Granular (<35% lolos saringan no.200)							Tanah Lanau – Lempung (35% lolos saringan no.200)			
Klasifikasi Kelompok	A1		A3	A2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Analisa Saringan (% Lolos)											
2.00 mm (no. 10)	50 max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.425 mm (no. 40)	30 max	50 max	51 max	-	-	-	-	-	-	-	-
0.075 mm (no. 200)	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
Sifat Fraksi Lolos Saringan no.40											
Batas Cair (LL)	-	-	-	40 max	41 max	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min
Indeks Plastis (PI)	6 max		Np	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min
Indeks Kelompok (GI)	0		0	0		4 max		8 max	12 max	6 max	20 max
Tipe material yang pokok pada umumnya	Pecahan batu, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik							Sedang sampai buruk			

2.4. Penyelidikan Tanah di Lapangan

Jenis-jenis tanah tertentu sangat mudah sekali terganggu oleh pengaruh pengambilan contohnya di dalam tanah. Untuk menanggulangi hal tersebut, sering dilakukan beberapa pengujian di lapangan secara langsung. Pengujian-pengujian tersebut, antara lain:

- 1) Uji penetrasi standar atau uji SPT (*Standard Penetration Test*).
- 2) Uji penetrasi kerucut statis (*static cone penetration test*) atau uji sondir.
- 3) Uji beban pelat (*plate load test*).
- 4) Uji geser kipas atau geser baling-baling (*vane shear test*).
- 5) Uji pressuremeter dan lain-lain

Pengujian di lapangan sangat berguna untuk mengetahui karakteristik tanah dalam mendukung beban fondasi dengan tidak dipengaruhi oleh kerusakan contoh tanah akibat operasi pengeboran dan penanganan contoh. Khususnya, berguna untuk menyelidiki tanah lempung sensitif, lanau, dan tanah pasir tidak padat.



Gambar 2.12 Contoh penggambaran simbol-simbol jenis tanah
Sumber : Analisis & Perancangan Fondasi Bagian I, Hary Christady

Uji penetrasi kerucut statis atau uji sondir banyak digunakan di Indonesia, di samping uji SPT. Pengujian ini sangat berguna untuk memperoleh nilai variasi kepadatan tanah pasir yang tidak padat. Pada tanah pasir yang padat dan tanah-tanah berkerikil dan berbatu, penggunaan alat sondir menjadi tidak efektif, karena mengalami kesulitan dalam menembus tanah. Nilai-nilai tahanan kerucut statis atau tahanan konus (q_c) yang diperoleh dari pengujian, dapat dikorelasikan secara langsung dengan kapasitas dukung tanah dan penurunan pada fondasifondasi dangkal dan fondasi tiang.

Ujung alat ini terdiri dari kerucut baja yang mempunyai sudut kemiringan 60° dan berdiameter 35,7 mm atau mempunyai luas tarpang 10 cm^2 . Bentuk skematis dan cara kerja alat ini dapat dilihat pada Gambar 2.13. Salah satu macam alat sondir dibuat sedemikian rupa sehingga dapat mengukur tahanan ujung dan tahanan gesek dari selimut silinder mata sondimya. Cara menggunakan alat ini, dengan menekan pipa penekan dan mata sondir secara terpisah, melalui alat penekan mekanis atau dengan tangan yang memberikan gerakan ke bawah. Kecepatan penetrasi kira-kira 10 mm/detik. Pembacaan tahanan kerucut statis atau tahanan konus dilakukan dengan melihat arloji pengukur. Nilai q_c adalah besarnya tahanan kerucut dibagi dengan luas penampangnya (10 cm^2). Pembacaan arloji pengukur, dilakukan pada tiap-tiap penetrasi sedalam 20 cm. Tahanan ujung serta tahanan gesek selimut alat sondir dicatat. Dari sini diperoleh grafik tahanan kerucut statis atau tahanan konus yang menyajikan nilai keduanya (Gambar 2.14).

Tahap-tahap pengukuran uji kerucut statis (sondir) adalah sebagai berikut:

- 1) Posisi I = kerucut (konus) pada kedudukan bel urn bergerak.
- 2) Posisi II = ujung kerucut ditekan melalui batang penekan kerucut. Tahap ini mengukur tahanan konus/kerucut (q_c).
- 3) Posisi III = pipa luar pengukur lekatan digerakkan menekan kerucut bawah, menghasilkan gerakan pipa luar dan kerucut ke bawah. Tahap ini mengukur tahanan kerucut dan tahanan gesek pipa luar ($q_c + f_s$).

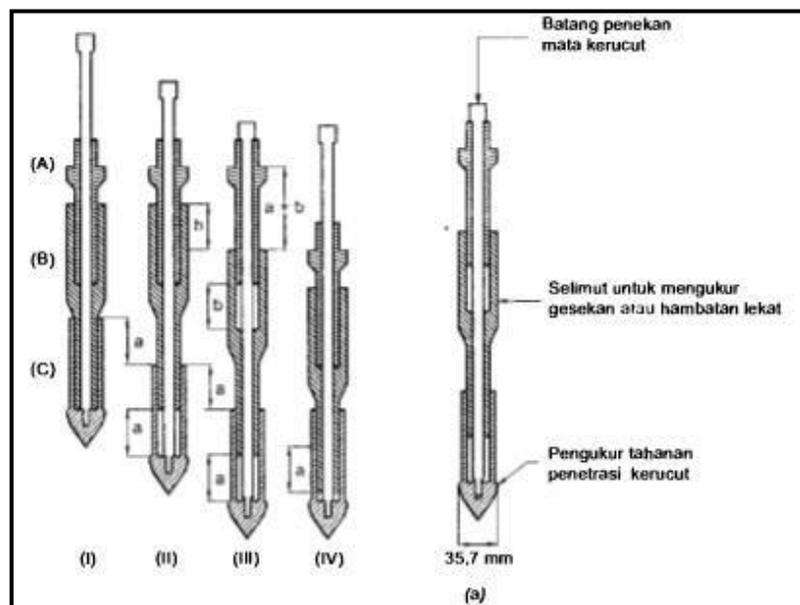
- 4) Posisi IV = ujung kerucut dan pipa luar digerakkan menuju kembali seperti posisi I.

Karena uji kerucut statis (sondir) tidak mengeluarkan tanah saat pengujian berlangsung, maka jenis tanah tidak dapat diketabui dengan pasti. Robertson dan Campanella (1983) mengusulkan bubungan tabanan konus (q_c) dengan rasio gesekan f_r , untuk mengklasifikasikan tanah secara pendekatan, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.15.

Pada gambar tersebut f_r adalah rasio gesekan (*friction ratio*) yang merupakan perbandingan antara gesekan selimut lokal, f_s (gaya gesek yang bekerja pada selimut konus dibagi dengan luas selimutnya atau disebut gesek satuan) dengan tahanan konus q_c atau rasio gesekan dinyatakan oleh persamaan:

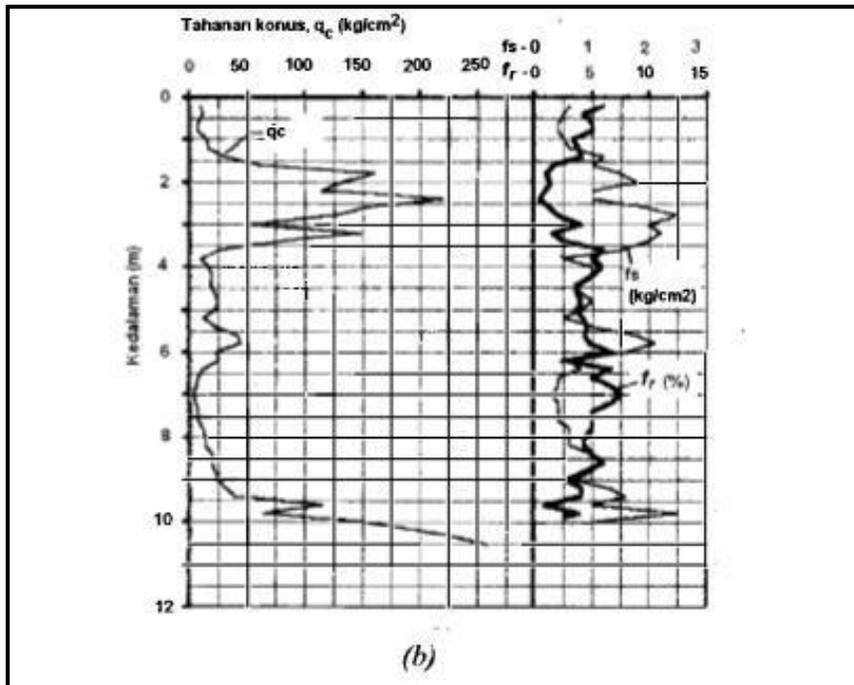
$$f_r = f_s / q_c \times 100\% \quad (2.22)$$

Hubungan sudut gesek dalam puncak (ϕ') dan q_c yang diusulkan oleh Robertson dan Campanella (1983) untuk pasir lepas tidak rekat ditunjukkan dalam Gambar 2.16.

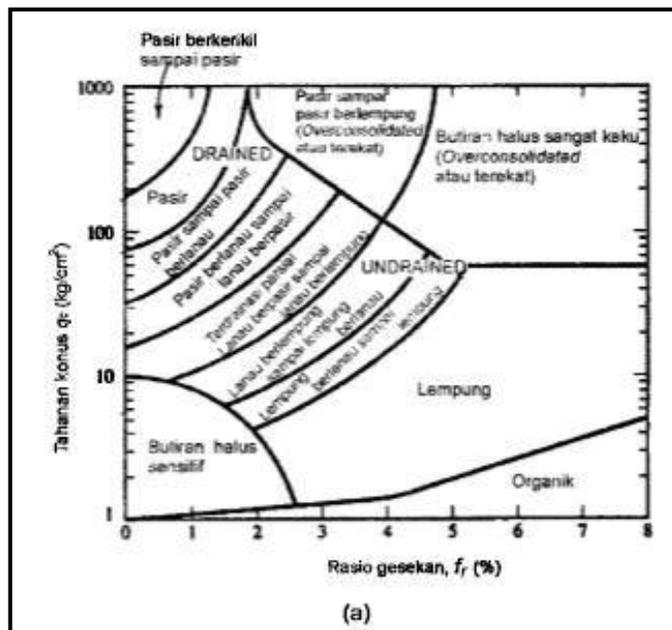


Gambar 2.13 Skema alat kerucut statis dan cara kerja alat (Bowles, 1997)

Sumber : Analisis & Perancangan Fondasi Bagian I, Hary Christady



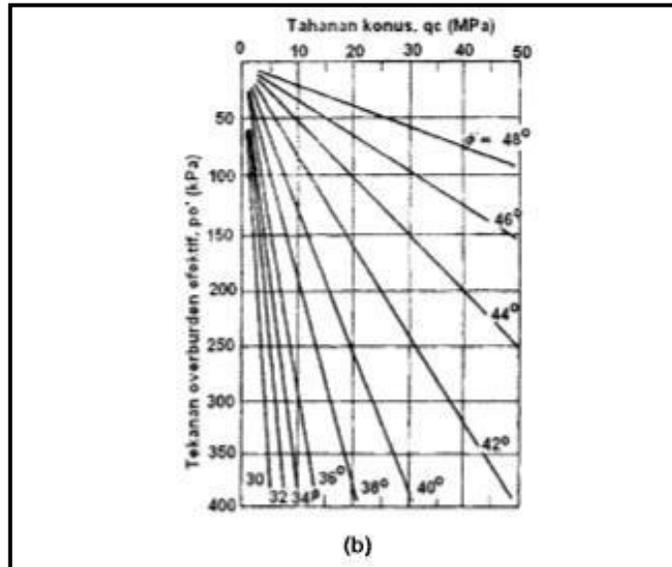
Gambar 2.14 Contoh grafik hasil uji sondir
 Sumber : Analisis & Perancangan Fondasi Bagian I, Hary Christady



Gambar 2.15 Klasifikasi tanah didasarkan pada hasil uji kerucut statis (sondir)
 Sumber : Analisis & Perancangan Fondasi Bagian I, Hary Christady

Gambar 2.15 Klasifikasi tanah didasarkan pada hasil uji kerucut statis (sondir)

Sumber : Analisis & Perancangan Fondasi Bagian I, Hary Christady



Gambar 2.16 Hubungan sudut gesek dalam puncak, ϕ') dan q_c

Sumber : Analisis & Perancangan Fondasi Bagian I, Hary Christady

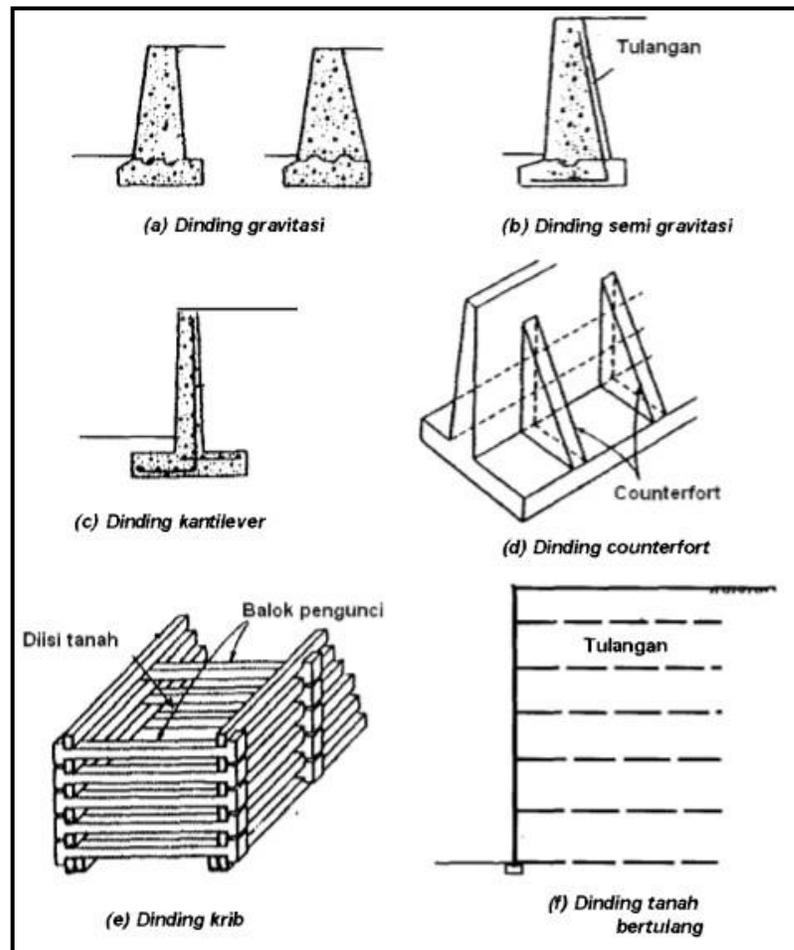
2.5. Dinding Penahan Tanah

Bangunan dinding penahan tanah digunakan untuk menahan tekanan tanah lateral yang ditimbulkan oleh tanah urug atau tanah asli yang labil. Bangunan ini banyak digunakan pada proyek-proyek: irigasi, jalan raya, pelabuhan, dan lain-lainnya. Elemen-elemen fondasi, seperti bangunan ruang bawah tanah (basement), pangkal jembatan (abutment), selain berfungsi sebagai bagian bawah dari struktur, berfungsi juga sebagai penahan tanah di sekitarnya. Kestabilan dinding penahan tanah diperoleh terutama dari berat sendiri struktur dan berat tanah yang berada di atas pelat fondasi. Besar dan distribusi tekanan tanah pada dinding penahan tanah, sangat bergantung pada gerakan ke arah lateral tanah relatif terhadap dinding.

2.5.1. Dinding Penahan Tanah

Terdapat beberapa tipe dinding penahan tanah, antara lain (Gambar 2.17) :

- 1) Dinding gravitasi
- 2) Dinding semi gravitasi
- 3) Dinding kantilever
- 4) Dinding *counterfort*
- 5) Dinding krib
- 6) Dinding tanah bertulang (*reinforced earth wall*)



Gambar 2.17 Berbagai tipe dinding penahan tanah
 Sumber : Analisis & Perancangan Fondasi Bagian I, Hary Christady

Dinding gravitasi, adalah dinding penahan yang dibuat dari beton tak bertulang atau pasangan batu. Sedikit tulangan beton kadangkadang diberikan pada permukaan

dinding untuk mencegah retakan permukaan akibat perubahan temperatur (Gambar 2.17a).

Dinding semi gravitasi adalah dinding gravitasi yang berbentuk agak ramping. Karena ramping, pada strukturnya diperlukan penulangan beton, namun hanya pada bagian dinding saja. Tulangan beton yang berfungsi sebagai pasak, dipasang untuk menghubungkan bagian dinding dan fondasi (Gambar 2.17b).

Dinding kantilever adalah dinding yang terdiri dari kombinasi dinding dan beton bertulang yang berbentuk huruf T. Ketebalan dari kedua bagian ini relatif tipis dan secara penuh diberi tulangan untuk menahan momen dan gaya lintang yang bekerja padanya (Gambar 2.17c).

Dinding counterfort adalah dinding yang terdiri dari dinding beton bertulang tipis yang di bagian dalam dinding pada jarak tertentu didukung oleh pelat/dinding vertikal yang disebut *counterfort* (dinding penguat). Ruang di atas pelat fondasi, diantara *counterfort* diisi dengan tanah urug (Gambar 2.17d).

Dinding krib terdiri dari balok-balok beton yang disusun menjadi dinding penahan (Gambar 2.17e).

Dinding tanah bertulang atau dinding tanah diperkuat (*reinforced earth wall*) adalah dinding yang terdiri dari dinding yang berupa timbunan tanah yang diperkuat dengan bahan-bahan tertentu yang terbuat dari geosintetik maupun dari metal (Gambar 2.17f).

2.5.2. Teori Tekanan Tanah Lateral

Untuk merancang dinding penahan tanah diperlukan pengetahuan mengenai tekanan tanah lateral. Besar dan distribusi tekanan tanah pada dinding penahan tanah sangat bergantung pada regangan lateral tanah relatif terhadap dinding. Dalam beberapa hal, hitungan tekanan tanah lateral ini didasarkan pada kondisi regangannya. Jika analisis tidak sesuai dengan apa yang sebenarnya terjadi, maka dapat mengakibatkan

kesalahan perancangan. Untuk itu, pengertian tentang hubungan regangan lateral dengan tekanan tanah pada dinding sangat dibutuhkan.

2.5.2.1. Tekanan Tanah saat Diam, Aktif dan Pasif

Ditinjau suatu dinding penahan tanah dengan permukaan tanah mendatar pada Gambar 2.18. Mula-mula dinding dan tanah urug di belakangnya pada kondisi diam, sehingga tanah pada kedudukan ini masih dalam kondisi elastis. Pada posisi ini tekanan tanah pada dinding akan berupa tekanan tanah saat diam (*earth pressure at rest*) dan tekanan tanah lateral (horizontal) pada dinding, pada kedalaman tertentu (z), dinyatakan oleh persamaan:

$$\sigma_h = K_o \sigma_v = K_o z \gamma \quad (2.23)$$

dengan :

K_o = koefisien tekanan tanah saat diam

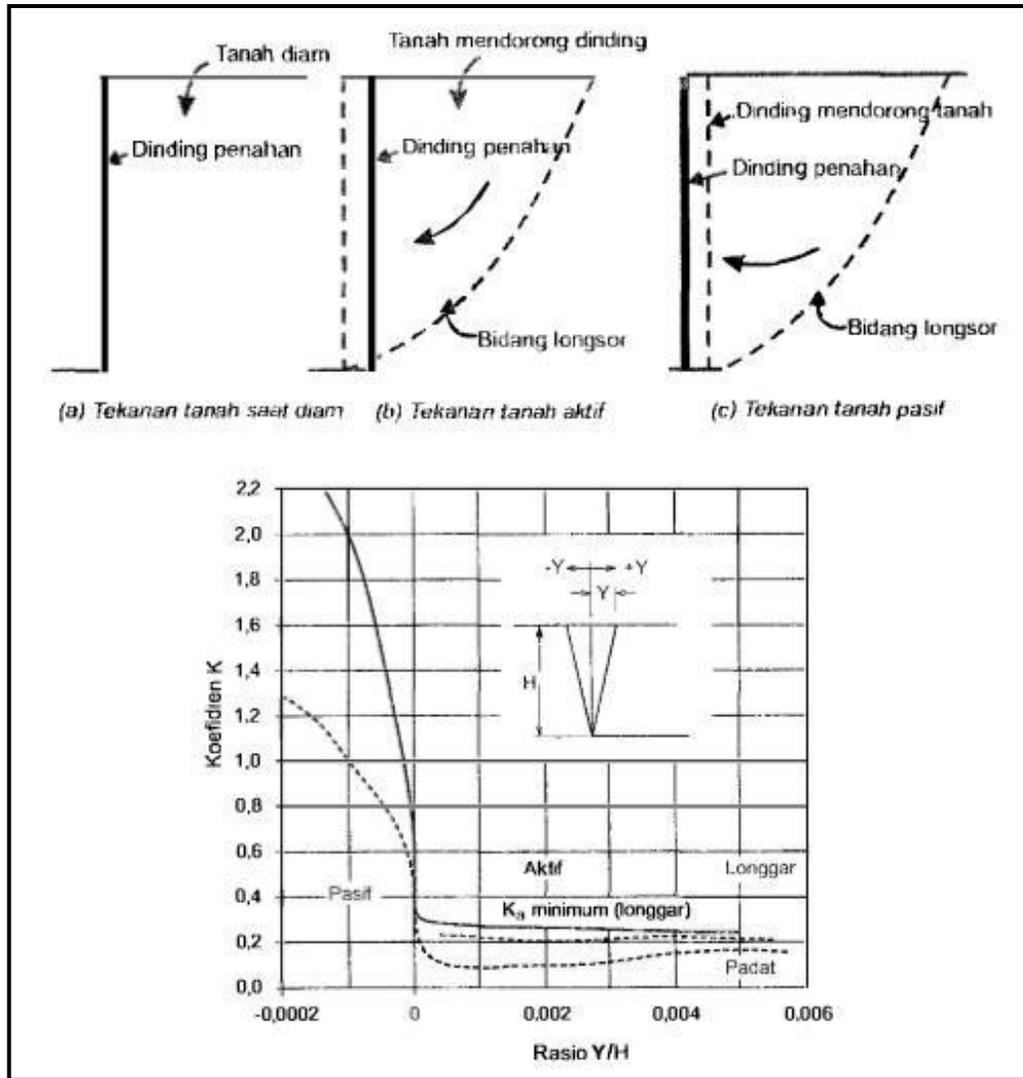
γ = berat volume tanah (kN/m^3)

Kedudukan tegangan di dalam tanah yang dinyatakan oleh lingkaran Mohr saat tanah pada kondisi diam (disebut juga pada kondisi K_o) ini diwakili oleh lingkaran A. Perhatikan bahwa pada kedudukan K_o lingkaran A tidak menyinggung garis kegagalan OP (Gambar 2.19a).

Jika kemudian dinding penahan tanah bergeser menjauhi tanah timbunannya (Gambar 2.18b) dan jika gerakan ini diikuti oleh gerakan tanah di belakang dinding, maka tekanan tanah lateral pada dinding akan berangsur-angsur berkurang yang diikuti dengan berkembangnya tahanan geser tanah secara penuh. Pada suatu saat, gerakan dinding selanjutnya mengakibatkan terjadinya keruntuhan geser tanah dan tekanan tanah pada dinding menjadi konstan pada tekanan minimumnya. Tekanan tanah lateral minimum, yang mengakibatkan keruntuhan geser tanah oleh akibat gerakan dinding menjauhi tanah di belakangnya disebut tekanan tanah aktif (*active earth pressure*).

Kedudukan tegangan saat tanah pada kedudukan keseimbangan limit aktif terjadi diwakili oleh lingkaran B yang menyinggung garis kegagalan OP (Gambar 2.19a). Jika tegangan vertikal (σ_v) di titik tertentu di dalam tanah dinyatakan oleh $\sigma_v = \gamma z$, maka tekanan tanah lateral pada saat tanah runtuh adalah:

$$\sigma_h = K_a \sigma_v = K_a z \gamma \tag{2.24}$$



Gambar 2.18 Tekanan Tanah Lateral

Sumber : Analisis & Perancangan Fondasi Bagian I, Hary Christady

Dari memperhatikan lingkaran Mohr pada Gambar 2.15b, dapat ditentukan bahwa :

$$K = \frac{\sigma_v(aktif)}{\sigma_3} = \frac{\sigma_3}{\sigma_1} = \frac{1 - \sin\phi}{1 + \sin\phi} = \frac{tg^2(45 - \phi)}{2} \tag{2.25}$$

Pada kondisi keseimbangan limit aktif ini tegangan utama minor $\sigma_3 = \sigma_h$ dan tegangan utama mayor $\sigma_1 = \sigma_v$.

Sebaliknya, jika regangan lateral yang terjadi pada kondisi tekan, yaitu bila tanah tertekan sebagai akibat dinding penahan mendorong tanah (Gambar 2.18c), maka gaya yang dibutuhkan untuk menyebabkan kontraksi tanah secara lateral sangat lebih besar daripada besarnya tekanan tanah menekan ke dinding. Besarnya gaya ini bertambah dengan bertambahnya regangan dalam tanah seiring dengan bergesernya dinding, hingga sampai suatu regangan tertentu, tanah mengalami keruntuhan geser akibat desakan dinding penahan, saat mana gaya lateral tanah mencapai nilai yang konstan yaitu pada nilai maksimumnya. Tekanan tanah lateral maksimum yang mengakibatkan keruntuhan geser tanah akibat gerakan dinding menekan tanah umg, disebut tekanan tanah pasif (*passive earth pressure*).

Kedudukan tegangan-tegangan saat tanah pada kedudukan limit pasif tercapai diwakili oleh lingkaran C yang menyinggung garis kegagalan OP (Gambar 2.19a). Jika tegangan vertikal (σ_v) titik tertentu di dalam tanah dinyatakan oleh $\sigma_v = \gamma z$, maka tekanan tanah lateral pada saat tanah pada kondisi runtuh :

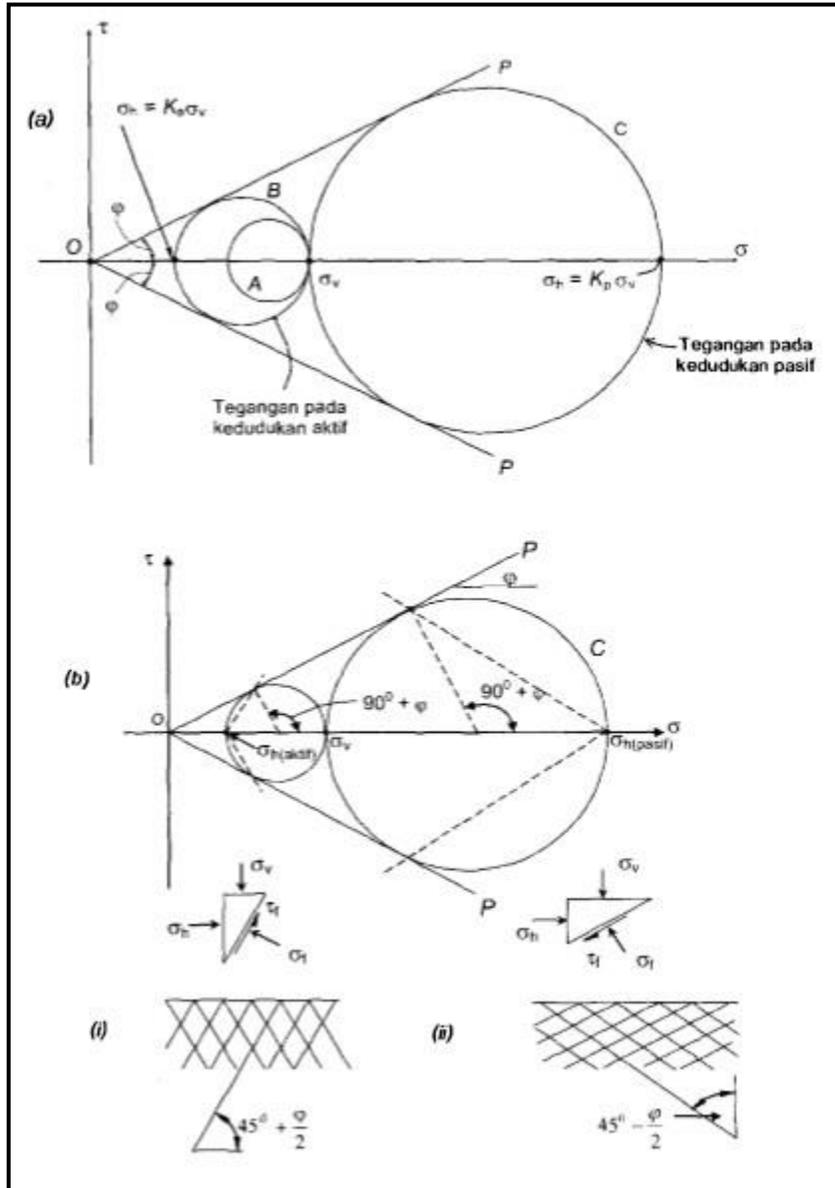
$$\sigma_h = K_p \sigma_v = K_p z \gamma \quad (2.26)$$

Dari memperhatikan lingkaran Mohr pada Gambar 2.15b, dapat ditentukan bahwa :

$$K_p = \frac{\sigma_v(\text{pasif})}{\sigma_3} = \frac{\sigma_1}{\sigma_3} = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} = \frac{tg^2(45 + \frac{\varphi}{2})}{2} \quad (2.27)$$

Perhatikan bahwa pada kondisi pasif, tegangan utama minor $\sigma_3 = \sigma_v$ (*pasif*) dan tegangan utama mayor $\sigma_1 = \sigma_h$ (*pasif*). Dari Persamaan-persamaan (2.25) dan (2.27) untuk kondisi permukaan tanah horisontal seperti pada Gambar 2.15 dapat diperoleh hubungan:

$$K_p = \frac{1}{K_p} \quad (2.28)$$



Gambar 2.19 Tekanan tanah lateral dan lingkaran Mohr yang mewakili kedudukan tegangan di dalam tanah

- (a) Tegangan-tegangan pada kedudukan Rankine
- (b) Orientasi garis-garis keruntuhan teori Rankine pada :
 - (i) Kedudukan aktif. (ii) kedudukan pasif

Sumber : Analisis & Perancangan Fondasi Bagian I, Hary Christady

Jadi untuk tekanan vertikal tertentu, tekanan tanah lateral hanya akan terdapat diantara dua nilai batas $K_a \sigma_v$ dan $K_p \sigma_v$. Kedudukan tegangan pada batas-batas nilai tersebut disebut tegangan pada kedudukan Rankine (*Rankine state*). Kemiringan bidang-bidang kegagalan di dalam tanah pada ke dua kedudukan batas tersebut diperlihatkan pada Gambar 2.19b.

2.5.2.2. Pengaruh Regangan Lateral

Seperti yang telah dipelajari, tekanan tanah lateral pada dinding bergantung pada regangan yang terjadi pada tanah atau gerakan dinding relatif terhadap tanah urug di belakangnya. Gambar 2.18d memperlihatkan hubungan antara regangan lateral!gerakan dinding dan koefisien tekanan tanah lateral (K) pada tanah pasir hasil penelitian Terzaghi (1948). Dalam gambar tersebut, $K = \sigma_h / \gamma z$ (γ = berat volume tanah, z = kedalaman dan σ_h = tekanan tanah lateral pada kedalaman z). Terlihat bahwa regangan lateral (gerakan dinding penahan) yang dibutuhkan untuk mencapai kedudukan tekanan tanah aktif lebih kecil dibandingkan dengan gerakan dinding penahan yang dibutuhkan untuk mencapai kedudukan tekanan tanah pasif. Perhatikan pula bahwa koefisien tekanan tanah aktif (K_a) lebih besar untuk tanah pasir longgar daripada tanah pasir padat, sedang untuk koefisien tekanan tanah pasif (K_p) kebalikannya.

Tabel 2.5 Macam tanah dan translasi saat tanah dalam kondisi aktif (Bowles,1997)

Macam Tanah	Translasi yang dibutuhkan (H = tinggi dinding penahan)
Tanah tak kohesif, padat	0,001 sampai 0,002 H
Tanah tak kohesif, tak padat	0,002 sampai 0,004 H

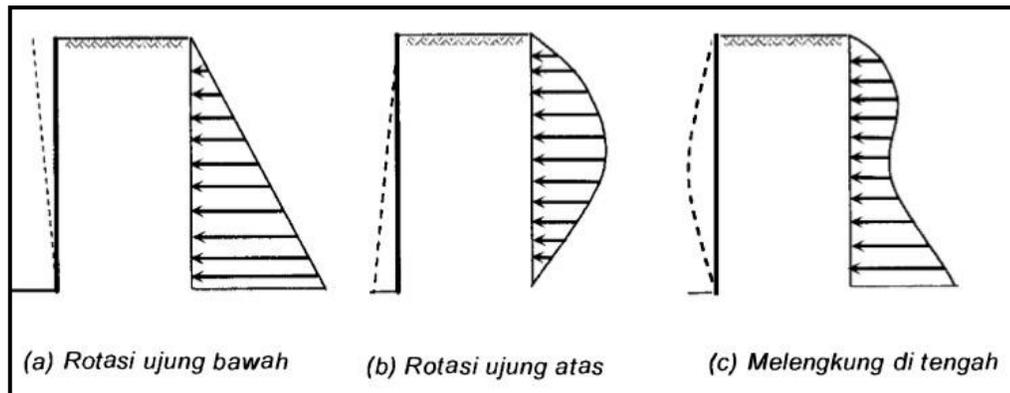
Tanah kohesif, kaku	0,01 sampai 0,02 H
Tanah kohesif, lunak	0,02 sampai 0,05 H

Sumber : Analisis & Perancangan Fondasi Bagian I, Hary Christady

Hasil penelitian Lambe dan Whitman (1969) pada tanah pasir yang diuji pada alat triaxial menunjukkan bahwa tanah akan mencapai kedudukan aktif pada regangan kira-kira 0,5%, sedang untuk kedudukan pasif kira-kira 2%.

Bila gerakan dinding penahan berupa translasi, nilai-nilai tipikal mulai bekerjanya tekanan tanah aktif ditunjukkan dalam Tabel 2.5 (Bowles, 1977).

Diagram tekanan tanah aktif yang berbentuk segitiga hanya akan terjadi bila keruntuhan tanah diakibatkan oleh menggulingnya (rotasi terhadap kaki) dinding penahan sehingga regangan di dalam tanah sama atau lebih besar dari regangan minimumnya (Gambar 2.20a). Untuk struktur penahan tanah yang melengkung akibat tekanan tanah, atau bergerak menurut model yang lain, distribusi tekanannya akan berbeda, seperti diperlihatkan dalam Gambar 2.20b dan 2.20c.



Gambar 2.20 Distribusi tekanan tanah aktif pada dinding penahan menurut tipe gerakan dinding

Sumber : Analisis & Perancangan Fondasi Bagian I, Hary Christady

Jika bagian atas struktur penahan tanah dicegah bergerak, dan di bagian bawahnya bebas, maka tekanan tanah lateral yang terjadi akan mendekati tekanan tanah saat diam pada bagian atasnya, dan berkurang sampai mendekati nol pada bagian

bawahnya (Gambar 2.20b). Dalam praktek, hal ini terjadi pada dinding penahan pada galian tanah yang terbuka.

Tipe gerakan dinding yang berupa lengkung, diperlihatkan dalam Gambar 2.20c. Disini, dinding penahan tanah berupa turap fleksibel yang diangker pada ujung atas dan dipancang pada bagian bawahnya. Tekanan tanah lateral yang terjadi mengecil pada bagian tengah-tengah dinding akibat defleksi lateral dinding turap yang fleksibel.

Nilai-nilai K_a yang diperoleh dari pengamatan beberapa peneliti, disimpulkan oleh Teng (1962) sebagai berikut:

- $K_o = 0,35 - 0,6$ untuk pasir dan kerikil
- $= 0,45 - 0,75$ untuk lempung dan lanau
- $= 1$ untuk lempung terkonsolidasi berlebihan (*overconsolidated*).

Punmia (1980) menyarankan K_o untuk berbagai jenis tanah tanah seperti ditunjukkan dalam Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Nilai-nilai K_o untuk berbagai jenis tanah (Punmia. 1980)

Jenis Tanah	K_o
Pasir tak padat	0,4
Pasir padat	0,6
Pasir dipadatkan per lapis	0,8
Lempung lunak	0,6
Lempung keras	0,5

Sumber : Analisis & Perancangan Fondasi Bagian I, Hary Christady

Nilai-nilai kisaran koefisien tekanan tanah diam, aktif dan pasif untuk tanah kohesif dan tanah tak kohesif pada umumnya, ditunjukkan dalam Tabel 2.7 (Bowles, 1977).

Tabel 2.7 Nilai-nilai kisaran koefisien tekanan tanah lateral (Bowles, 1977)

Kofisien K	Tanah granuler	Tanah Kohesif
Kp	3 – 14	1 – 2
Ko	0,4 – 0,6	0,4 – 0,8
Ka	0,33 – 0,22	1 – 0,5

Sumber : Analisis & Perancangan Fondasi Bagian I, Hary Christady

2.5.2.3. Pengaruh Gesekan Dinding dan Adhesi

Pada saat tanah di belakang dinding penahan tanah mencapai keruntuhan akibat gerakan dinding ke depan, maka di belakang dinding terbentuk baji tanah yang ikut bergerak ke depan, dan kemudian ke bawah. Jika dinding penahan dijaga agar tetap kaku guna mencegah gerakan baji tanah ke bawah, maka terlihat gerakan vertikal relatif antara dinding belakang dan tanahnya. Bila permukaan dinding penahan sangat kasar, dan regangan yang terjadi cukup besar, tegangan geser sepanjang dinding belakang (s) menjadi sebesar nilai tahanan geser tanah ultimitnya, yaitu $s = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi$. Pada kondisi ini, karena permukaan dinding sangat kasar, gesekan yang terjadi adalah antara tanah dan tanah, dengan bidang geser yang terletak sedikit di luar permukaan dinding. Sebaliknya, jika dinding belakang dari dinding penahan halus (licin), maka tidak ada tahanan geser tanah yang bekerja di belakang dinding, sehingga tekanan tanah bekerja tegak lurus permukaan dinding belakang.

Bila tanah bergeser relatif terhadap dinding, tegangan geser (s_d) pada dinding belakang, dapat dianggap terdiri dari dua bagian, yaitu:

$$s_d = c_d + \sigma \operatorname{tg} \delta \quad (2.29)$$

dengan :

$s_d = r_d$ = tegangan geser yang terjadi pada dinding belakang

c_d = adhesi antara tanah dan dinding belakang

δ = sudut gesek antara tanah dan dinding

σ = komponen tegangan normal, yaitu tekanan lateral yang arahnya tegak lurus permukaan dinding

Dalam perancangan dinding penahan tanah, gesekan antara dinding belakang dan tanah, sebaiknya diperhitungkan sesuai dengan keadaan sebenarnya.

2.5.2.4. Teori Rankine

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

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

1. Tekanan Tanah Lateral pada Tanah Tak Kohesif

(a) Permukaan tanah urug horisontal

Tanah tak kohesif atau tanah granuler adalah tanah-tanah yang tidak mempunyai kohesi ($c = 0$) seperti pasir, kerikil. Bila permukaan tanah urug horisontal (Gambar 2.21a), tekanan tanah aktif (P_a) pada sembarang kedalaman z dari permukaan tanah urug atau puncak dinding penahan dinyatakan oleh persamaan:

$$p_a = K_a z \gamma \quad (2.30)$$

dengan :

$$K_a = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} = \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right)$$

Tekanan tanah aktif total (P_a) untuk dinding penahan tanah setinggi H dinyatakan oleh persamaan:

$$P_a = 0.5 H^2 \gamma K_a \quad (2.31)$$

dengan titik tangkap gaya pada $H/3$ dari dasar dinding penahan.

(b) Permukaan tanah urug miring

Ditinjau untuk kasus tanah urug tidak berkohesi ($c = 0$) yang permukaannya miring di belakang dinding penahan tanah, dengan permukaan dinding belakang

Jadi pada bidang-bidang ini, kecuali bekerja tegangan normal juga tegangan geser. Dengan demikian, kedua bidang ini bukan lagi bidang-bidang utama seperti pada kasus permukaan tanah urug horisontal. Tekanan tanah pada dinding dengan permukaan tanah urug miring dapat ditentukan dengan pertolongan lingkaran Mohr atau dengan memperhatikan keseimbangan tanah yang akan longsor.

Berikut ini hanya akan diperlihatkan cara menentukan tekanan pada dinding dengan lingkaran Mohr. Ditinjau suatu elemen tanah di belakang dinding penahan tanah dengan bagian dinding belakang vertikal, licin dan permukaan tanah urug miring sebesar β . Lingkaran Mohr saat elemen tanah pada kedudukan aktif diperlihatkan dalam Gambar 2.17c. Tegangan vertikal (σ) ditunjukkan oleh jarak OC, sedang tegangan lateral (p) yang bekerja pada bidang miring dinyatakan oleh jarak OA. Tegangan c_r dan p merupakan tegangan-tegangan *conjugate* dengan arah c_r vertikal dan p sejajar dengan permukaan tanah miring. Tegangan-tegangan σ dan p ini merupakan resultan tegangan pada masing-masing bidang di elemen tanah yang ditinjau (keduanya bukan tegangan-tegangan utama). Bila σ_1 dan σ_3 berturut-turut adalah tegangan utama mayor dan tegangan utama minor pada elemen tanah, untuk tanah tak berkohesi dapat diperoleh:

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3} = \sin \varphi \quad (2.32)$$

Tekanan tanah aktif total (P_a) untuk dinding penahan tanah setinggi H dinyatakan oleh persamaan:

$$P_a = 0.5 H^2 \gamma K_a \quad (2.33)$$

(c) Penggambaran diagram tekanan tanah lateral

Ditinjau dinding penahan tanah dengan tanah urug berupa pasir yang di atasnya terdapat beban terbagi rata q (Gambar 2.22). Muka air tanah terdapat pada kedalaman h_1 dari muka tanah. Di bawah h_1 terdapat tanah pasir 2. Tanah 2 mempunyai sudut gesek dalam (φ_2) lebih besar dari tanah 1 (φ_1), sehingga nilai $K_{a1} > K_{a2}$

Tabel 2.8 Koefisien tekanan tanah aktif (K_a) teori Rankine

β (°)	ϕ (°)								
	26	28	30	32	34	36	38	40	42
0	3.3905	0.3610	0.3333	0.2073	0.2827	0.2596	0.2379	0.2174	0.1982
5	0.3959	0.3656	0.3372	0.3105	0.2855	0.2620	0.2399	0.2192	0.1997
10	0.4134	0.3802	0.3495	0.3210	0.2944	0.2696	0.2464	0.2247	0.2044
15	0.4480	0.4086	0.3729	0.3450	0.3108	0.2834	0.2581	0.2346	0.2129
20	0.5152	0.4605	0.4142	0.3739	0.3381	0.3060	0.2769	0.2504	0.2262
25	0.6999	0.5727	0,4936	0.4336	0.3847	0.3431	0.3070	0.2750	0.2465
30	-	-	0.8660	0.5741	0.4776	0.4105	0.3482	0.3151	0.2784
35	-	-	-	-	-	0.5971	0.4677	0.3906	0.3340
40	-	-	-	-	-	-	-	0.7660	0.4668

Sumber : Analisis & Perancangan Fondasi Bagian I, Hary Christady

Tabel 2.9 Koefisien tekanan tanah pasif (K_p) teori Rankine

β (°)	ν (°)								
	26	28	30	32	34	36	38	40	42
0	2.5611	2.7698	3.000	3.2546	3.5371	3.8518	4.2037	4.5989	5.0447
5	2.5070	2.7145	2.9431	3.1957	3.4757	3.7875	4.1360	4.5272	4.9684
10	2.3463	2.5507	2.7748	3.0216	3.2946	3.5980	3.9365	4.3161	4.7437
15	2.0826	2.2836	2.5017	2.7401	3.0024	3.2926	3.6145	3.9766	4.3827
20	1.7141	1.9176	2.138	2.3618	2.6116	2.8857	3.1888	3.5262	3.9044
25	1.1736	1.4343	1.6641	1.8942	2.1352	2.3938	2.6758	2.9867	3.3328
30	-	-	08660	1.3064	1.5705	1.8269	2.0937	2.3802	2.6940
35	-	-	-	-	-	1.1239	1.4347	1.7177	2.0088
40	-	-	-	-	-	-	-	0.7660	1.2570

Sumber : Analisis & Perancangan Fondasi Bagian I, Hary Christady

Pada kedalaman $z = 0$:

Tekanan aktif efektif terhadap dinding $p_a = K_{a1} q$

Pada kedalaman $z = h_1$, karena tanah tidak terendam air, tekanan vertikal total sama dengan tekanan vertikal efektif, atau:

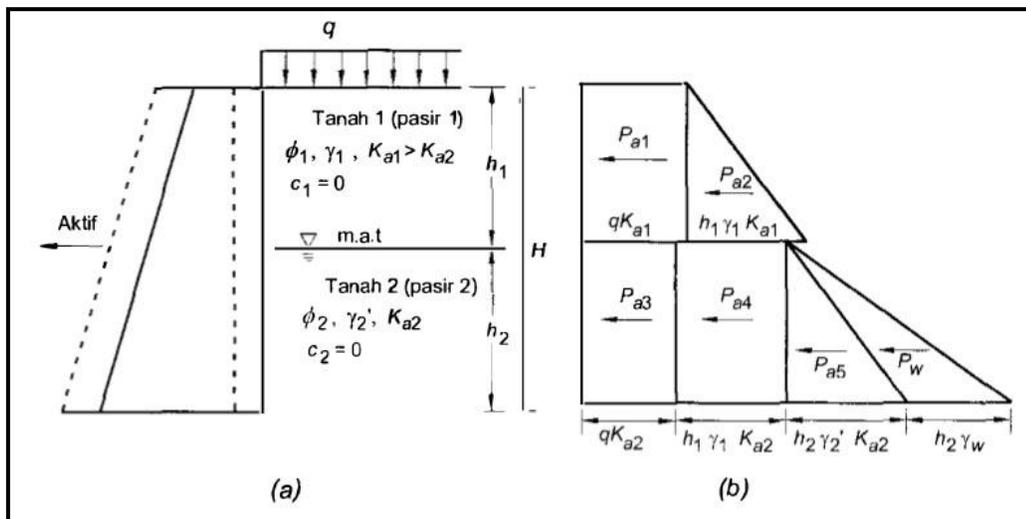
$$\sigma_v = \sigma'_v = (q + \gamma_1 h_1) \tag{2.34}$$

Tekanan tanah aktif pada bagian dinding setinggi h_1 adalah

$$p_a = p'_a = K_{a1} \sigma'_v = K_{a1} (q + \gamma_1 h_1) \tag{2.35}$$

Pada kedalaman $z = h_1 + h_2 = H$, karena tanah setebal h_2 terendam air, maka pada bagian ini dipakai berat volume efektif (γ_2'):

$$\sigma_v' = (q + \gamma_1 h_1 + \gamma_2' h_2) \tag{2.36}$$



Gambar 2.22 Diagram tekanan tanah aktif Rankine ($K_{a1} > K_{a2}$)

Sumber : Analisis & Perancangan Fondasi Bagian I, Hary Christady

Tekanan tanah aktif pada bagian dinding setinggi h_1 adalah

$$P'_a = K_{a2} \sigma_v = K_{a2} (q + \gamma_1 h_1 + \gamma_2' h_2) \tag{2.37}$$

Tekanan lateral akibat tekanan air setebal h_2 atau pada $z = H$:

$$u = \gamma_w h_2 \tag{2.38}$$

Tekanan tanah aktif total pada dinding penahan dengan tinggi H , adalah sama dengan luas diagram yang ditunjukkan pada Gambar 2.18b, yaitu:

$$P_a = P_{a1} + P_{a2} + P_{a3} + P_{a4} + P_{a5} + P_w \quad (2.39)$$

atau,

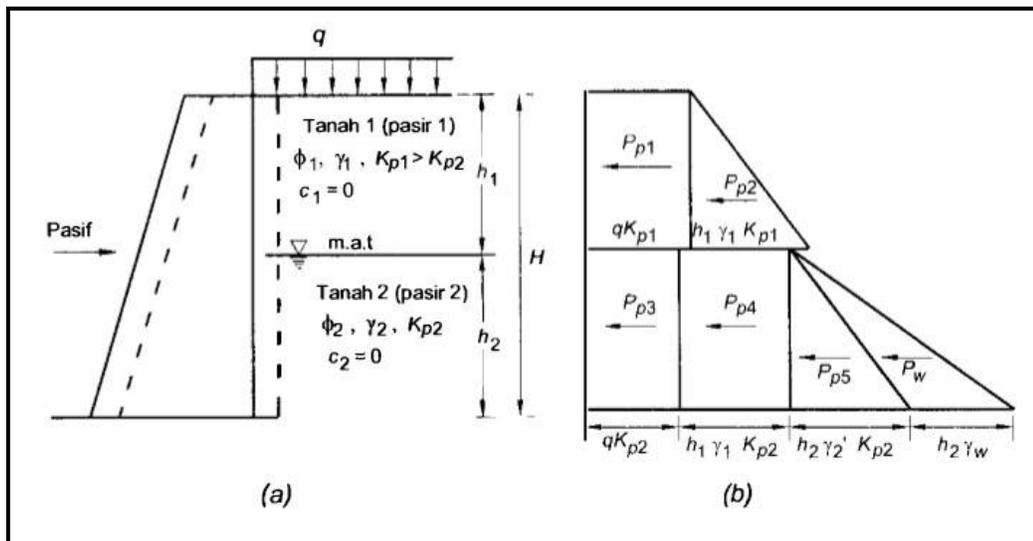
$$P_a = qh_1K_{a1} + 1/2\gamma_1h_1^2K_{a1} + qh_2K_{a1} + \gamma_1h_1h_2K_{a2} + 1/2\gamma_2'h_2^2K_{a2} + 1/2\gamma_w h_w^2 \quad (2.40)$$

Dengan cara yang sama seperti penggambaran diagram tekanan tanah aktif dapat diperoleh diagram tekanan pasif yang ditunjukkan pada Gambar 2.23. Nilai tekanan tanah pasiftotal P_p adalah:

$$P_p = P_{p1} + P_{p2} + P_{p3} + P_{p4} + P_{p5} + P_w \quad (2.41)$$

atau,

$$P_p = qh_1K_{p1} + 1/2\gamma_1h_1^2K_{p1} + qh_2K_{p1} + \gamma_1h_1h_2K_{p2} + 1/2\gamma_2'h_2^2K_{p2} + 1/2\gamma_w h_w^2 \quad (2.42)$$



Gambar 2.23 Diagram tekanan tanah pasif Rankine ($K_{p1} > K_{p2}$)

Sumber : Analisis & Perancangan Fondasi Bagian I, Hary Christady

2.5.2.5. Pengaruh Beban di atas Tanah Urug

Beban terbagi rata (q) di atas tanah urug dapat dianggap sebagai beban tanah setebal h_s dengan berat volume (γ) tertentu. Dengan demikian tinggi $h_s = q/\gamma$. Tekanan tanah aktif pada kedalaman h_s dari tinggi tanah anggapan tersebut adalah:

$$P_a = h_s \gamma K_a = q K_a \quad (2.43)$$

Jadi, akibat beban terbagi rata, terdapat tambahan gaya tekanan tanah aktif (P_a') sebesar:

$$P_a' = q K_a H \quad (2.44)$$

dengan :

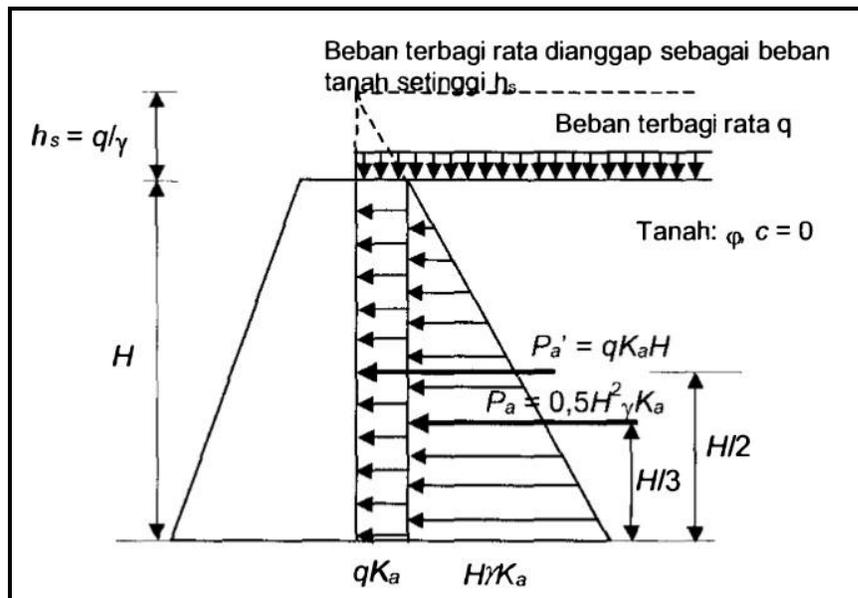
q = beban terbagi rata (kN/m^2)

H = tinggi dinding penahan (m)

K_a = koefisien tekanan tanah aktif

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

Diagram tekanan tanah aktif, hila dinding penahan tanah di pengaruhi oleh beban terbagi rata di atas tanah urug ditunjukkan dalam Gambar 2.24.



Gambar 2.24 Diagram tekanan tanah aktif akibat beban terbagi rata q untuk teori Rankine

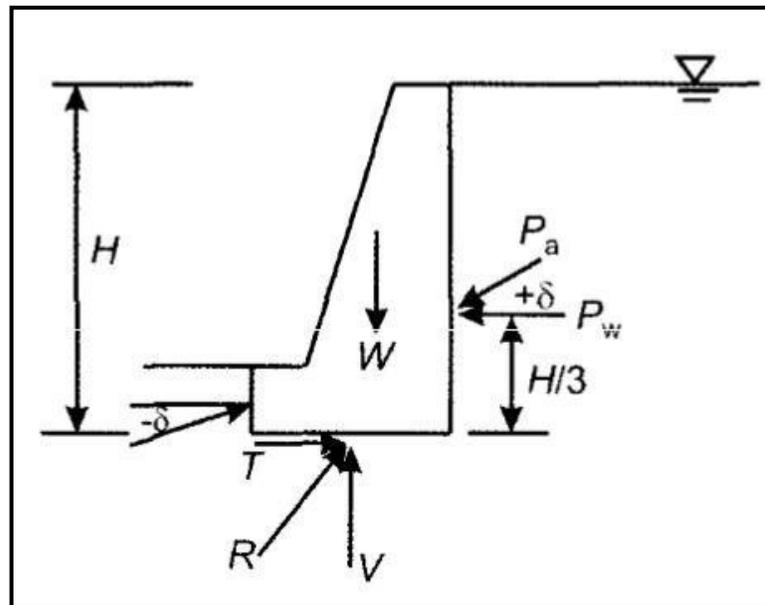
Sumber : Analisis & Perancangan Fondasi Bagian I, Hary Christady

2.5.3. Hitungan Stabilitas Dinding Penahan

Gaya-gaya yang bekerja pada dinding penahan meliputi (Gambar 2.25):

- 1) Berat sendiri dinding penahan (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).

Jika dinding pada keadaan seimbang, jumlah vektor gaya-gaya akan sama dengan nol.



Gambar 2.25 Gaya-gaya yang bekerja pada dinding penahan tanah

Sumber : Analisis & Perancangan Fondasi Bagian I, Hary Christady

Analisis stabilitas dinding penahan tanah ditinjau terhadap hal-hal sebagai berikut:

- 1) Faktor aman terhadap penggeseran dan penggulingan harus mencukupi.
- 2) Tekanan yang terjadi pada tanah dasar fondasi harus tidak boleh melebihi kapasitas dukung tanah ijin.
- 3) Stabilitas lereng secara keseluruhan harus memenuhi syarat.

Selain itu, jika tanah dasar mudah mampat, penurunan tak seragam yang terjadi harus tidak boleh berlebihan.

2.5.3.1. Stabilitas terhadap Penggeseran

Gaya-gaya yang menggeser dinding penahan tanah akan ditahan oleh:

- 1) Gesekan antara tanah dengan dasar fondasi.
- 2) Tekanan tanah pasif bila di depan dinding penahan terdapat tanah timbunan.

Faktor aman terhadap penggeseran (F_{gs}), didefinisikan sebagai:

$$F_{gs} = \frac{\sum R_h}{\sum P_h} \geq 1.5 \quad (2.45)$$

Untuk tanah granuler ($c = 0$):

$$\begin{aligned} \sum R_h &= Wf \\ &= Wtg \delta_h ; \text{ dengan } \delta_h \leq \varphi \end{aligned} \quad (2.46)$$

Untuk tanah kohesif ($\nu = 0$):

$$\sum R_h = c_a B \quad (2.47)$$

Untuk tanah $c - \varphi$ ($\varphi > 0$ dan $c > 0$):

$$\sum R_h = c_a B + Wtg \delta_b \quad (2.48)$$

dengan :

$\sum R_h$ = tahanan dinding penahan tanah terhadap penggeseran

W = berat total dinding penahan dan tanah di atas pelat fondasi (kN)

δ_h = sudut gesek antara tanah dan dasar fondasi, biasanya diambil $1/3 - (2/3) \nu$

c_a = $a_d \times c$ = adhesi antara tanah dan dasar dinding (kN/m^2)

c = kohesi tanah dasar (kN/m^2)

a_d = faktor adhesi

B = lebar fondasi (m)

$\sum P_h$ = jumlah gaya-gaya horizontal (kN)

F = $tg \delta_b$ = koefisien gesek antara tanah dasar dan dasar fondasi

Faktor aman terhadap penggeseran dasar fondasi (Fgs) minimum, diambil 1,5. Bowles (1997) menyarankan:

$Fgs \geq 1,5$ untuk tanah dasar granuler

$Fgs \geq 2$ untuk tanah dasar kohesif.

Dalam Tabel 2.9 ditunjukkan nilai-nilai f dari berbagai macam jenis tanah dasar. Jika dasar fondasi sangat kasar, seperti beton yang dicor langsung ke tanah, koefisien gesek $f = tg \delta b = tg \varphi$, dengan ν adalah sudut gesek dalam tanah dasar.

Tabel 2.10 Koefisien gesek (f) antara dasar fondasi dan tanah dasar (AREA, 1958)

Jenis tanah dasar fondasi	$f = tg \delta$
Tanah granuler kasar tak mengandung lanau atau lempung	0.55
Tanah granuler kasar mengandung lanau	0.45
Tanah lanau tak berkohesi	0.35
Batu keras permukaan kasar	0.60

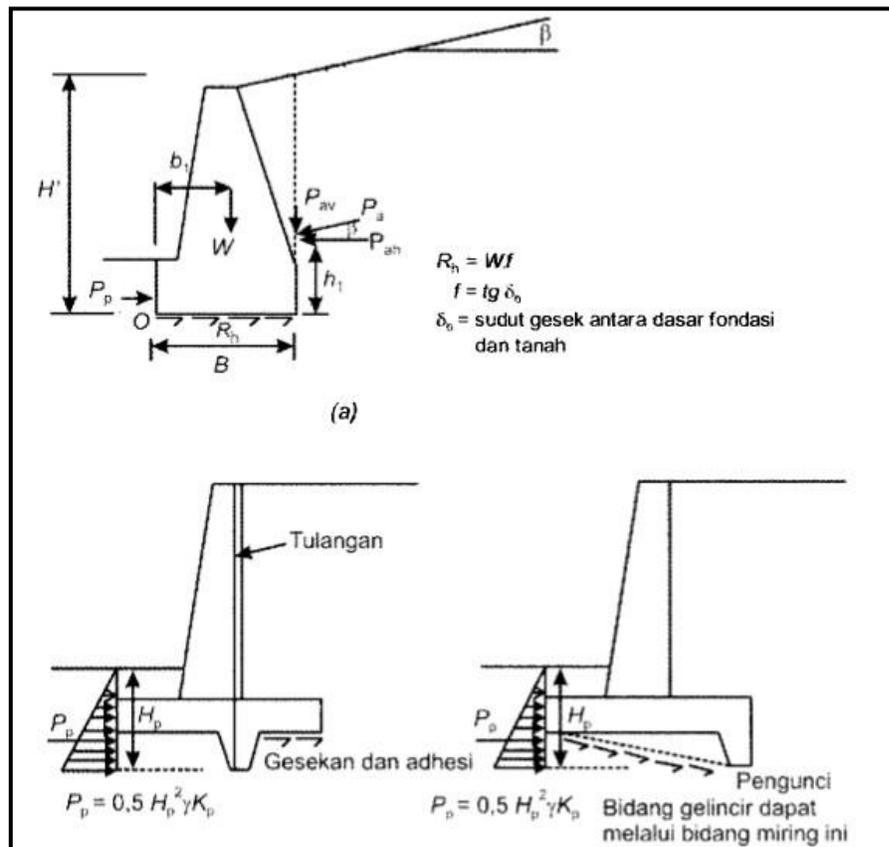
Sumber : Analisis & Perancangan Fondasi Bagian I, Hary Christady

Perhatian perlu diberikan jika dinding penahan tanah terletak pada tanah lanau atau lempung. Segera sebelum fondasi dicor, dasar fondasi lebih baik digali sedalam 10 cm, setelah itu ditimbun dengan tanah pasir kasar atau pasir campur kerikil yang dipadatkan setebal 10 cm. Koefisien gesek antara pasir dan tanah di bawahnya (f) dapat diambil 0,35 (Terzaghi dan Peck, 1948). Tetapi, jika kuat geser tak terdrainase (*undrained strength*) dari lapisan lunaknya lebih kecil dari tahanan geser dasar fondasi, penggeseran akan terjadi pada tanah lunak di bawah dasar fondasi tersebut.

Untuk itu, nilai adhesi antara dasar fondasi dan tanah bawahnya dianggap sama dengan nilai kohesi tanah (c), dan sudut gesek dalam (ν) dianggap sama dengan nol. Jika tanah berupa lempung kaku atau keras, tanah dasar harus dibuat kasar sebelum pengecoran. Hal ini untuk menyakinkan berkembangnya adhesi secara penuh. Dalam

menggunakan nilai kohesi (c), pengurangan kohesi akibat penggalian, atau gangguan waktu pelaksanaan harus diperhitungkan.

Jika dinding penahan tanah harus didukung oleh fondasi tiang, semua beban harus dianggap didukung oleh tiang. Karena itu, tahanan gesek dan adhesi pada dasar fondasi harus tidak diperhitungkan.



Gambar 2.26 (a) Stabilitas terhadap penggeseran dan penggulingan,

(b) Memperbesar tahanan geser dengan pengunci

Sumber : Analisis & Perancangan Fondasi Bagian I, Hary Christady

Jika faktor aman terhadap penggeseran $F_{gs} = 1,5$ sulit dicapai, maka lebih baik dipakai pengunci, seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 2.26b. Penambahan pengunci ini akan menambah tahanan tanah pasif. Namun, keuntungan dari pemakaian pengunci ini biasanya kecil, kecuali jika dasar fondasi terletak di atas

lapisan batu atau tanah keras. Dalam praktek, penggalian untuk penempatan pengunci yang tidak lebar (sempit) dan berdinding vertikal, seperti contoh pada Gambar 2.26b, dapat merusak tanah di sekitarnya. Untuk itu, jika tanah dasar lunak, atau tanah berupa material granuler murni, sisi pengunci sebaiknya dibuat miring 1 V: 1,5 H.

2.5.3.2. Stabilitas terhadap Penggulingan

Tekanan tanah lateral yang diakibatkan oleh tanah urug di belakang dinding penahan, cenderung menggulingkan dinding dengan pusat rotasi pada ujung kaki depan pelat fondasi. Momen penggulingan ini, dilawan oleh momen akibat berat sendiri dinding penahan dan momen akibat berat tanah di atas pelat fondasi (Gambar 2.26a).

Faktor aman akibat terhadap penggulingan (F_{gl}), didefinisikan sebagai:

$$F_{gl} = \frac{\sum M_w}{\sum M_{gl}} \quad (2.49)$$

dengan :

$$\sum M_w = Wb_1$$

$$\sum M_{gl} = \sum P_{ah} h_1 + \sum P_{av} B$$

$\sum M_w$ = momen yang melawan penggulingan (kN.m)

$\sum M_{gl}$ = momen yang mengakibatkan penggulingan (kN.m)

W = berat tanah di atas pelat fondasi + berat sendiri dinding penahan (kN)

B = lebar kaki dinding penahan (m)

$\sum P_{ah}$ = jumlah gaya-gaya horizontal (kN)

$\sum P_{av}$ = jumlah gaya-gaya vertikal (kN)

Faktor aman terhadap penggulingan (F_{gl}) bergantung pada jenis tanah, yaitu:

$F_{gl} \geq 1,5$ untuk tanah dasar granuler

$F_{gl} \geq 2$ untuk tanah dasar kohesif.

Tahanan tanah pasif, oleh tanah yang berada di depan kaki ginding depan sering diabaikan dalam hitungan stabilitas. Jika tahanan tanah pasif yang ditimbulkan oleh pengunci pada dasar fondasi diperhitungkan, maka nilainya harus direduksi untuk

mengantisipasi pengaruh-pengaruh erosi, iklim dan retakan akibat tegangan-tegangan tarik tanah dasar yang kohesif.

2.5.3.3. *Stabilitas terhadap Keruntuhan Kapasitas Dukungan Tanah*

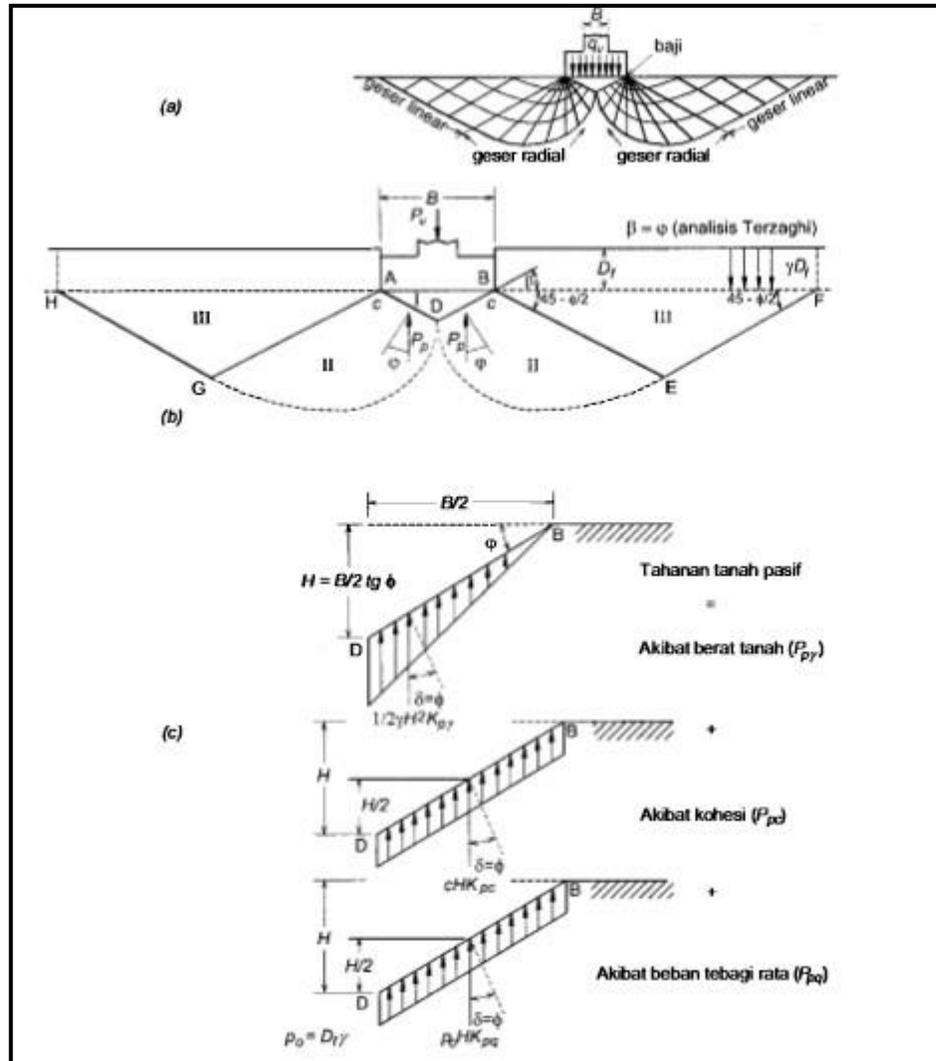
Analisis- analisis kapasitas dukung, dilakukan dengan cara pendekatan untuk memudahkan hitungan. Persamaan-persamaan yang dibuat, dikaitkan dengan sifat-sifat tanah dan bentuk bidang geser yang terjadi saat keruntuhan. Analisisnya, dilakukan dengan menganggap bahwa tanah berkelakuan sebagai bahan yang bersifat plastis. Konsep ini pertama kali dikenalkan oleh Prandtl (1921), yang kemudian dikembangkan oleh Terzaghi (1943), Meyerhof (1955) dan lain-lainnya.

Analisis kapasitas dukung dari Terzaghi (1943) didasarkan pada anggapan-anggapan, sebagai berikut:

- 1) Fondasi berbentuk memanjang tak terhingga.
- 2) Tanah di bawah dasar fondasi homogen.
- 3) Berat tanah di atas dasar fondasi digantikan dengan beban terbagi rata sebesar $P_0 = D_f \gamma$, dengan D_f adalah kedalaman dasar fondasi dan γ adalah berat volume tanah di atas dasar fondasi.
- 4) Tahanan geser tanah di atas dasar fondasi diabaikan.
- 5) Dasar fondasi kasar.
- 6) Bidang keruntuhan terdiri dari lengkung spiral logaritmis dan linier.
- 7) Baji tanah yang terbentuk di dasar fondasi dalam kedudukan elastis dan bergerak bersama-sama dengan dasar fondasi.
- 8) Pertemuan antara sisi baji dan dasar fondasi membentuk sudut sebesar sudut gesek dalam tanah (ϕ).
- 9) Berlaku prinsip superposisi.

Dalam analisis kapasitas dukung tanah, ditinjau suatu fondasi berbentuk memanjang tak terhingga, dengan lebar B yang terletak di atas tanah yang homogen dan dibebani dengan beban terbagi rata q_u (Gambar 2.27a). Beban total fondasi per satuan panjang adalah $P_u = q_u B$. Karena pengaruh beban P_u tersebut, pada tanah tepat di bawah

fondasi akan terbentuk sebuah baji yang menekan tanah ke bawah. Gerakan baji memaksa tanah di sekitarnya bergerak, yang menghasilkan zona geser di kanan dan kirinya dengan tiap-tiap zona terdiri dari 2 bagian, yaitu bagian geser radial yang berdekatan dengan baji dan bagian geser tinier yang merupakan kelanjutan dari bagian geser radial.



Gambar 2.27 (a). Pembebanan fondasi dan bentuk bidang geser,(b). Bentuk keruntuhan dalam analisis kapasitas dukung, (c). Distribusi tekanan tanah pasif pada permukaan BD

Sumber : Analisis & Perancangan Fondasi Bagian I, Hary Christady

Dalam mengevaluasi kapasitas dukung tanah, Terzaghi (1943) mengembangkan teori keruntuhan plastis Prandtl (1921). Mekanisme keruntuhan fondasi memanjang yang terletak pada kedalaman D_f dan mempunyai dasar yang kasar, dianalisis dengan anggapan bahwa keruntuhan terjadi pada kondisi keruntuhan geser umum (Gambar 2.27b). Baji tanah ABD pada zona I adalah di dalam zona elastis. Bidang-bidang AD dan BD membuat sudut β terhadap horisontal. Area pada zona II merupakan zona radial, sedang zona III merupakan zona pasif Rankine. Lengkung DE dan DG dianggap sebagai lengkung spiral logaritmis, bagian EF dan GH merupakan garis lurus. Garis-garis BE, FE, AG dan HG membentuk sudut $(45^\circ - \nu/2)$ terhadap horisontal. Pada kondisi keruntuhan geser umum, jika beban per satuan luas (q_u) diterapkan, maka gaya tekanan pasif P_p akan bekerja pada permukaan baji zona I, yaitu permukaan-permukaan AD dan BD. Bidang AD dan BD ini, dapat dibayangkan sebagai dinding penahan tanah yang mendorong tanah di belakangnya (dalam hal ini mendorong tanah bagian-bagian BDEF dan ADGH) sampai tanahnya mengalami keruntuhan. Tekanan ke bawah akibat beban fondasi P_u ditambah berat baji tanah pada zona I, ditahan oleh tekanan tanah pasif P_p yang berkembang pada bagian AD dan BD. Tekanan tanah pasif P_p ini, membuat sudut δ dengan garis normal yang ditarik pada bagian AD dan BD, dengan δ adalah sudut gesek dinding (*wall friction*). Karena gesekan pada bagian AD dan BD yang terjadi adalah antara tanah dengan tanah, maka $\delta = \nu$ (dengan ν = sudut gesek dalam tanah).

Kapasitas dukung ultimit (q_u) untuk fondasi memanjang dinyatakan oleh persamaan:

$$q_u = cN_c + D_f \gamma N_q + 0.5 B \gamma N_\gamma \quad (2.50)$$

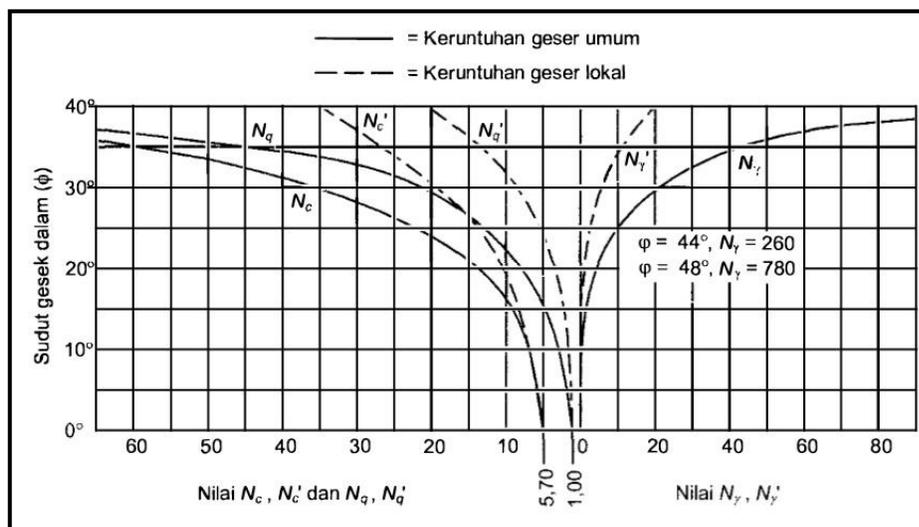
dengan :

- c = kohesi tanah (kN/m²)
- D_f = kedalaman fondasi (m)
- γ = berat volume tanah (kN/m³)
- B = lebar fondasi dinding penahan tanah (m)
- N_c, N_q, N_γ = faktor-faktor kapasitas dukung Terzaghi (Tabel 2.8)

Nilai-nilai N_γ , N_c , N_q adalah faktor-faktor kapasitas dukung tanah yang merupakan fungsi dari sudut gesek dalam (ϕ) tanah dari Terzaghi (1943). Nilai-nilai N_γ , N_c , N_q dalam bentuk grafik, dapat dilihat pada Gambar 2.28, sedang nilai-nilai numeriknya diberikan dalam Tabel 2.11.

Dalam persamaan kapasitas dukung ultimit di atas, q_u adalah beban total maksimum per satuan luas, ketika fondasi akan mengalami keruntuhan geser. Beban total terdiri dari beban-beban struktur, pelat fondasi, dan tanah urug di atasnya.

Analisis kapasitas dukung tanah di atas didasarkan pada kondisi keruntuhan geser umum dari suatu bahan yang bersifat plastis, yang volume dan kuat gesemnya tidak berubah oleh adanya keruntuhan. Pada tanah-tanah yang mengalami regangan yang besar sebelum tercapai keruntuhan geser, gerakan ke bawah dari baji tanah mungkin hanya memampatkan tanah, tanpa adanya regangan yang cukup untuk menghasilkan keruntuhan geser umum. Kondisi keruntuhan semacam ini akan menimbulkan keruntuhan geser lokal. Analisis yang rasional untuk kondisi keruntuhan ini sulit. Untuk ini, Terzaghi hanya memberikan koreksi empiris pada faktor-faktor kapasitas dukung pada kondisi keruntuhan geser umum, yang digunakan untuk hitungan kapasitas dukung pada kondisi keruntuhan geser lokal. Caranya, seluruh faktor kapasitas dukung dihitung kembali dengan menggunakan c_p' dan c' dengan



Gambar 2.28 Hubungan ϕ dan N_γ, N_c, N_q (Terzaghi, 1943)

Sumber : Analisis & Perancangan Fondasi Bagian I, Hary Christady

Tabel 2.11 Nilai-nilai kapasitas dukung Terzaghi (1943)

ϕ	Keruntuhan geser umum			Keruntuhan geser lokal		
	Nc	Nq	$N\gamma$	Nc	Nq	$N\gamma$
0	5.7	1.0	0.0	5.7	1.0	0.0
5	7.3	1.6	0.5	6.7	1.4	0.2
10	9.6	2.7	1.2	8.0	1.9	0.5
15	12.9	4.4	2.5	9.7	2.7	0.9
20	17.7	7.4	5.0	11.8	3.9	1.7
25	25.1	12.7	9.7	14.8	5.6	3.2
30	37.2	22.5	29.7	19.0	8.3	5.7
34	52.6	36.5	35.0	23.7	11.7	9.0
35	57.8	41.4	42.4	25.2	12.6	10.1
40	95.7	81.3	100.4	349	205	18.8
45	172.3	173.3	297.5	51.2	35.1	37.7
48	258.3	287.9	780.1	66.8	50.5	604
50	347.6	415.1	1153.2	81.3	65.6	87.1

Sumber : Analisis & Perancangan Fondasi Bagian I, Hary Christady

Faktor aman terhadap keruntuhan kapasitas dukung didefinisikan sebagai:

$$F = \frac{qu}{q} \geq 3 \quad (2.51)$$

dengan q = tekanan akibat beban struktur. Umumnya, faktor aman (F) terhadap keruntuhan tanah dasar minimum diambil sama dengan 3.

Tekanan struktur pada tanah dasar fondasi dapat dihitung dari persamaan-persamaan sebagai berikut:

- 1) Bila dipakai cara lebar efektif fondasi (asumsi Meyerhof):

$$q = \frac{V}{B'} \quad (2.52)$$

dengan V = beban vertikal total dan $B' = B - 2e$.

- 2) Bila distribusi tekanan kontak antara tanah dasar fondasi dianggap linier (cara ini dulu dipakai bila dalam hitungan kapasitas dukung digunakan persamaan Terzaghi):

$$q = \frac{V}{B} (1 \pm \frac{6e}{B}) \text{ bila } e \leq B/6 \quad (2.53)$$

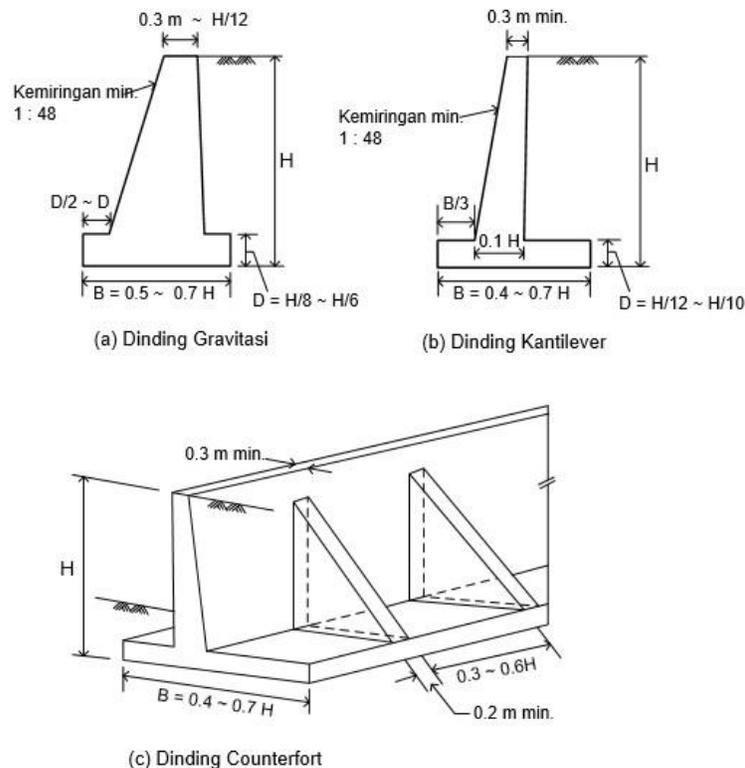
$$q_{max} = \frac{2V}{3(B-2e)} \text{ bila } e > B/6 \quad (2.54)$$

Dalam perancangan, lebar fondasi dinding penahan (B) sebaiknya dibuat sedemikian hingga $e < (B/6)$. Hal ini dimaksudkan agar efisiensi fondasi maksimum dan perbedaan tekanan fondasi pada ujung-ujung kaki dinding tidak besar (untuk mengurangi resiko keruntuhan dinding akibat penggulingan).

2.6. Persyaratan Teknis Dinding Penahan

2.6.1. Dimensi Tipikal Dinding Penahan Tanah

Dimensi tipikal dinding penahan tanah merupakan langkah awal perancangan, dimana selanjutnya dilakukan analisis stabilitas dinding penahan tanah, dan dilakukan penyesuaian dimensi dinding dimana perlu, sehingga tercapai dimensi dinding yang optimal.



Gambar 2.29 Dimensi tipikal dinding penahan tanah
Sumber : SNI 8460:2017, Persyaratan perancangan geoteknik

2.6.2. Faktor-Faktor yang Perlu Diperhatikan dalam Perancangan

Dinding penahan tanah harus dirancang untuk tetap aman terhadap:

- 1) Stabilitas guling,
- 2) Stabilitas geser lateral,
- 3) Daya dukung tanah.

Faktor-faktor lain yang harus diperhatikan di antaranya adalah sebagai berikut.

- 1) Kondisi tanah pada lokasi dinding, apakah ada potensi dimana dinding penahan tanah secara keseluruhan ikut mengalami gelincir rotasi/translasi (*global stability*);
- 2) Apakah ada lapisan tanah lunak di bawah lapisan tanah yang langsung mendukung dinding penahan tanah, yang dapat menyebabkan dinding mengalami penurunan (jangka panjang), dan mengakibatkan dinding berputar ke belakang.

2.6.3. Pemeriksaan Stabilitas Dinding dan Faktor Keamanan Minimum

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 stabilitas global minimum 1,5;
- 5) Faktor keamanan terhadap gempa minimum 1,1.

2.7. Kriteria Perancangan Lereng

2.7.1. Kriteria Pembebanan

Analisis stabilitas lereng harus mempertimbangkan beban hidup (*live load*), mati (*dead load*) dan gempa sesuai peruntukan lereng galian dan timbunan. Beban tambahan (*surchage load*) 10 kN/m² harus diterapkan untuk memperhitungkan beban yang bekerja pada permukaan atas lereng kecuali ada persyaratan lain sesuai peruntukannya. Untuk analisis pseudo-statik dari lereng galian, maupun timbunan, beban gempa yang lebih spesifik disarankan sesuai dengan kondisi geologi dan area kegempaan serta kepentingan lereng.

tambahan (*surcharge load*) 10 kN/m² harus diterapkan untuk memperhitungkan beban yang bekerja pada permukaan atas lereng kecuali ada persyaratan lain sesuai peruntukannya. Untuk analisis pseudo-statik dari lereng galian, maupun timbunan, beban gempa yang lebih spesifik disarankan sesuai dengan kondisi geologi dan area kegempaan serta kepentingan lereng.

2.7.2. *Beban Gempa*

Pengaruh beban gempa diperhitungkan jika lereng galian atau timbunan direncanakan dibangun di dekat area pemukiman atau dibangun dengan kriteria kepentingan strategis yaitu dengan kondisi tidak boleh mengalami keruntuhan atau terputusnya lajur transportasi setelah terjadi gempa rencana. Gempa rencana untuk lereng galian dan timbunan ditetapkan dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur rencana 50 tahun adalah 2% atau setara dengan periode ulang 500 tahun dengan mengacu pada peta gempa yang terdapat pada surat edaran Menteri Pekerjaan Umum No. 12/SE/M/2010.

Faktor keamanan minimum yang disyaratkan untuk analisis menggunakan model pseudostatik adalah lebih besar dari 1,1 ($FK > 1,1$) dengan menggunakan koefisien seismik yang didapatkan dari percepatan puncak di permukaan (PGA) dengan penentuan kelas situs dan faktor amplifikasi mengacu pada 12.3.2.

2.7.3. *Beban Lalu Lintas*

Beban lalu lintas ditambahkan pada seluruh lebar permukaan jalan dan besarnya ditentukan berdasarkan kelas jalan yang diberikan pada Tabel 2.11.

Tabel 2.12 Beban lalu lintas untuk analisis stabilitas (DPU, 2001) dan beban di luar jalan

Kelas Jalan	Beban Lalu Lintas	Beban di luar jalan
	(kPa)	(kPa)
I	15	10
II	12	10

III	12	10
-----	----	----

Sumber : SNI 8460:2017, Persyaratan perancangan geoteknik

2.7.4. Kriteria Loading dan Unloading (stress history)

Perancangan lereng timbunan harus memperhitungkan tegangan vertikal sebagai *major principal stress* pada saat kondisi pemberian beban (*loading*), sedangkan pada lereng galian harus memperhitungkan tegangan horizontal sebagai *major principal stress* pada saat kondisi pelepasan beban (*unloading*). Pada kondisi jangka panjang sebagai respon pengurangan tekanan pori dan menurunnya kekuatan geser tanah, menjadikan kondisi ini kritis untuk dianalisis.

2.7.5. Kriteria Umur Rencana

Umur rencana lereng tergantung dari kepentingan struktur yang dibangun. Umumnya peninjauan meliputi kondisi jangka pendek dan jangka panjang.

2.7.6. Kriteria Deformasi

Kriteria deformasi yang diberikan di dalam subpasal ini meliputi deformasi vertikal, deformasi horizontal, penurunan jangka pendek, penurunan jangka panjang dan dampaknya terhadap bangunan sekitarnya.

2.7.7. Kriteria Faktor Keamanan

Faktor keamanan lereng yang disyaratkan untuk analisis kestabilan lereng tanah diperlihatkan pada Tabel 2.13 dengan didasarkan pada pertimbangan biaya dan konsekuensi kegagalan lereng terhadap tingkat ketidakpastian kondisi analisis. Sedangkan untuk lereng batuan, faktor keamanan yang disyaratkan diperlihatkan pada Tabel 2.14 dengan mempertimbangkan kondisi permanen atau sementara lereng batuan yang akan direncanakan.

Pada lereng batuan, pengaruh air perlu diperhitungkan. Apabila muka air tanah tinggi dan diperlukan usaha penurunan muka air tanah di dalam massa batuan untuk meningkatkan faktor keamanan, maka dapat dilakukan penurunan muka air tanah

dengan bor horizontal yang berfungsi sebagai drainase untuk mengalirkan air keluar dari massa batuan. Tabel 2.14 memberikan rekomendasi nilai faktor keamanan untuk lereng batuan.

Tabel 2.13 Nilai faktor keamanan untuk lereng tanah

Biaya dan konsekuensi dari kegagalan lereng	Tingkat ketidakpastian kondisi analisis	
	Rendah ^a	Tinggi ^b
Biaya perbaikan sebanding dengan biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1.25	1.5
Biaya perbaikan lebih besar dari biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1.5	2.0 atau lebih
^a Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan rendah, jika kondisi geologi dapat dipahami, kondisi tanah seragam, penyelidikan tanah konsisten, lengkap dan logis terhadap kondisi di lapangan. ^b Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan tinggi, jika kondisi geologi sangat kompleks, kondisi tanah bervariasi, dan penyelidikan tanah tidak konsisten dan tidak dapat diandalkan.		

Sumber : SNI 8460:2017, Persyaratan perancangan geoteknik

Tabel 2.14 Rekomendasi nilai faktor keamanan untuk lereng batuan

Kondisi lereng batuan	Rekomendasi nilai faktor keamanan
Kondisi permanen	1.5
Kondisi sementara	1.3

Sumber : SNI 8460:2017, Persyaratan perancangan geoteknik

Pada lereng tambang, meskipun dapat dianggap sebagai lereng yang bersifat sementara, faktor lamanya proses penambangan, proses penambangan yang umumnya dengan peledakan (*blasting*), serta laju proses pelapukan baik oleh cuaca

maupun air di dalam massa batuan, terutama pada batuan lempung serpih (*clayshale*) harus mendapatkan perhatian yang seksama di dalam perancangan.

2.8. Plaxis

Plaxis merupakan suatu program komputer berdasarkan metode elemen hingga dengan tujuan memudahkan perhitungan lereng. Maksud diciptakan program Plaxis adalah sebagai alat bantu analisis yang digunakan ahli geotek yang tidak harus menguasai metode numerik. Plaxis 2D Versi Profesional memuat berbagai permasalahan geoteknik. Dalam Versi Profesional memuat paket program meliputi deformasi elastoplastis statis, pemodelan tanah tingkat lanjut, konsolidasi, jarring elemen hingga yang diperbaharui dan aliran statid air tanah.

Model Mohr-Coulomb pada Plaxis adalah model elastis-plastis yang terdiri dari lima buah parameter, yaitu E dan V untuk memodelkan elastisitas tanah : ν dan c untuk memodelkan plastisitas tanah dan ψ sebagai sudut dilatasi. Model Mohr-Coulomb merupakan satu pendekatan “ordo pertama” dari perilaku tanah atau batuan. Model Mohr-Coulomb disarankan untuk digunakan dalam analisis awal dari masalah yang dihadapi setiap lapisan dimodelkan dengan sebuah nilai kekakuan rata-rata yang konstan. Karena kekakuan yang konstan, maka perhitungan cenderung cepat dan dapat diperoleh perkiraan awal dari bentuk deformasi dari model. Disamping kelima parameter dari model tersebut, kondisi tegangan awal dari tanah memegang peranan yang penting dalam hampir seluruh masalah deformasi tanah. Tegangan horizontal awal tanah harus ditentukan terlebih dahulu dengan menentukan nilai K_0 yang tepat.

Bagian ini akan menjelaskan tentang beberapa notasi dan dasar-dasar dari penggunaan program PLAXIS. Kapanpun tombol pada keyboard atau tombol teks pada layar harus ditekan. diindikasikan dalam nama dan tanda kurung (contoh tombol <enter>).

2.8.1. Instalasi

Dalam melakukan instalasi, pengguna dapat mengikuti langkah-langkah yang tertera pada jendela informasi yang tertera pada proses *install*.

2.8.2. Aspek Umum Pemodelan

Dalam tiap kali pemodelan baru yang akan dilakukan, langkah awal yang harus dilakukan yaitu membuat geometri. Geometri yang dibuat merupakan geometri dalam bentuk 2 Dimensi yang menggambarkan dari kondisi nyata dalam bentuk 3 dimensi. Model geometri yang digambarkan harus sesuai dengan kondisi di lapangan, baik itu jumlah laisan tanah, struktur dari permukaan tanah, tahap konstruksi dan pembebanannya.

Points:

Titik dari awal dan akhir sebuah garis. Points juga dapat digunakan untuk menentukan posisi angkur, titik beban, titik dari kondisi batas dan local refinement dalam jaring-jaring elemen.

Lines:

Lines digunakan untuk menetapkan batas-batas fisik dari geometri yang akan dibuat seperti dinding atau kerangka, pemisah dari lapisan tanah atau tahap dari lapisan konstruksi.

Clusters:

Clusters merupakan area penuh yang terbuat dari garis yang saling terhubung menggunakan lines. PLAXIS secara otomatis menentukan area dari pertemuan antar garis yang membentuk suatu objek tertutup. Dengan adanya clusters, property tanah akan dianggap homogen.

Setelah membuat model geometri, secara otomatis elemen hingga pada geometri tersebut akan terbentuk berdasarkan pada komposisi dari lapisan tanah yang teridentifikasi.

Elements:

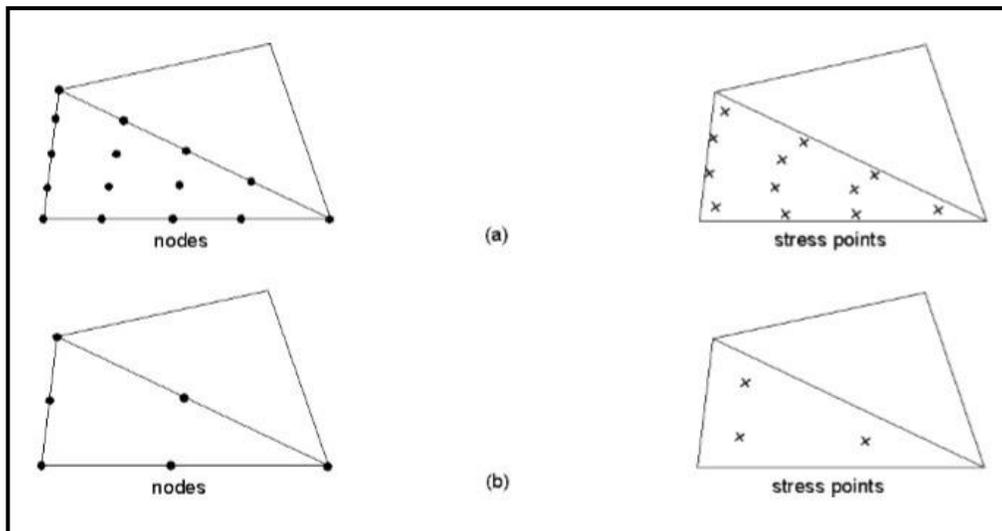
Berdasarkan dari terbentuknya jaring elemen, cluster akan terbagi menjadi elemenelemen segituga. Pilihan dari elemen tersebut dapat ditentukan berdasarkan 2 jenis elemen yaitu 15-node elements dan 6-node elements. Penggunaan 15-node elements akan memberikan hasil yang lebih akurat pada hasil perhitungan tegangan maupun keruntuhan. Pilihan lain model elemen yaitu 6-node triangles tersedia untuk perhitungan cepat terhadap serviceability states.

Nodes:

15-node element terdiri atas 15 nodes dan segitiga 6-node terdiri dari 6 nodes. Penyebaran terhadap kedua nodes dapat dilihat pada gambar 2.26.

Stress points:

Berbeda dengan perpindahan, tegangan dan regangan dihitung secara individual dengan integrasi Gaus. Untuk 15-node, segitiga elemen terdiri dari 12 titik tegangan seperti pada gambar 2.30a. dan untuk 6-node, segitiga elemen terdiri dari 3 point tegangan seperti pada gambar 2.30b



Gambar 2.30 Nodes dan titik tegangan
Sumber : Modul Pelatihan Plaxis Versi 8

2.8.3. *Prosedur Penginputan*

Dalam program PLAXIS, input yang dilakukan merupakan pengoperasian dari mouse, dapat berupa menekan tombol mouse atau mengarahkan kursor, atau pun dengan melakukan input manual menggunakan keyboard. Pada umumnya, perbedaan dalam penginputan terdiri dari 4 jenis:

Input objek geometri	(menggambar lapisan tanah)
Input kata	(memasukan nama pada proyek)
Input nominal angka	(memasukan nilai parameter)
Input terhadap penentuan/pemilihan	(menentukan jenis dari lapisan tanah)

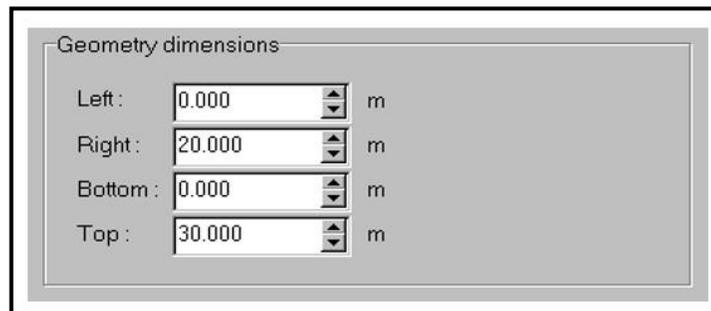
1) Input Objek Geometri

Dalam melakukan input geometri, biasanya terdiri dari penggunaan points dan line. Hal ini dapat dilakukan jika kursor berada pada gambar kerja. Gambar dapat terbentuk dengan menggunakan line dengan cara mengklik kiri pada mouse untuk menentukan titik koordinat penggambaran dan mengklik kanan untuk mengakhiri proses menggambar.

2) Input Kata atau Angka

Proses input kata atau pun angka dilakukan untuk mengisi kolom yang tersedia pada jendela yang akan muncul dalam proses analisis, seperti mengetikkan judul pada tanah yang akan diidentifikasi atau nilai parameter tanah.

Gambar 2.31. menunjukkan contoh dalam input kata maupun angka, selain input dengan mengetik secara manual, input dapat dilakukan dengan mengklik simbol panah ▲ atau ▼ pada bagian kanan untuk menambah atau pun mengurangi nilai.

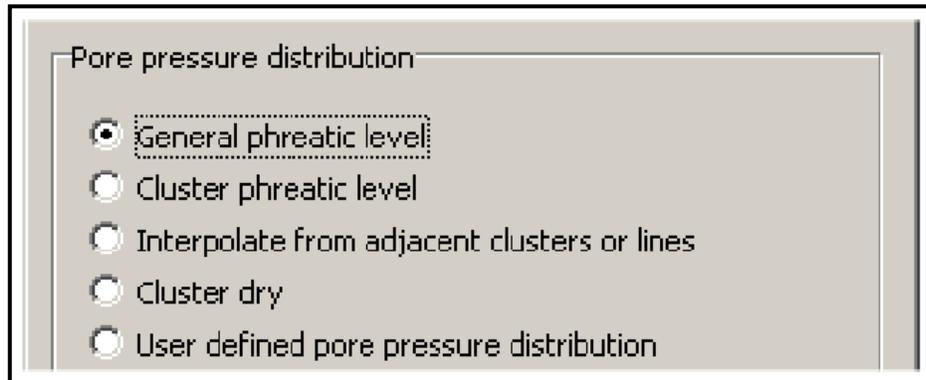


Gambar 2.31 Spin edit

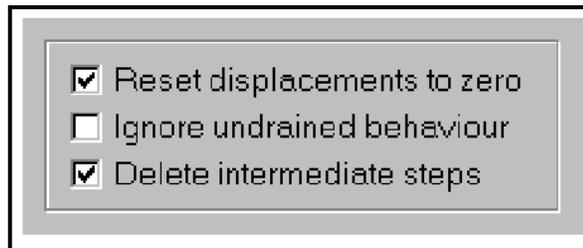
Sumber : Modul Pelatihan Plaxis Versi 8

3) Input Kata atau Angka

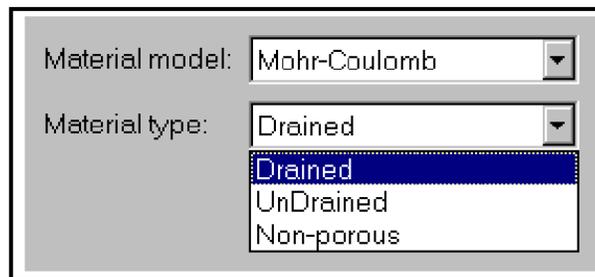
Input seleksi dilakukan dengan memilih salah satu atau beberapa pilihan yang tersedia pada menu seperti pada gambar 2.32 atau 2.33.



Gambar 2.32 Radio buttons
 Sumber : Modul Pelatihan Plaxis Versi 8



Gambar 2.33 Check boxes
 Sumber : Modul Pelatihan Plaxis Versi 8

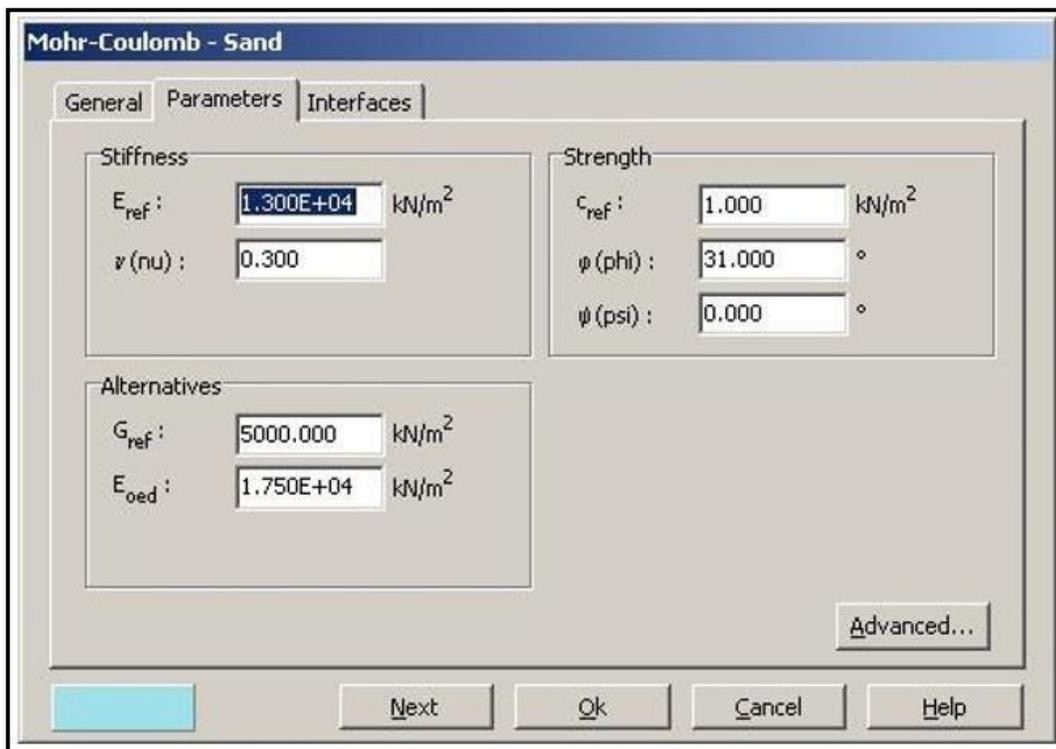


Gambar 2.34 Combo boxes
 Sumber : Modul Pelatihan Plaxis Versi 8

4) Input Kata atau Angka

Input yang diperlukan dalam suatu pemodelan diharapkan inputan yang masuk akal. Inputan ini akan menjelaskan suatu hal yang dapat mendeskripsikan bagian-bagian yang ada dalam suatu pemodelan. Contoh dari inputan structural akan dijelaskan pada pembahasan selanjutnya.

Gambar 2.35 menunjukkan jendela untuk menentukan input structural pada suatu jenis tanah, beberapa kolom akan terisi secara otomatis setelah memasukkan angka pada parameter utama.



Gambar 2.35 Page control and tab sheets

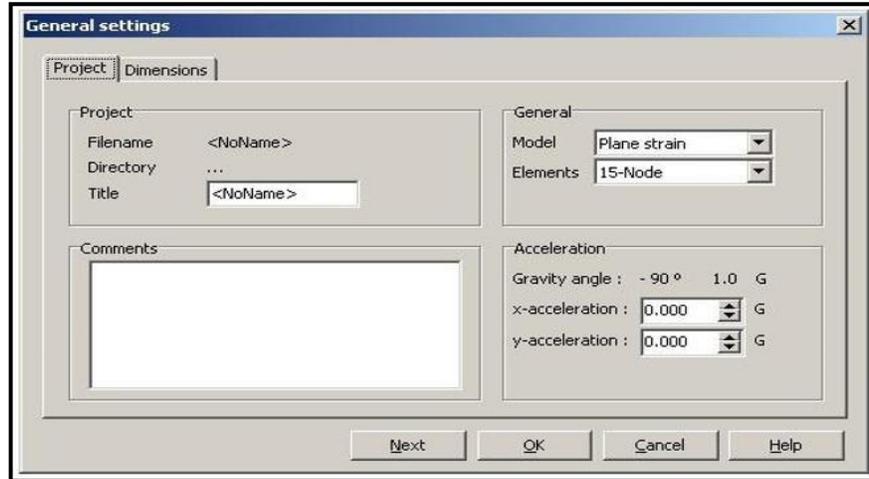
Sumber : Modul Pelatihan Plaxis Versi 8

2.8.4. Memulai Program

Saat pertama kali membuka program PLAXIS input, akan muncul jendela untuk memilih file yang akan dibuka, dapat berupa file baru atau file yang sudah tersimpan sebelumnya.

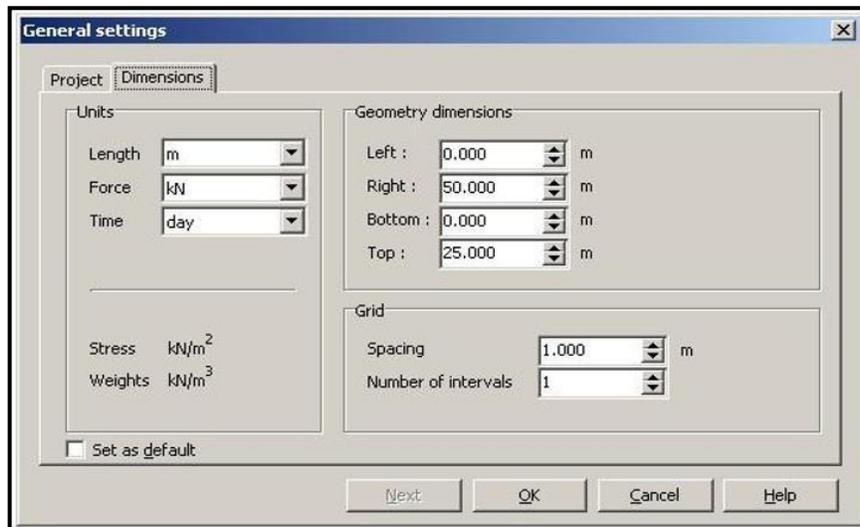
1) General Settings

Dalam setelan umum ini, pengguna harus menentukan jenis pemodelan serta elemen yang akan digunakan, selain itu pada kolom title diketikkan judul dari proyek yang akan dilakukan.



Gambar 2.36 General settings - General tab sheet
 Sumber : Modul Pelatihan Plaxis Versi 8

Pada tab dimensions, diisikan beberapa satuan dasar dari pemodelan di menu units. Pada menu dimensi geometri tentukan nilai maksimum terhadap sumbu koordinat, hal ini akan mempengaruhi terhadap ukuran pemodelan yang akan digambar



Gambar 2.37 General settings - Dimensions tab sheet
 Sumber : Modul Pelatihan Plaxis Versi 8

2) Creating a Geometry Model

Setelah general setting selesai, klik <OK> maka menu utama akan muncul. menu utama yang muncul akan terlihat seperti pada gambar 2.38 dengan beberapa pilihan menu seperti berikut:

Main menu:

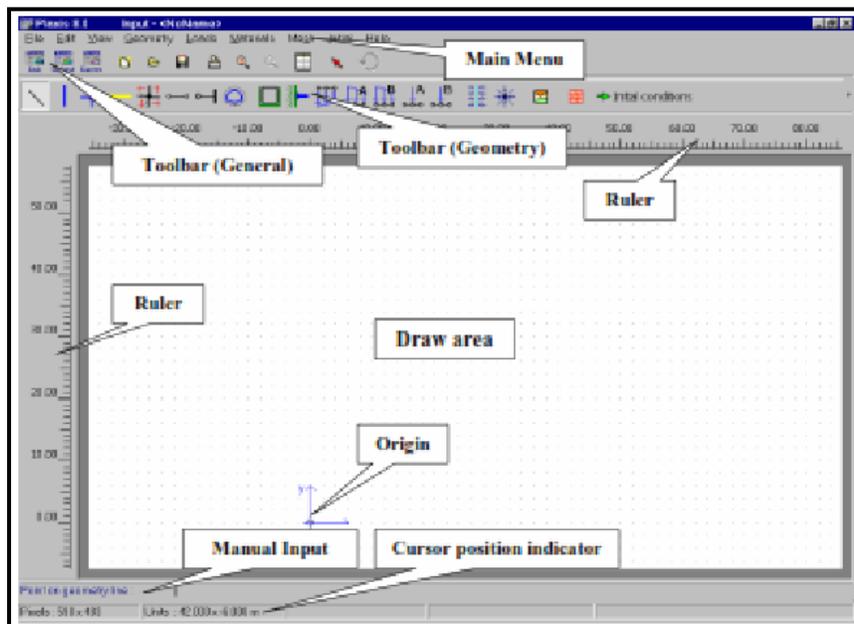
Main menu menyediakan opsi yang ada pada toolbar dan beberapa tambahan opsi yang tidak sering digunakan dalam pemodelan.

Tool bar (General):

Toolbar ini memberi opsi umum seperti print, zoom, atau pun menyeleksi objek. Selain itu juga dapat menunjukkan beberapa program lain yang tersedia di PLAXIS seperti Calculations, Output dan Curves.

Tool bar (Geometry):

Toolbar ini memberi menu untuk melakukan proses penggambaran. Dengan memilih menu pada toolbar ini secara berurutan dari kiri ke kanan, akan membantu pengguna dalam menyelesaikan gambar untuk dimodelan.



Gambar 2.38 Main window of the Input program

Sumber : Modul Pelatihan Plaxis Versi 8

Rulers:

Menu ini seperti penggaris yang terletak di bagian kiri dan atas dari gambar kerja, berfungsi untuk menunjukkan dimensi dari proses penggambaran.

Draw area:

Draw area merupakan gambar kerja yang dapat digunakan untuk menggambar objek geometri saat melakukan pemodelan

Origin:

Origin merupakan 2 garis tegak lurus yang berbentuk siku. titik perpotongan dari kedua garis ini menunjukkan koordinat $x ; y (0 ; 0)$

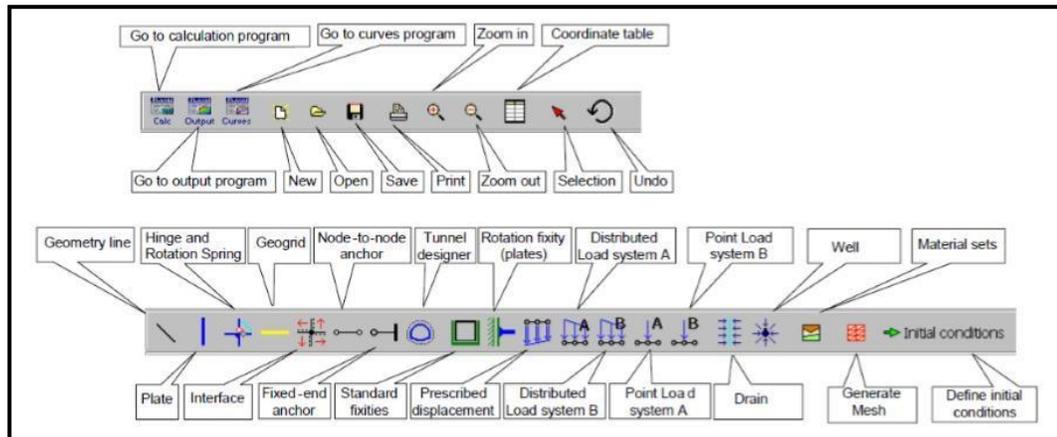
Manual input:

Jika dalam penggambaran mouse tidak dapat menunjukkan akurasi dari titik yang akan dibuat, pengguna dapat mengetikkan angka koordinat secara manual pada bagian ini sehingga didapatkan titik koordinat yang diinginkan. Biasanya menu ini digunakan jika koordinat memiliki angka decimal.

Cursor position indicator:

Menu ini berfungsi sebagai penunjuk letak kursor pengguna berada.

Beberapa menu di atas dapat dihilangkan jika dianggap tidak perlu dengan memilihnya pada menu view.



Gambar 2.39 Toolbars

Sumber : Modul Pelatihan Plaxis Versi 8

Beberapa kegunaan icon pada toolbar memiliki fungsi masing-masing seperti ditunjukkan pada gambar 2.39

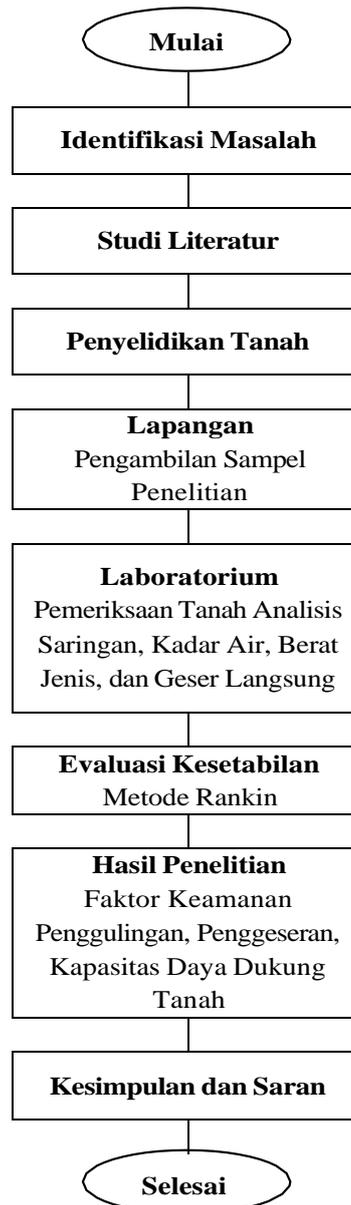
Untuk lebih memahami fungsi dari icon pada toolbar, pengguna dapat melihatnya pada menu help atau dengan menekan tombol <F1> pada keyboard.

BAB 3

Metodologi

3.1. Metode Penelitian

Metode evaluasi tergambar dalam *flow chart* dibawah ini :



Gambar 3.1 Flow Chart Penelitian

Metode penelitian adalah langkah-langkah atau cara-cara evaluasi suatu masalah, kasus, gejala atau fenomena dengan jalan ilmiah untuk menghasilkan hasil yang rasional. Metode penelitian yang dilakukan adalah analisa stabilitas lereng dan dinding penahan tanah yang digunakan sebagai dasar langkah-langkah penelitian dan menjadi suatu perangkat yang digunakan untuk menarik kesimpulan, sehingga dapat diperoleh penyelesaian yang diharapkan untuk menjadi rekomendasi perencanaan kepada Dinas terkait.

Kegiatan penelitian terhadap evaluasi stabilitas lereng dan tembok penahan tanah di lakukan di lapangan dan di laboratorium, meliputi faktor keamanan terhadap gaya geser, guling, dan kuat dukung tanah berdasarkan SNI 8640-2017 tentang Persyaratan Perencanaan Geoteknik.

3.2. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian (Gambar 3.2) berada di Titik Kordinat S $7^{\circ} 11' 18''$ dan E $107^{\circ} 40' 16''$ yaitu di Jalan Raya Cibereum Kecamatan Kertasari Kabupaten Bandung Jawa Barat.



Gambar 3.2 Lokasi Penelitian
Sumber : *Google Earth 2020*

3.3. Data Teknis Dinding Penahan Tanah

Data-data teknis dinding penahan tanah yang didapat dari perencana dapat dilihat sebagai berikut:

Jenis dinding penahan tanah	: Bronjong Kawat
Lokasi	: Kabupaten Bandung
Material Utama	: Batu Bronjong
Jumlah Lapis	: 25 (dua puluh lima)
LapisTinggi bangunan keseluruhan	: 25.00 m
Lebar arah x	: 14.00 m
Lebar arah y	: 38.00 m
Dimensi per bronjong	: 1.00 m x 2.00 m dan 1.00 m x 1.00 m

3.4. Menentukan Parameter Tanah

Untuk keperluan analisa dinding penahan tanah, diperlukan data tanah di lapangan yang terletak di lokasi longsor dan duji di laboratorium Teknik Sipil UNJANI.

Dengan parameter sebagai berikut :

- Kohesi (C) dan sudut gesek tanah (ϕ) diperoleh dengan melakukan uji geserlangsung (*direct shear test*) (SNI 3420-2016).
- Berat Volume tanah (γ) diperoleh dengan melakukan uji berat volume tanah (SNI1965;2008).
- Kadar air (W_n) diperoleh dengan melakukan uji kadar air (SNI 1965;2008).
- Berat jenis (G_s) diperoleh dengan melakukan uji berat jenis tanah (SNI1964:2008).
- Uji distribusi ukuran butir, diperoleh dengan melakukan uji saringan (SNI3423:2008)

3.5. Uraian Langkah-Langkah Penelitian

3.5.1. *Bahan Penelitian*

Pengambilan sampel tanah dilakukan secara *undisturbed* (tak terganggu) dan *disturbed* (terganggu). Sampel tanah *undisturbed* diambil secara manual dengan menggunakan bor manual dan sampel tanah *disturbed* diambil secara manual pada lokasi titik yang akan diuji dengan dimasukkan kedalam karung.

3.5.2. *Pengujian Laboratorium*

1. Pengujian Kadar Air

Kadar air adalah besarnya perbandingan antara berat air yang dikandung tanah dengan agregat dalam keadaan kering, dinyatakan dalam persen. Tujuan pengujian adalah untuk memperoleh angka persentase dari kadar air yang dikandung oleh tanah.

Peralatan :

- a. Timbangan dengan ketelitian 0,1% berat contoh
- b. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$
- c. Talam logam tahan karat berkapasitas besar untuk mengeringkan benda uji.

Cara Pengujian :

- a. Timbangan dan catatlah berat talam
- b. Masukkan benda uji ke dalam talam kemudian timbang dan catat beratnya
- c. Hitung berat benda uji
- d. Keringkan benda uji beserta dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ sampai beratnya tetap
- e. Setelah kering timbang dan catat berat benda uji beserta talam
- f. Hitunglah berat benda uji kering

Dari percobaan ini akan didapat nilai berat isi tanah. Nilai ini digunakan sebagai untuk menghitung angka pori (e), porositas (n), derajat kejenuhan (Sr).

2. Pengujian Berat Jenis Tanah

Berat jenis tanah adalah angka perbandingan antara berat isi butir dan berat isi air suling pada temperatur dan volume yang sama.

Peralatan :

- a. Piknometer
- b. Saringan
- c. Timbangan
- d. Oven pengering
- e. Alat pendingin
- f. Termometer
- g. Bak peredam
- h. Botol
- i. Tungku listrik

Cara Pengujian :

- a. Keringkan benda uji dalam oven pada temperatur $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ selama 24 jam, setelah itu dinginkan dalam desikator
- b. Cuci piknometer atau botol ukur dengan air suling, kemudian dikeringkan dan selanjutnya timbang
- c. Masukkan benda uji ke dalam piknometer atau botol ukur yang digunakan, kemudian timbang
- d. Tambahkan air suling ke dalam piknometer atau botol ukur yang berisi benda uji, sehingga piknometer atau botol ukur terisi duapertiganya
- e. Untuk benda uji yang mengandung lempung diamkan benda uji terendam selama 24 jam atau lebih
- f. Panaskan piknometer atau botol ukur yang berisi rendaman benda uji dengan hati-hati selama 10 menit atau lebih sehingga udara dalam benda uji ke luar seluruhnya. Untuk mempercepat proses pengeluaran udara, piknometer atau botol ukur dapat dimiringkan sekali – kali

- g. Pengeluaran udara dapat dilakukan dengan pompa hampa udara, dengan tekanan 13,33 kpa (100 mm Hg)
- h. Rendamlah piknometer atau botol ukur dalam bak perendam, sampai temperaturnya tetap. Tambahkan air suling secukupnya sampai penuh. Keringkan bagian luarnya, lalu timbang
- i. Ukur temperatur isi piknometer atau botol ukur, untuk mendapatkan faktorkoreksi (K)
- j. Bila isi piknometer atau botol ukur belum diketahui, isinya ditentukan sebagaiberikut
 - Kosongkan dan bersihkan piknometer atau botol ukur yang akan digunakan;
 - Isi piknometer atau botol ukur dengan air suling yang temperaturnya sama,kemudian keringkan dan timbang

Pengujian dengan botol piknometer ini bertujuan untuk mengerahui niai *specificgravity* (GS). Pengujian dilakukan pada tanah yang lolos saringan No. 4.

3. Pengujian Analisis Saringan

Suatu usaha untuk mendapatkan distribusi ukuran butir tanah denganmenggunakan analisis saringan.

Peralatan :

- a. Oven pengering
- b. Timbangan
- c. Satu set ayakan

Cara Pengujian :

- a. Siapkan saringan yang akan digunakan
- b. Timbang berat masing-masing dari saringan yang digunakan
- c. Susun saringan menurut nomor saringan, lalu pasang pada mesin pengguncangsaringan
- d. Siapkan contoh tanah yang kering udara kurang lebih 500 gram
- e. Masukkan tanah kedalam saringan yang sudah terpasang pada mesinpengguncang saringan
- f. Nyalakan mesin pengguncang saringan selama 10 menit, lalu timbang

masing-masing berat saringan dengan contoh tanah yang tertahan disetiap saringannya.

4. Pengujian Geser Langsung (*direct shear test*)

Metoda uji geser dengan menempatkan benda uji dalam kotak geser yang terdiri atas 2 bagian (bagian atas dan bawah terpisah) yang diletakkan dalam bak berisi air, dan diberi tegangan normal untuk konsolidasi. Kemudian digeser lewat bidang horizontal yang dipaksakan sebagai bidang runtuhnya dengan kecepatan lambat, agar dapat terjadi drainase air (tekanan air pori eksese diasumsikan sama dengan nol). Dengan menggunakan hukum Coulomb, akan diperoleh parameter-parameter f^p (sudut geser efektif puncak), f^r (sudut geser efektif sisa), c^p (kohesi efektif puncak) dan c^r (kohesi efektif sisa yang biasanya mendekati nol).

Peralatan :

- a. Alat geser
- b. Batu pori
- c. Alat pembebanan gaya vertikal
- d. Alat pembebanan gaya horizontal
- e. Arloji ukur deformasi
- f. Perlengkapan lain (timbangan, jangka sorong)

Cara Pengujian :

- a. Ukur diameter dalam cincin cetak (D) sampai ketelitian 0,1 mm
- b. Ukur tinggi cincin cetak sampai ketelitian 0,01 mm pada 3 tempat, dan hitung tinggi rata-ratanya (H_0) dengan pembulatan sampai 0,1 mm
- c. Timbang berat cincin cetak (W) dengan ketelitian 0,01 g
- d. Cetak benda uji dari tabung contoh, blok contoh, atau silinder uji pematatan dengan menggunakan cincin cetak
- e. Ratakan bagian atas dan bawah benda uji dengan pisau atau gergaji kawat
- f. Keluarkan kotak geser dari bak air, dan pasang baut pengunci agar kotak geser bagian atas dan bawah menjadi satu
- g. Masukkan pelat dasar pada bagian bawah kotak geser, dan di atasnya dipasang batu pori yang sebelumnya telah direbus dalam air panas

- h. Pasang kertas filter yang telah dibasahi dengan air suling di atas batu pori
- i. Pasang pelat berlubang yang beralur di atas kertas filter, dengan alur menghadap ke atas dan arah alurnya harus tegak lurus arah penggeseran
- j. Masukkan kembali kotak geser ke dalam bak air dan setel kedudukan kotakgeser dengan mengencangkan ke dua buah baut penjepit
- k. Letakkan cincin cetak yang berisi benda uji dengan bagian runcingnya menghadap ke atas di atas kotak geser
- l. Pasang pelat berlubang yang beralur di atas benda uji, dengan alur menghadapke bawah dan arah alurnya harus tegak lurus arah penggeseran
- m. Masukkan benda uji ke dalam kotak geser dengan menggunakan alat pengeluarbenda uji yang ditekan
- n. Pasang kertas filter, batu pori dan landasan pembeban pada bagian atas pelatberlubang
- o. Setel dongkrak penekan horizontal agar tepat menempel kotak geser bagianbawah
- p. Angkat ujung lengan pembeban agar rangka pembeban dapat diatur dalamposisi vertikal
- q. Putar sekrup batang pembeban sampai menyentuh landasan pembeban dankencangkan sekrup batang pembeban agar letaknya tidak berubah
- r. Pasang beban 10 g pada gantungan beban hingga letak lengan pembeban tidakmengambang
- s. Pasang arloji ukur pada penopang arloji ukur
- t. Setel lengan penggantung arloji ukur agar batang arloji ukur menyentuh batangpenekan bagian atas
- u. Setel arloji ukur sehingga letak jarum berada pada posisi nol
- v. Pasang arloji ukur pada dudukan arloji ukur gerak horizontal
- w. Setel dudukan arloji ukur agar batang arloji ukur menyentuh bak air
- x. Setel arloji ukur sehingga letak jarum berada pada posisi nol.
- y. Lepaskan beban 10 g yang terpasang
- z. Pasang beban pada gantungan beban sehingga benda uji mendapat tekanansesuai dengan tekanan yang akan dialami di lapangan
- aa. Buka kunci lengan pembeban dan baca deformasi pada arloji ukur gerak vertikal untuk waktu $t = 0; 0,25; 1,0; 4,0; 6,25; 9,0; 12,25; 16,0; 20,25; 60;$

120; 240; 480; dan 1440 menit.

- bb. Buka baut pengunci kotak geser agar bagian atas dan bagian bawah kotak dapat bergeser
- cc. Setel kotak cincin pembeban agar dapat menempel pada kotak geser bagian atas
- dd. Setel arloji ukur cincin pembeban sehingga letak jarum ada pada posisi nol
- ee. Tentukan kecepatan penggeseran dengan menggunakan persamaan
- ff. Pilih kombinasi gigi agar kecepatan penggeseran alat mendekati hasil perhitungan pada langkah
- gg. Tekan tombol listrik agar penggeseran dapat dimulai
- hh. Catat waktu, deformasi vertikal, deformasi horizontal, dan gaya geser cincin pembeban
- ii. Hentikan penggeseran, apabila telah mencapai deformasi horizontal minimum 15% dari diameter benda uji semula
- jj. Setelah penggeseran selesai, matikan mesin dan kembalikan kotak geser pada posisi sebelum digeser dengan menggerakkan mundur dongkrak penekan secara manual
- kk. Lepaskan beban dari gantungan pembeban
- ll. Naikkan dan putar penopang arloji ukur vertikal mm. Keluarkan benda uji tanah dari kotak geser
- nn. Ulangi langkah-langkah pengujian tersebut di atas dengan menggunakan minimum dua benda uji lagi untuk tekanan normal atau beban konsolidasi yang berbeda.

3.6. Sistem Klasifikasi Tanah

3.6.1. *Klasifikasi Tanah Unified*

Pada sistem klasifikasi Unified, tanah diklasifikasikan ke dalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50 % lolos saringan nomor 200, dan sebagai tanah berbutir halus (lanau/lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan nomor 200. Selanjutnya, tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan subkelompok dengan simbol - simbol yang digunakan adalah :

- G = Kerikil (*gravel*)
- S = Pasir (*sand*)
- C = Lempung (*clay*)
- M = Lanau (*silt*)
- O = Lanau atau lempung organik (*organic silt or clay*)

Pt = Tanah gambut dan tanah organik tinggi (*peat and highly organic soil*)
 W = Gradasi baik (*well - graded*)
 P = Gradasi buruk (*poorly - graded*)
 H = Plastisitas tinggi (*high - plasticity*)
 L = Plastisitas rendah (*low - plasticity*)

Prosedur untuk menentukan klasifikasi tanah sistem unified adalah sebagai berikut :

1. Tentukan apakah tanah merupakan butiran halus atau butiran kasar secara visual atau dengan cara menyaringnya dengan saringan nomor 200.
2. Jika tanah berupa butiran kasar :
 - a. Saring tanah tersebut dan gambarkan grafik distribusi butiran.
 - b. Tentukan persen butiran lolos saringan No.4. Bila persentase butiran yang lolos kurang dari 50%, klasifikasikan tanah tersebut sebagai kerikil. Bila butiran yang lolos lebih dari 50%, klasifikasikan sebagai pasir.
 - c. Tentukan jumlah butiran yang lolos saringan no.200. Jika persentase butiran yang lolos kurang dari 5%, pertimbangkan bentuk grafik distribusi butiran dengan menghitung C_u dan C_c . Jika termasuk bergradasi baik, maka klasifikasikan sebagai GW (bila kerikil) atau SW (bila pasir). Jika termasuk bergradasi buruk, klasifikasikan sebagai GP (bila kerikil) atau SP (bila pasir).
 - d. Jika persentase butiran tanah yang lolos saringan no.200 diantara 5 sampai 12%, tanah akan mempunyai simbol dobel dan mempunyai sifat keplastisan (GW - GM, SW - SM, dan sebagainya).
 - e. Jika persentase butiran yang lolos saringan no.200 lebih besar 12 %, harus dilakukan uji batas - batas Atterberg dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no.40. kemudian, dengan menggunakan diagram plastisitas, ditentukan klasifikasinya (GM, GC, SM, SC, GM - GC atau SM - SC).
3. Jika tanah berbutir halus :
 - a. Kerjakan uji -uji batas Aterberg dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no.40. Jika batas cair lebih dari 50, klasifikasikan sebagai H (plastisitas tinggi) dan jika kurang dari 50, klasifikasikan sebagai L (Plastisitas rendah).

- b. Untuk H (plastisitas tinggi), jika plot batas -batas Atterberg pada grafik plastisitas dibawah garis A, tentukan apakah tanah organik (OH) atau anorganik (MH). jika plotnya jatuh digaris A, klasifikasikan sebagai CH.
- c. Untuk L (plastisitas rendah), jika plot batas - batas Atterberg pada grafik plastisitas dibawah garis A dan area yang diarsir, tentukan klasifikasi tanah tersebut sebagai organik (OL) atau anorganik (ML) berdasar warna, bau, atau perubahan batas cair dan batas plastisnya dengan mengeringkannya didalam oven.
- d. Jika plot batas - batas Atterberg pada grafik plastisitas jatuh pada area yang diarsir, dekat dengan garis A atau nilai LL sekitar 50, gunakan simbol double.

3.6.2. *Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO*

Sistem klasifikasi AASHTO membagi tanah ke dalam 8 kelompok, A-1 sampai A-8 termasuk sub-sub kelompok. Tanah-tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris.

Tanah granuler diklasifikasikan ke dalam klasifikasi A-1 sampai A-3. Tanah A-1 merupakan tanah granuler yang bergradasi baik, sedang A-3 adalah pasir bersih yang bergradasi buruk. Tanah A-2 termasuk tanah granular (kurang dari 35% lolos saringan No. 200), tetapi masih mengandung lanau dan lempung. Tanah berbutirhalus diklasifikasikan dari A-4 sampai A-7, yaitu tanah lempung-lanau.

3.7. Tekanan Tanah Lateral

3.7.1. Tekanan Tanah Aktif

Tekanan tanah lateral minimum, yang mengakibatkan keruntuhan geser tanah olehakibat gerakan dinding menjauhi tanah di belakangnya disebut tekanan tanah aktif.

3.7.1.1. Koefisien Tanah Aktif

Pada tinjauan pasif, nilai ϕ dan $\sigma = z\gamma$ (tegangan utama $\sigma_v = z\gamma$, dalam hal ini menjadi σ) sudah diketahui. Maka pada kondisi ini diperoleh persamaan

$$K_a = \frac{\sigma_h(\text{aktif})}{\sigma_v} = \frac{\sigma_3}{\sigma_1} = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

Dengan :

K_a = Koefisien tanah aktif

φ = Sudut geser ($^\circ$)

3.7.1.2. Diagram Tekanan Tanah Aktif

$$p_a = p'_a = K_{a1} \sigma'_v = K_{a1} (q + \gamma_1 h_1)$$

Dengan :

p_a = Diagram tekanan tanah aktif (kN)

K_a = Koefisien tanah aktif

q = Beban lalu lintas (kN/m²)

γ = Berat jenis tanah (kN/m³)

h = Ketinggian (m)

3.7.1.3. Tekanan Tanah Aktif Total

$$P_a = 0.5 H^2 \gamma K_a$$

Dengan :

P_a = Tekanan tanah aktif (kN)

K_a = Koefisien tanah aktif

γ = Berat jenis tanah (kN/m³)

h = Ketinggian (m)

Tekanan tanah aktif total pada dinding penahan dengan tinggi H, adalah sama dengan luas diagram tekanan tanah aktif, maka dibuat persamaan :

$$P_a = P_{a1} + P_{a2} + P_{a3} + P_{a4} + P_{a5} + P_{a6} \dots \dots + P_{a14}$$

3.8. Faktor Keamanan Stabilitas

3.8.1. Stabilitas Terhadap Penggulingan (*Overtuning*)

$$SF_{Guling} = \frac{\sum M_w}{\sum M_{gl}}$$

Dengan :

SF_{Guling} = Faktor stabilitas terhadap guling

M_w = Momen yang melawan penggulingan (kN.m)

M_{gl} = Momen yang mengakibatkan penggulingan (kN.m)

3.8.2. Stabilitas Terhadap Geser (*Sliding*)

$$SF_{Geser} = \frac{\sum R_h}{\sum P_h}$$

Dengan :

SF_{Geser} = Faktor stabilitas terhadap geser

BAB 4

Pembahasan

4.1. Identifikasi Tanah

4.1.1. Lapangan

Pada pengambilan sampel tanah diambil 7 titik uji yaitu diantaranya pada area sebelah kiri bronjong diambil 4 titik sampel dan pada area sebelah kanan bronjong 3 titik sampel.



Gambar 4.1 Lokasi Pengambilan Sampel

4.1.2. Laboratorium

Pada pengujian di laboratorium dilakukan 3 kali uji di setiap masing – masing parameter guna meminimalisir kesalahan, Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel

4.1 Hasil Pengujian Laboratorium.

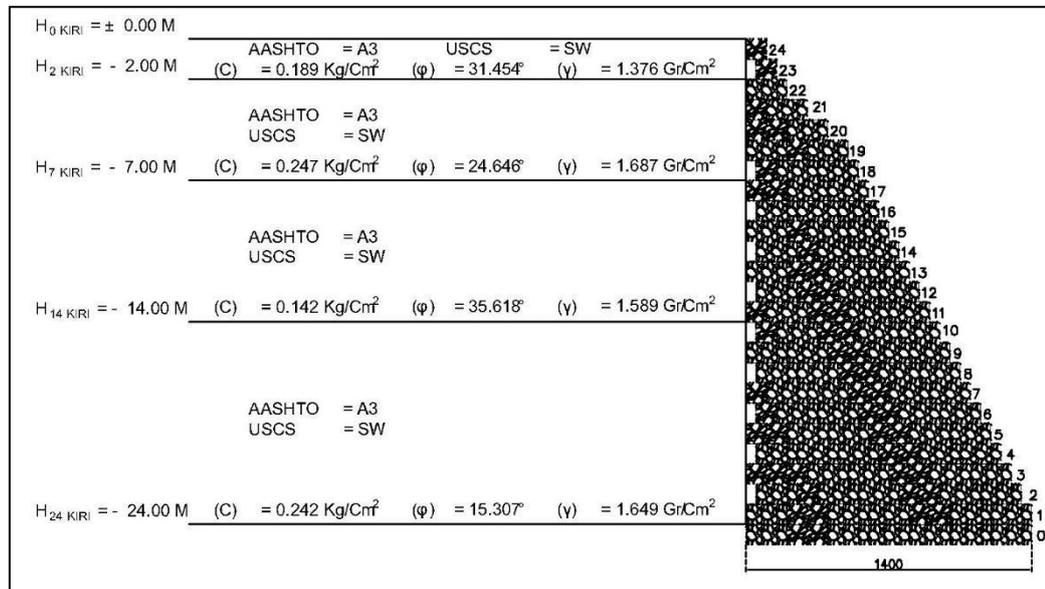
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Laboratorium

Parameter Pengujian			Titik Uji						
			Kiri 1	Kiri 2	Kiri 3	Kiri 4	Kanan 1	Kanan 2	Kanan 3
Kedalaman		(meter)	0 - 2	2 - 7	7 - 14	14 - 25	0 - 5	5 - 14	14 - 24
Kadar air	w	(%)	136.028	124.229	83.727	79.485	131.901	79.667	104.812
Berat Volume Tanah Dry	γ	(gr/cm ³)	1.376	1.687	1.589	1.649	1.320	1.651	1.533
Berat Volume Tanah	γ_d	(gr/cm ³)	0.584	0.753	0.865	0.918	0.571	0.919	0.749
Berat Jenis Tanah	Gs	-	1.708	1.578	2.030	1.972	1.976	1.809	1.834
Angka Pori	e	-	1.961	1.100	1.347	1.152	2.475	0.968	1.449
Porositas	n	(%)	65.909	52.293	57.390	53.470	71.111	49.185	59.163
Derajat Kejenuhan	Sr	(%)	121.041	179.225	126.109	136.974	105.287	148.838	132.510
Klasifikasi Tanah									
AASTHO			A3	A3	A3	A3	A-1-b	A3	A3
USCS			SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW
Uji Saringan									
No. 1'		(%)	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
No. 3/4'		(%)	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
No. 1/2'		(%)	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
No. 3/8'		(%)	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
No. 4		(%)	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
No. 8		(%)	94.578	94.343	100.000	94.153	97.189	92.972	100.000
No. 16		(%)	79.317	77.980	99.800	69.960	88.153	71.285	68.675
No. 30		(%)	66.867	61.414	74.549	46.573	74.096	52.008	44.980
No. 50		(%)	40.964	23.030	26.854	19.355	40.964	11.245	17.671
No. 100		(%)	15.863	0.404	0.802	9.677	25.703	2.811	2.610
No. 200		(%)	7.631	0.202	0.601	5.645	15.261	0.803	0.803
PAN		(%)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Uji Geser Langsung									
Kohesi (C)	C	(kg/cm ²)	0.189	0.247	0.142	0.242	0.252	0.116	0.011
Sudut Gesek Tanah	ϕ	°	31.454	24.646	35.618	15.307	46.736	50.368	33.425

4.2. Klasifikasi Tanah

4.2.2. Lapis Kiri

Area kiri bronjong terdiri dari 4 titik, dengan kedalaman serta klasifikasi tanah hasil uji yang telah dilakukan sebagai berikut :



Gambar 4.2 Klasifikasi Jenis Tanah Area Kiri Bronjong

a. Titik Kiri 1 (H = - 2.00 m)

Klasifikasi tanah menurut AASHTO yang didapat dari hasil uji analisis saringan dengan persentasi kelulusan pada saringan no. 200 kurang dari 35%, maka termasuk kedalam tipe material yang pokok pada umumnya yaitu A3 (pasirhalus).

Klasifikasi tanah menurut USCS yang didapat dari hasil uji analisis saringan dengan persentasi kelulusan pada saringan no. 200 kurang dari 50%, maka termasuk kedalam kelompok SW dengan nama jenis pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.

b. Titik Kiri 2 (H = - 7.00 m)

Klasifikasi tanah menurut AASHTO yang didapat dari hasil uji analisis saringan dengan persentasi kelolosan pada saringan no. 200 kurang dari 35%, maka termasuk kedalam tipe material yang pokok pada umumnya yaitu A3 (pasirhalus).

Klasifikasi tanah menuru USCS yang didapat dari hasil uji analisis saringan dengan persentasi kelolosan pada saringan no. 200 kurang dari 50%, maka termasuk kedalam kelompok SW dengan nama jenis pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.

c. Titik Kiri 3 (H = - 14.00 m)

Klasifikasi tanah menurut AASHTO yang didapat dari hasil uji analisis saringan dengan persentasi kelolosan pada saringan no. 200 kurang dari 35%, maka termasuk kedalam tipe material yang pokok pada umumnya yaitu A3 (pasirhalus).

Klasifikasi tanah menuru USCS yang didapat dari hasil uji analisis saringan dengan persentasi kelolosan pada saringan no. 200 kurang dari 50%, maka termasuk kedalam kelompok SW dengan nama jenis pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.

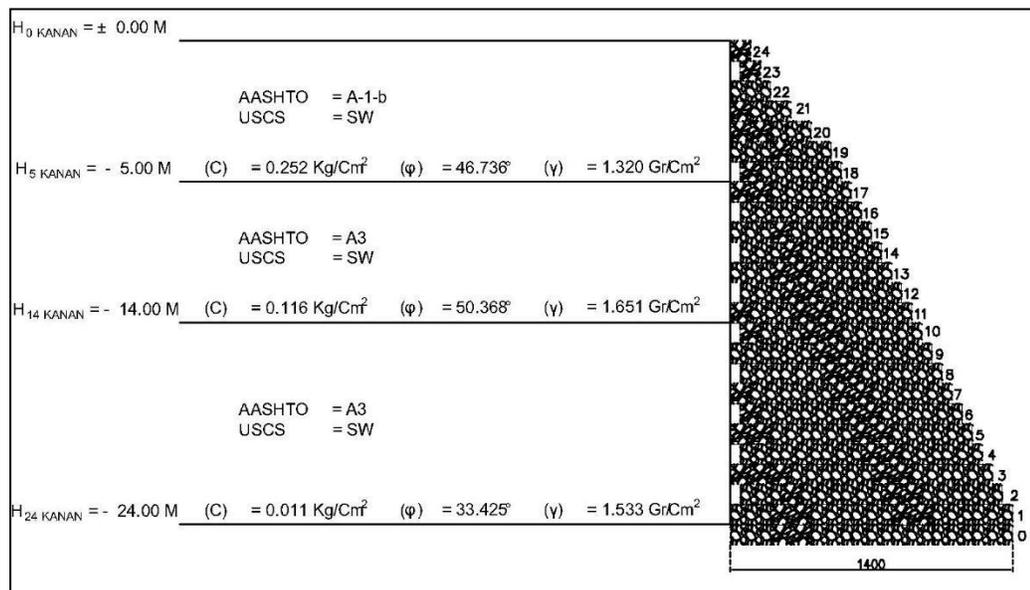
d. Titik Kiri 4 (H = - 25.00 m)

Klasifikasi tanah menurut AASHTO yang didapat dari hasil uji analisis saringan dengan persentasi kelolosan pada saringan no. 200 kurang dari 35%, maka termasuk kedalam tipe material yang pokok pada umumnya yaitu A3 (pasirhalus).

Klasifikasi tanah menuru USCS yang didapat dari hasil uji analisis saringan dengan persentasi kelolosan pada saringan no. 200 kurang dari 50%, maka termasuk kedalam kelompok SW dengan nama jenis pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.

4.2.3. Lapis Kanan

Area kanan bronjong terdiri dari 3 titik, dengan kedalaman serta klasifikasi tanah hasil uji yang telah dilakukan sebagai berikut :



Gambar 4.3 Klasifikasi Jenis Tanah Area Kanan Bronjong

a. Titik Kanan 1 (H = - 5.00 m)

Klasifikasi tanah menurut AASHTO yang didapat dari hasil uji analisis saringan dengan persentasi kelolosan pada saringan no. 200 kurang dari 35%, maka termasuk kedalam tipe material yang pokok pada umumnya yaitu A-1-b (pecahan batu, kerikil dan pasir).

Klasifikasi tanah menurut USCS yang didapat dari hasil uji analisis saringan dengan persentasi kelolosan pada saringan no. 200 kurang dari 50%, maka termasuk kedalam kelompok SW dengan nama jenis pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.

b. titik Kanan 2 (H = - 14.00 m)

Klasifikasi tanah menurut AASHTO yang didapat dari hasil uji analisis saringan dengan persentasi kelolosan pada saringan no. 200 kurang dari 35%, maka termasuk kedalam tipe material yang pokok pada umumnya yaitu A3 (pasir halus).

Klasifikasi tanah menurut USCS yang didapat dari hasil uji analisis saringan dengan persentasi kelolosan pada saringan no. 200 kurang dari 50%, maka termasuk kedalam kelompok SW dengan nama jenis pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.

c. Titik Kanan3 (H = - 25.00 m)

Klasifikasi tanah menurut AASHTO yang didapat dari hasil uji analisis saringan dengan persentasi kelolosan pada saringan no. 200 kurang dari 35%, maka termasuk kedalam tipe material yang pokok pada umumnya yaitu A3 (pasir halus).

Klasifikasi tanah menurut USCS yang didapat dari hasil uji analisis saringan dengan persentasi kelolosan pada saringan no. 200 kurang dari 50%, maka termasuk kedalam kelompok SW dengan nama jenis pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.

4.3. Tekanan Tanah Lateral

4.3.1. Tekanan Tanah Aktif

4.3.1.1. Koefisien Tanah Aktif

Dengan menggunakan Persamaan (2.30) maka di dapat nilai koefisien tanah aktif sebagai berikut :

1) Titik Kiri

a. Titik Kiri Ke-1

$$K_{a \text{ Kiri Ke-1}} = \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi_{\text{Kiri Ke-1}}}{2} \right)$$

$$K_{a \text{ Kiri Ke-1}} = \tan^2 \left(45 - \frac{31.454}{2} \right)$$

$$K_{a \text{ Kiri Ke-1}} = 0.314$$

b. Titik Kiri Ke-2

$$K_{a \text{ Kiri Ke-2}} = \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi_{\text{Kiri Ke-2}}}{2} \right)$$

$$K_{a \text{ Kiri Ke-2}} = \tan^2 \left(45 - \frac{24.646}{2} \right)$$

$$K_{a \text{ Kiri Ke-2}} = 0.411$$

c. Titik Kiri Ke-3

$$K_{a \text{ Kiri Ke-3}} = \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi_{\text{Kiri Ke-3}}}{2} \right)$$

$$K_{a \text{ Kiri Ke-3}} = \tan^2 \left(45 - \frac{35.618}{2} \right)$$

$$K_{a \text{ Kiri Ke-3}} = 0.264$$

d. Titik Kiri Ke-4

$$K_{a \text{ Kiri Ke-3}} = \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi_{\text{Kiri Ke-3}}}{2} \right)$$

$$K_{a \text{ Kiri Ke-3}} = \tan^2 \left(45 - \frac{15.307}{2} \right)$$

$$K_{a \text{ Kiri Ke-3}} = 0.582$$

2) Titik Kanan

a. Titik Kanan Ke-1

$$K_{a \text{ Kanan Ke-1}} = \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi_{\text{Kanan Ke-1}}}{2} \right)$$

$$K_{a \text{ Kanan Ke-1}} = \tan^2 \left(45 - \frac{46.736}{2} \right)$$

$$K_{a \text{ Kanan Ke-1}} = 0.157$$

b. Titik Kanan Ke-2

$$K_{a \text{ Kanan Ke-2}} = \text{Tan}^2 \left(45 - \frac{\varphi_{\text{Kanan Ke-2}}}{2} \right)$$

$$K_{a \text{ Kanan Ke-2}} = \text{Tan}^2 \left(45 - \frac{50.368}{2} \right)$$

$$K_{a \text{ Kanan Ke-2}} = 0.130$$

c. Titik Kanan Ke-3

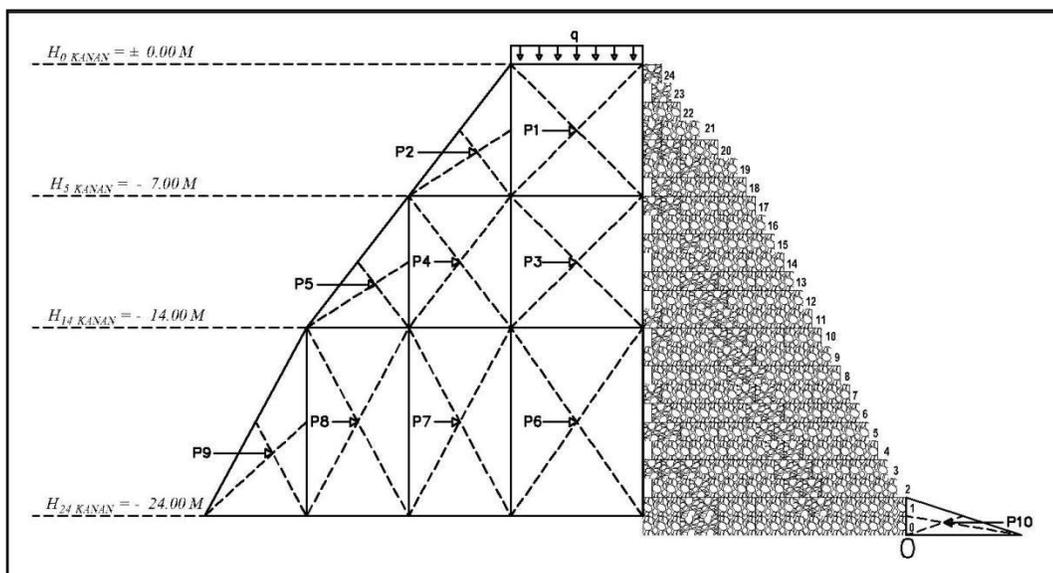
$$K_{a \text{ Kanan Ke-3}} = \text{Tan}^2 \left(45 - \frac{\varphi_{\text{Kanan Ke-3}}}{2} \right)$$

$$K_{a \text{ Kanan Ke-3}} = \text{Tan}^2 \left(45 - \frac{33.425}{2} \right)$$

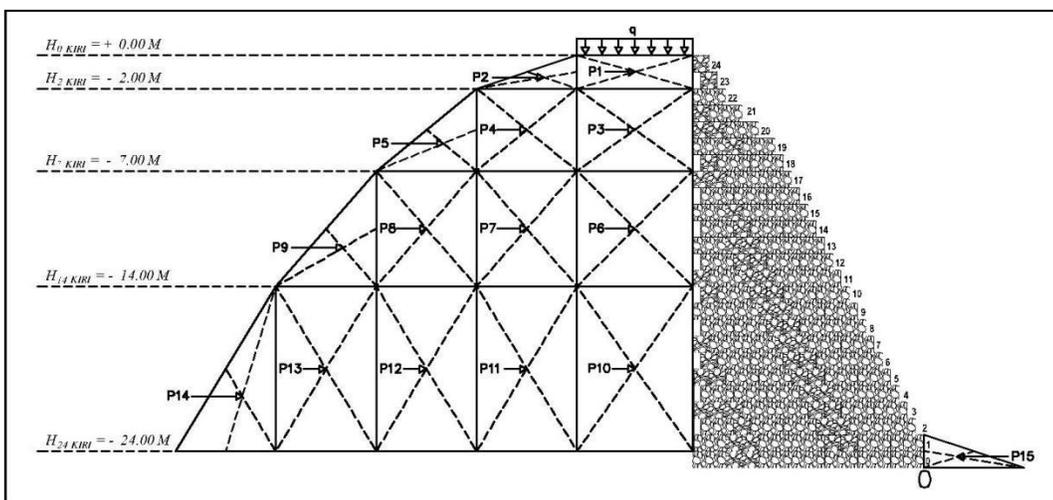
$$K_{a \text{ Kanan Ke-3}} = 0.290$$

4.3.1.2. Diagram Tekanan Tanah

Beban lalu lintas ditambahkan pada seluruh lebar permukaan jalan dan besarnya ditentukan berdasarkan kelas jalan yang diberikan sesuai SNI-84602017 pada tabel beban lalu lintas untuk analisis stabilitas (DPU, 2001) dan beban di luar jalan. Pada lokasi penelitian ini, ruas ini termasuk kelas jalan II dengan beban lalu lintas 12 kN/m².



Gambar 4.4 Diagram Tekanan Tanah Titik Kiri



Gambar 4.5 Diagram Tekanan Tanah Titik Kanan

Dengan menggunakan Persamaan (2.34) maka didapat nilai diagram tekanan tanah sebagai berikut :

1) Titik Kiri

$$p_1 = qK_{a1} = 12 \times 0.314 = 3.771 \text{ kN}$$

$$p_2 = h_1 y_1 K_{a1} = 2 \times 13.755 \times 0.314 = 8.644 \text{ kN}$$

$$p_3 = qK_{a2} = 12 \times 0.411 = 4.937 \text{ kN}$$

$$p_4 = h_1 y_1 K_{a2} = 2 \times 13.755 \times 0.411 = 11.319 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
p_5 &= h_2y_2K_{a2} = 5 \times 16.871 \times 0.411 = 34.706 \text{ kN} \\
p_6 &= qK_{a3} = 12 \times 0.264 = 3.167 \text{ kN} \\
p_7 &= h_1y_1K_{a3} = 2 \times 13.755 \times 0.264 = 7.261 \text{ kN} \\
p_8 &= h_2y_2K_{a3} = 5 \times 16.871 \times 0.264 = 22.263 \text{ kN} \\
p_9 &= h_3y_3K_{a3} = 7 \times 15.885 \times 0.264 = 29.347 \text{ kN} \\
p_{10} &= qK_{a4} = 12 \times 0.582 = 6.987 \text{ kN} \\
p_{11} &= h_1y_1K_{a4} = 2 \times 13.755 \times 0.582 = 16.019 \text{ kN} \\
p_{12} &= h_2y_2K_{a4} = 5 \times 16.871 \times 0.582 = 49.120 \text{ kN} \\
p_{13} &= h_3y_3K_{a4} = 7 \times 15.885 \times 0.582 = 64.748 \text{ kN} \\
p_{14} &= h_4y_4K_{a4} = 11 \times 16.485 \times 0.582 = 105.590 \text{ kN} \\
p_{15} &= h_4y_4K_{p4} = 2 \times 16.485 \times 1.717 = 105.590 \text{ kN}
\end{aligned}$$

2) Titik Kanan

$$\begin{aligned}
p_1 &= qK_{a1} = 12 \times 0.157 = 1.887 \text{ kN} \\
p_2 &= h_1y_1K_{a1} = 5 \times 13.198 \times 0.157 = 10.379 \text{ kN} \\
p_3 &= qK_{a2} = 12 \times 0.130 = 1.558 \text{ kN} \\
p_4 &= h_1y_1K_{a2} = 5 \times 13.198 \times 0.130 = 8.569 \text{ kN} \\
p_5 &= h_2y_2K_{a2} = 9 \times 16.506 \times 0.130 = 19.290 \text{ kN} \\
p_6 &= qK_{a3} = 12 \times 0.290 = 3.475 \text{ kN} \\
p_7 &= h_1y_1K_{a3} = 5 \times 13.198 \times 0.290 = 19.112 \text{ kN} \\
p_8 &= h_2y_2K_{a3} = 9 \times 16.506 \times 0.290 = 43.026 \text{ kN} \\
p_9 &= h_3y_3K_{a3} = 11 \times 15.327 \times 0.290 = 48.830 \text{ kN} \\
p_{10} &= h_3y_3K_{p3} = 2 \times 15.327 \times 15.327 = 48.830 \text{ kN}
\end{aligned}$$

4.3.1.3. Tekanan Tanah Aktif Total

Dengan menggunakan Persamaan (2.39) maka didapat nilai tekanan tanah aktif total sebagai berikut :

1) Titik Kiri

$$P_{a1} = qH_1K_{a1} = 12 \times 2 \times 0.314 = 7.541 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
P_{a2} &= 0.5 y_1 H_1^2 K_{a1} = 0.5 \times 13.755 \times 2^2 \times 0.314 = 8.644 \text{ kN} \\
P_{a3} &= q H_2 K_{a2} = 12 \times 5 \times 0.411 = 24.686 \text{ kN} \\
P_{a4} &= y_1 H_1 H_2 K_{a2} = 13.755 \times 2 \times 5 \times 0.314 = 56.593 \text{ kN} \\
P_{a5} &= 0.5 y_2 H_2^2 K_{a2} = 0.5 \times 16.871 \times 5^2 \times 0.411 = 86.766 \text{ kN} \\
P_{a6} &= q H_3 K_{a3} = 12 \times 7 \times 0.264 = 22.169 \text{ kN} \\
P_{a7} &= y_1 H_1 H_3 K_{a3} = 15.885 \times 2 \times 7 \times 0.264 = 50.824 \text{ kN} \\
P_{a8} &= y_2 H_2 H_3 K_{a3} = 15.885 \times 5 \times 7 \times 0.264 = 155.844 \text{ kN} \\
P_{a9} &= 0.5 y_3 H_3^2 K_{a3} = 0.5 \times 15.885 \times 7^2 \times 0.264 = 102.714 \text{ kN} \\
P_{a10} &= q H_4 K_{a4} = 12 \times 11 \times 0.582 = 76.862 \text{ kN} \\
P_{a11} &= y_1 H_1 H_4 K_{a4} = 16.485 \times 2 \times 11 \times 0.582 = 176.210 \text{ kN} \\
P_{a12} &= y_2 H_2 H_4 K_{a4} = 16.485 \times 5 \times 11 \times 0.582 = 540.317 \text{ kN} \\
P_{a13} &= y_3 H_3 H_4 K_{a4} = 16.485 \times 7 \times 11 \times 0.582 = 712.226 \text{ kN} \\
P_{a14} &= 0.5 y_4 H_4^2 K_{a4} = 0.5 \times 16.485 \times 11^2 \times 0.582 = 580.744 \text{ kN} \\
P_a &= 7.541 + 8.644 + 24.686 + 56.593 + 86.766 + 22.169 + 50.824 \\
&\quad + 155.844 + 102.714 + 76.862 + 176.210 + 540.317 \\
&\quad + 712.226 + 580.744 \\
&= 2602.141 \text{ kN}
\end{aligned}$$

2) Titik Kanan

$$\begin{aligned}
P_{a1} &= q H_1 K_{a1} = 12 \times 2 \times 0.314 = 9.436 \text{ kN} \\
P_{a2} &= 0.5 y_1 H_1^2 K_{a1} = 0.5 \times 13.755 \times 2^2 \times 0.314 = 25.947 \text{ kN} \\
P_{a3} &= q H_2 K_{a2} = 12 \times 5 \times 0.411 = 14.023 \text{ kN} \\
P_{a4} &= y_1 H_1 H_2 K_{a2} = 13.755 \times 2 \times 5 \times 0.314 = 77.118 \text{ kN} \\
P_{a5} &= 0.5 y_2 H_2^2 K_{a2} = 0.5 \times 16.871 \times 5^2 \times 0.411 = 86.804 \text{ kN} \\
P_{a6} &= q H_3 K_{a3} = 12 \times 7 \times 0.264 = 38.230 \text{ kN} \\
P_{a7} &= y_1 H_1 H_3 K_{a3} = 15.885 \times 2 \times 7 \times 0.264 = 210.237 \text{ kN} \\
P_{a8} &= y_2 H_2 H_3 K_{a3} = 15.885 \times 5 \times 7 \times 0.264 = 473.282 \text{ kN} \\
P_{a9} &= 0.5 y_3 H_3^2 K_{a3} = 0.5 \times 15.885 \times 7^2 \times 0.264 = 268.565 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_a &= 9.436 + 25.947 + 14.023 + 77.118 + 86.804 + 210.237 \\
 &\quad + 473.282 + 268.565 \\
 &= 1203.643 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

4.3.1.4. Tekanan Tanah Pasif Total

Dengan menggunakan Persamaan (2.41) maka didapat nilai tekanan tanah aktif total sebagai berikut :

1) Titik Kiri

$$P_{p15} = 0.5 y_4 H_4^2 K_{a4} = 0.5 \times 16.485 \times 2^2 \times 1.717 = 56.621 \text{ kN}$$

2) Titik Kanan

$$P_{p10} = 0.5 y_3 H_3^2 K_{a3} = 0.5 \times 15.327 \times 2^2 \times 3.453 = 105.843 \text{ kN}$$

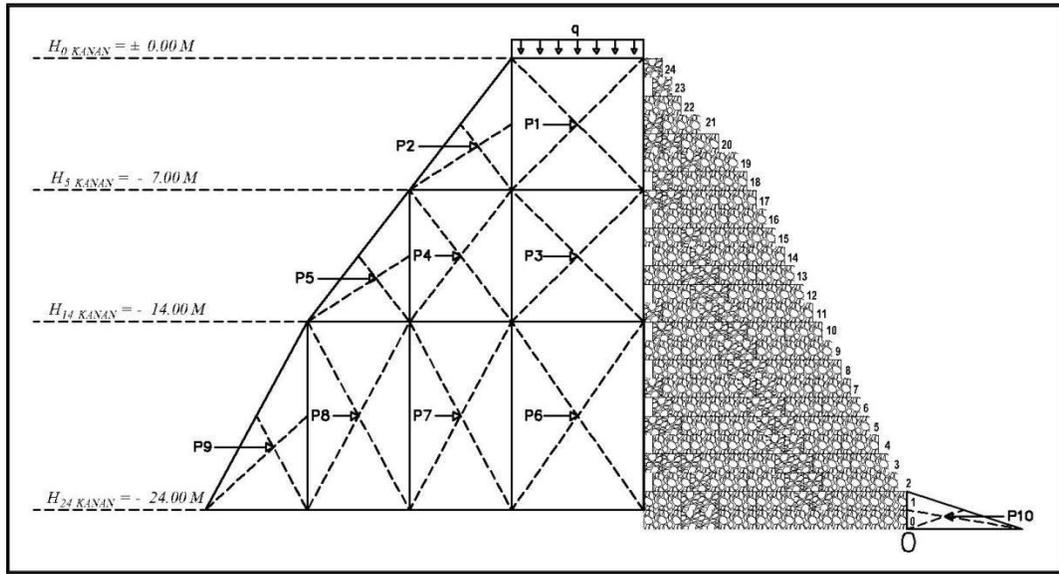
4.3.1.5. Resume Tekanan Tanah

Tabel 4.2 Resume Tekanan Tanah

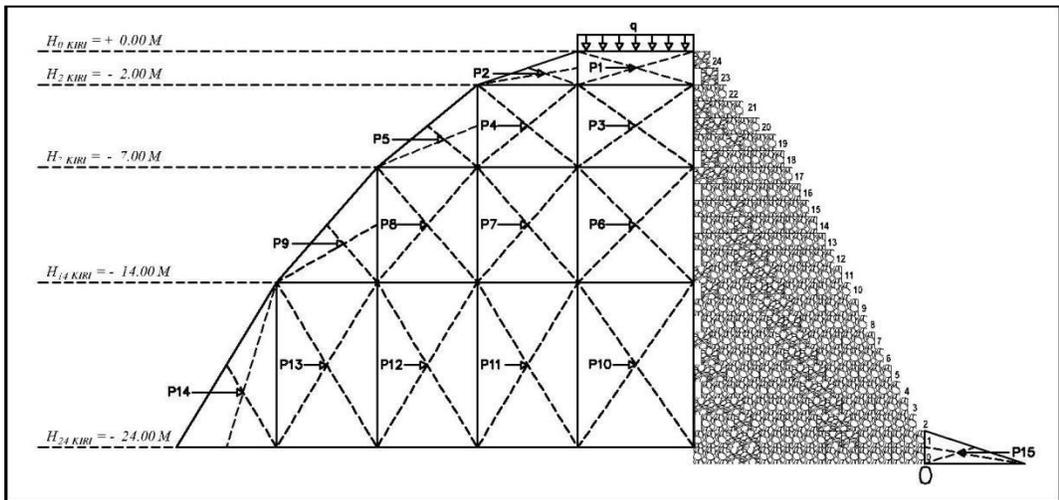
Titik	Tanah Aktif (P_a) (kN/m)	Tanah Pasif (P_p) (kN/m)
P_{Kanan}	2602.141	105.843
P_{Kiri}	1203.643	56.621

4.4. Stabilitas Terhadap Penggulingan (*Overturning*)

4.4.1. Momen Momen yang Melawan Penggulingan (M_w)



Gambar 4.6 Momen Penggulingan Terhadap 0 Titik Kiri



Gambar 4.7 Momen Penggulingan Terhadap 0 Titik Kanan

Tabel 4.3 Perhitungam Berat Sendiri dan Momen Ke-0

Jenis	Area	Analisa			Berat	Lengan Ke-0	Momen Ke-0
		Tinggi	Lebar	γ			
		(m)	(m)	(kN/m ³)	(kN)	(m)	(kN.m ²)
Bronjong	24	1	1	22	22	13.5	297
Bronjong	23	1	1	22	22	13	286
Bronjong	22	1	2	22	44	13	572
Bronjong	21	1	1	22	22	13.5	297
Bronjong		1	2	22	44	12	528
Bronjong	20	1	1	22	22	13.5	297
Bronjong		1	1	22	22	12.5	275
Bronjong		1	2	22	44	11	484
Bronjong	19	1	2	22	44	13	572
Bronjong		1	1	22	22	11.5	253
Bronjong		1	2	22	44	10	440
Bronjong	18	1	1	22	22	13	286
Bronjong		1	2	22	44	11.5	506
Bronjong		1	2	22	44	9.5	418
Bronjong	17	1	1	22	22	13.5	297
Bronjong		1	1	22	22	12.5	275
Bronjong		1	2	22	44	11	484
Bronjong		1	2	22	44	9	396
Bronjong	16	1	2	22	44	12.5	550
Bronjong		1	2	22	44	10.5	462
Bronjong		1	2	22	44	8.5	374
Bronjong	15	1	2	22	44	13	572
Bronjong		1	1	22	22	11.5	253
Bronjong		1	2	22	44	10	440
Bronjong		1	2	22	44	8	352
Bronjong	14	1	2	22	44	12.5	550
Bronjong		1	1	22	22	11	242
Bronjong		1	2	22	44	9.5	418
Bronjong		1	2	22	44	7.5	330
Bronjong	13	1	2	22	44	13	572
Bronjong		1	1	22	22	11.5	253
Bronjong		1	1	22	22	10.5	231
Bronjong		1	2	22	44	9	396
Bronjong		1	2	22	44	7	308

Tabel 4.4 Perhitungam Berat Sendiri dan Momen Ke-0 (Lanjutan)

Jenis	Area	Analisa			Berat (kN)	Lengan Ke-0 (m)	Momen Ke-0 (kN.m ²)
		Tinggi (m)	Lebar (m)	γ (kN/m ³)			
Bronjong	12	1	2	22	44	12.5	550
Bronjong		1	1	22	22	11	242
Bronjong		1	1	22	22	10	220
Bronjong		1	2	22	44	8.5	374
Bronjong		1	2	22	44	6.5	286
Bronjong	11	1	1	22	22	13.5	297
Bronjong		1	2	22	44	12	528
Bronjong		1	1	22	22	10.5	231
Bronjong		1	1	22	22	9.5	209
Bronjong		1	2	22	44	8	352
Bronjong		1	2	22	44	6	264
Bronjong	10	1	1	22	22	13	286
Bronjong		1	2	22	44	11.5	506
Bronjong		1	1	22	22	10	220
Bronjong		1	1	22	22	9	198
Bronjong		1	2	22	44	7.5	330
Bronjong		1	2	22	44	5.5	242
Bronjong	9	1	2	22	44	13	572
Bronjong		1	2	22	44	11	484
Bronjong		1	1	22	22	9.5	209
Bronjong		1	1	22	22	8.5	187
Bronjong		1	2	22	44	7	308
Bronjong		1	2	22	44	5	220
Bronjong	8	1	2	22	44	12.5	550
Bronjong		1	2	22	44	10.5	462
Bronjong		1	1	22	22	9	198
Bronjong		1	1	22	22	8	176
Bronjong		1	2	22	44	6.5	286
Bronjong		1	2	22	44	4.5	198
Bronjong	7	1	1	22	22	13.5	297
Bronjong		1	2	22	44	12	528
Bronjong		1	2	22	44	10	440
Bronjong		1	1	22	22	8.5	187
Bronjong		1	1	22	22	7.5	165
Bronjong		1	2	22	44	6	264
Bronjong		1	2	22	44	4	176

Tabel 4.5 Perhitungam Berat Sendiri dan Momen Ke-0 (Lanjutan)

Jenis	Area	Analisa			Berat (kN)	Lengan Ke-0 (m)	Momen Ke-0 (kN.m ²)
		Tinggi (m)	Lebar (m)	γ (kN/m ³)			
Bronjong	6	1	1	22	22	13	286
Bronjong		1	2	22	44	11.5	506
Bronjong		1	2	22	44	9.5	418
Bronjong		1	1	22	22	8	176
Bronjong		1	1	22	22	7	154
Bronjong		1	2	22	44	5.5	242
Bronjong		1	2	22	44	3.5	154
Bronjong	5	1	1	22	22	13.5	297
Bronjong		1	1	22	22	12.5	275
Bronjong		1	2	22	44	11	484
Bronjong		1	2	22	44	9	396
Bronjong		1	1	22	22	7.5	165
Bronjong		1	1	22	22	6.5	143
Bronjong		1	2	22	44	5	220
Bronjong		1	2	22	44	3	132
Bronjong	4	1	2	22	44	12.5	550
Bronjong		1	2	22	44	10.5	462
Bronjong		1	2	22	44	8.5	374
Bronjong		1	1	22	22	7	154
Bronjong		1	1	22	22	6	132
Bronjong		1	2	22	44	4.5	198
Bronjong		1	2	22	44	2.5	110
Bronjong	3	1	1	22	22	13.5	297
Bronjong		1	1	22	22	12.5	275
Bronjong		1	1	22	22	11.5	253
Bronjong		1	2	22	44	10	440
Bronjong		1	2	22	44	8	352
Bronjong		1	1	22	22	6.5	143
Bronjong		1	1	22	22	5.5	121
Bronjong		1	2	22	44	4	176
Bronjong		1	2	22	44	2	88
Bronjong	2	1	2	22	44	12.5	550
Bronjong		1	1	22	22	11	242
Bronjong		1	2	22	44	9.5	418
Bronjong		1	2	22	44	7.5	330
Bronjong		1	1	22	22	6	132
Bronjong		1	2	22	44	3.5	154
Bronjong		1	2	22	44	1.5	66

Tabel 4.6 Perhitungam Berat Sendiri dan Momen Ke-0 (Lanjutan)

Jenis	Area	Analisa			Berat	Lengan Ke-0	Momen Ke-0
		Tinggi	Lebar	γ			
		(m)	(m)	(kN/m ³)	(kN)	(m)	(kN.m ²)
Bronjong	1	1	2	22	44	13	572
Bronjong		1	1	22	22	11.5	253
Bronjong		1	1	22	22	10.5	231
Bronjong		1	2	22	44	9	396
Bronjong		1	2	22	44	7	308
Bronjong		1	1	22	22	5.5	121
Bronjong		1	1	22	22	4.5	99
Bronjong		1	2	22	44	3	132
Bronjong		1	2	22	44	1	44
Bronjong	0	1	2	22	44	13	572
Bronjong		1	1	22	22	12	264
Bronjong		1	1	22	22	11	242
Bronjong		1	2	22	44	9	396
Bronjong		1	2	22	44	7	308
Bronjong		1	2	22	44	5	220
Bronjong		1	2	22	44	3	132
Bronjong		1	2	22	44	1	44
				ΣW	4422	ΣMw	39017

4.4.2. Momen Momen yang Mengakibatkan Penggulingan (Mgl)

a. Titik Kiri

Tabel 4.7 Perhitungan Berat Sendiri dan Momen Ke-0 Tekanan Tanah Titik Kiri

Titik	Tekanan Tanah Aktif Total	Jarak dari 0	Momen Ke-0
P1	7.541	24.000	180.990
P2	8.644	23.667	204.582
P3	24.686	20.500	506.056
P4	56.593	20.500	1160.151
P5	86.766	19.667	1706.397
P6	22.169	14.500	321.457
P7	50.824	14.500	736.953
P8	155.844	14.500	2259.739
P9	102.714	13.333	1369.521
P10	76.862	5.500	422.743
P11	176.210	5.500	969.153
P12	540.317	5.500	2971.741
P13	712.226	5.500	3917.246
P14	580.744	3.667	2129.396
ΣW gl	2602.141	ΣM gl	18856.125

b. Titik Kanan

Tabel 4.8 Perhitungan Berat Sendiri dan Momen Ke-0 Tekanan Tanah Titik Kanan

Titik	Tekanan Tanah Aktif Total	Jarak dari 0	Momen Ke-0
P1	9.436	22.500	212.319
P2	25.947	23.333	605.421
P3	14.023	15.500	217.363
P4	77.118	15.500	1195.334
P5	86.804	14.000	1215.252
P6	38.230	5.500	210.265
P7	210.237	5.500	1156.304
P8	473.282	5.500	2603.052
P9	268.565	3.667	984.738
ΣW gl	1203.643	ΣM gl	8400.048

4.4.3. Faktor Stabilitas Terhadap Guling

Dengan menggunakan Persamaan (2.49) maka didapat nilai faktor stabilitas terhadap guling sebagai berikut :

a. Titik Kiri

$$SF_{\text{Guling Titik Kiri}} = \frac{\sum M_w}{\sum M_{\text{gl kiri}}}$$

$$SF_{\text{Guling Titik Kiri}} = \frac{39017}{18856.125}$$

$$SF_{\text{Guling Titik Kiri}} = 2.069$$

b. Titik Kanan

$$SF_{\text{Guling Titik Kanan}} = \frac{\sum M_w}{\sum M_{\text{gl kanan}}}$$

$$SF_{\text{Guling Titik Kanan}} = \frac{39017}{8400.048}$$

$$SF_{\text{Guling Titik Kanan}} = 4.645$$

Pada SNI 8640-2017 faktor keamanan terhadap guling minimum 2, maka dapat disimpulkan bahwa :

SF kiri = 2.069 > 2stabil terhadap guling

SF kanan = 4.645 > 2stabil terhadap guling

4.5. Stabilitas Terhadap Geser (*Sliding*)

4.5.1. Tahanan Dinding Penahan Tanah Terhadap Penggeseran

Dengan menggunakan Persamaan (2.46) maka didapat nilai tahanan dinding penahan tanah terhadap penggeseran sebagai berikut.

Tabel 4.9 Koefisien Gesek (f) Antara Dasar Fondasi dan Tanah Dasar (AREA, 1958)

Jenis Tanah Dasar Fondasi	$f = \text{tg } \delta_h$
Tanah granulaer kasar tak mengandung laau atau lempung	0.55
Tanah granuler kasar mengandung lanau	0.45
Tanah lanau taj berkohesi	0.35
Batu keras permukaan kasar	0.60

Untuk kondisi yang berada pada pondasi yakni berupa tanah granuler kasar mengandung lanau, maka digunakan nilai $f = 0.45$. Maka, tahanan dinding penahan tanah terhadap penggeseran :

$$\sum R_h = Wf$$

$$\sum R_h = 4422 \times 0.45$$

$$\sum R_h = 1989.9$$

4.5.2. Faktor Stabilitas Terhadap Geser

Dengan menggunakan Persamaan (2.45) maka didapat nilai faktor stabilitas terhadap penggeseran sebagai berikut :

a. Titik Kiri

$$SF_{\text{Geser Titik Kiri}} = \frac{\sum R_h}{\sum P_{h \text{ kiri}}}$$

$$SF_{\text{Geser Titik Kiri}} = \frac{1989.9}{2602.141}$$

$$SF_{\text{Geser Titik Kiri}} = 0.765$$

b. Titik Kanan

$$SF_{\text{Geser Titik Kanan}} = \frac{\sum R_h}{\sum P_{h \text{ kanan}}}$$

$$SF_{\text{Geser Titik Kanan}} = \frac{1989.9}{1203.643}$$

$$SF_{\text{Geser Titik Kanan}} = 1.653$$

Pada SNI 8640-2017 faktor keamanan terhadap geser minimum 1.5, maka dapat disimpulkan bahwa :

SF kiri = 0.765 < 1.5tidak stabil terhadap geser

SF kanan = 1.653 > 1.5stabil terhadap geser

4.6. Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah (*Bearing Capacity*)

4.6.1. Eksentrisitas Resultan (*e*)

1) Titik Kanan

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum M_w - \sum M_{gl}}{\sum W}$$

$$e = \frac{14}{2} - \frac{6092.170 - 2625.669}{4402}$$

$$e = 2.441$$

2) Titik Kiri

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum M_w - \sum M_{gl}}{\sum W}$$

$$e = \frac{14}{2} - \frac{6092.170 - 6048.851}{4402}$$

$$e = 0.076$$

4.6.2. Nilai Faktor Kapasitas Dukung

Untuk mendapatkan nilai-nilai faktor kapasitas dukung digunakan berdasarkan tabel Terzaghi (1943) sebagai berikut

Tabel 4.10 Nilai – Nilai Faktor Kapasitas Dukung Terzaghi 1943

ϕ	Keruntuhan Geser Umum		
	N_c	N_q	N_γ
15	9.6	2.7	1.2
20	17.7	7.4	5.0
30	37.2	22.5	19.7
34	52.6	36.5	35.0

Pada kasus ini digunakan keruntuhan geser umum, nilai-nilai N_c, N_q dan N_γ

1) Titik Kiri

$$\phi = 15.307$$

dengan cara interpolasi didapat nilai :

$$N_c = 13.195$$

$$N_q = 4.584$$

$$N_\gamma = 2.653$$

2) Titik Kanan

$$\phi = 33.425$$

dengan cara interpolasi didapat nilai :

$$N_c = 50.386$$

$$N_q = 34.487$$

$$N_\gamma = 32.799$$

4.6.3. Kapasitas Dukung Ultimit (q_u)

Dengan menggunakan Persamaan (2.50) maka didapat nilai kapasitas dukung ultimit sebagai berikut :

1) Titik Kiri

$$q_u = cN_c + D_f \gamma N_q + 0.5 B \gamma N_\gamma$$

$$q_u = 24.160 \times 13.195 + 2 \times 16.485 \times 4.584 + 0.5 \times 14 \times 16.485 \times 2.653$$

$$q_u = 776.125$$

2) Titik Kanan

$$q_u = cN_c + D_f \gamma N_q + 0.5 B \gamma N_\gamma$$

$$q_u = 1.050 \times 50.385 + 2 \times 15.327 \times 34.487 + 0.5 \times 14 \times 15.327 \times 32.799$$

$$q_u = 4629$$

4.6.4. Tekanan akibat Beban Struktur (q)

1) Titik Kiri

Dengan menggunakan Persamaan (2.54) maka didapat nilai tekanan akibat beban struktur dengan $e > B/6$ sebagai berikut :

$$q_{max} = \frac{2V}{3(B - 2e)}$$

$$q_{max} = \frac{2 \times 4422}{3(14 - 2 \times 2.441)}$$

$$q_{max} = 323.301$$

2) Titik Kanan

Dengan menggunakan Persamaan (2.53) maka didapat nilai tekanan akibat beban struktur dengan $e \leq B/6$ sebagai berikut :

$$q = \frac{\sum V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B}\right)$$

$$q = \frac{4422}{14} \left(1 + \frac{6 \times 0.076}{14}\right)$$

$$q = 326.175$$

4.6.5. Faktor Stabilitas Terhadap Daya Dukung (*Bearing Capacity*)

Dengan menggunakan Persamaan (2.51) maka didapat nilai faktor stabilitas terhadap daya dukung sebagai berikut :

a. Titik Kiri

$$SF_{\text{Daya Dukung Titik Kiri}} = \frac{q_u}{q_{max}}$$

$$SF_{\text{Daya Dukung Titik Kiri}} = \frac{776.125}{323.301}$$

$$SF_{\text{Daya Dukung Titik Kiri}} = 2.401$$

b. Titik Kanan

$$SF_{\text{Daya Dukung Titik Kanan}} = \frac{qu}{q \max}$$

$$SF_{\text{Daya Dukung Titik Kanan}} = \frac{4629.189}{326.175}$$

$$SF_{\text{Daya Dukung Titik Kanan}} = 14.192$$

Pada SNI 8640-2017 faktor keamanan terhadap daya dukung 3, maka dapat disimpulkan bahwa :

SF kanan = 2.401 < 3tidak stabil terhadap daya dukung

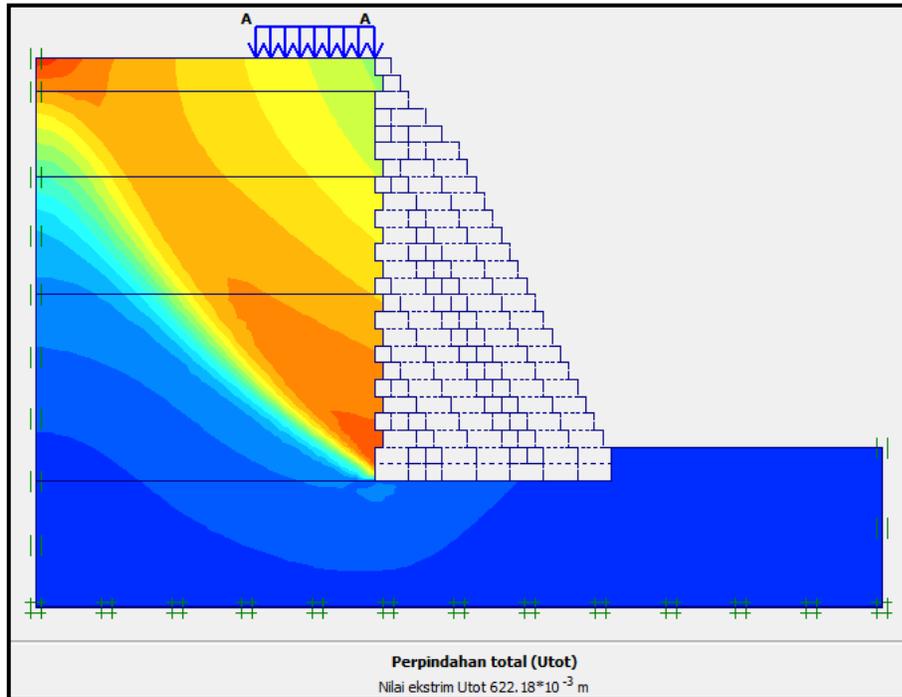
SF kiri = 14.192 > 3stabil terhadap daya dukung

4.7. Stabilitas Menggunakan Software Plaxis

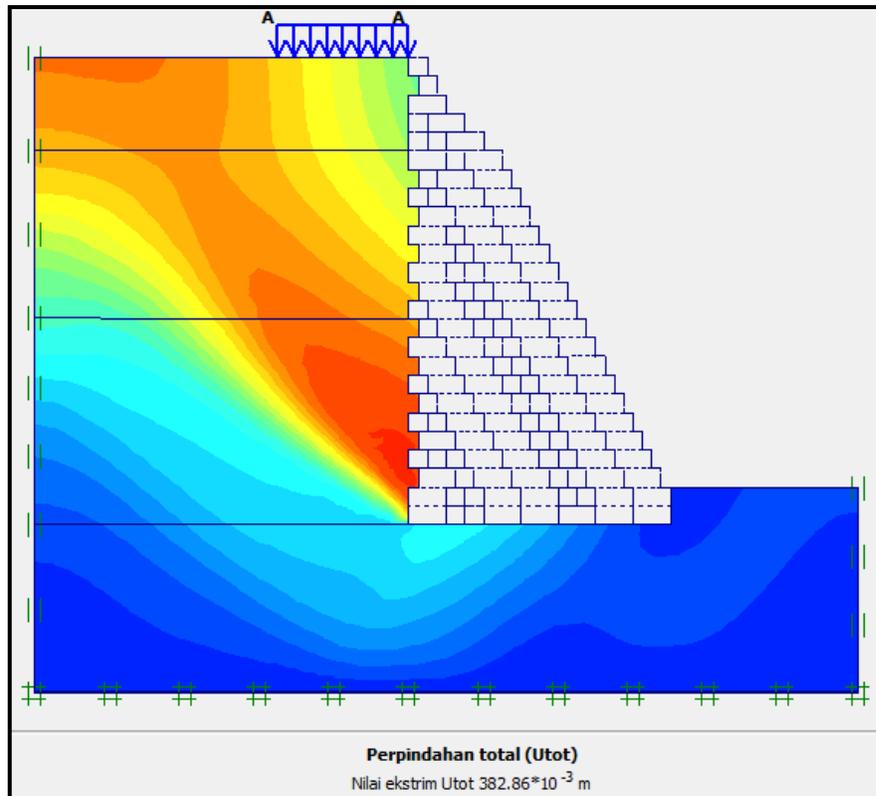
Dalam analisa ini untuk mengetahui safety faktor menggunakan aplikasi atau software Plaxis 8.3 maka akan dilakukan dengan menggunakan 1 skenario yang berbeda. untuk hasilnya dapat dilihat sebagai berikut :

4.7.1. Skenario 1 (Pengaruh Terhadap Beban Merata)

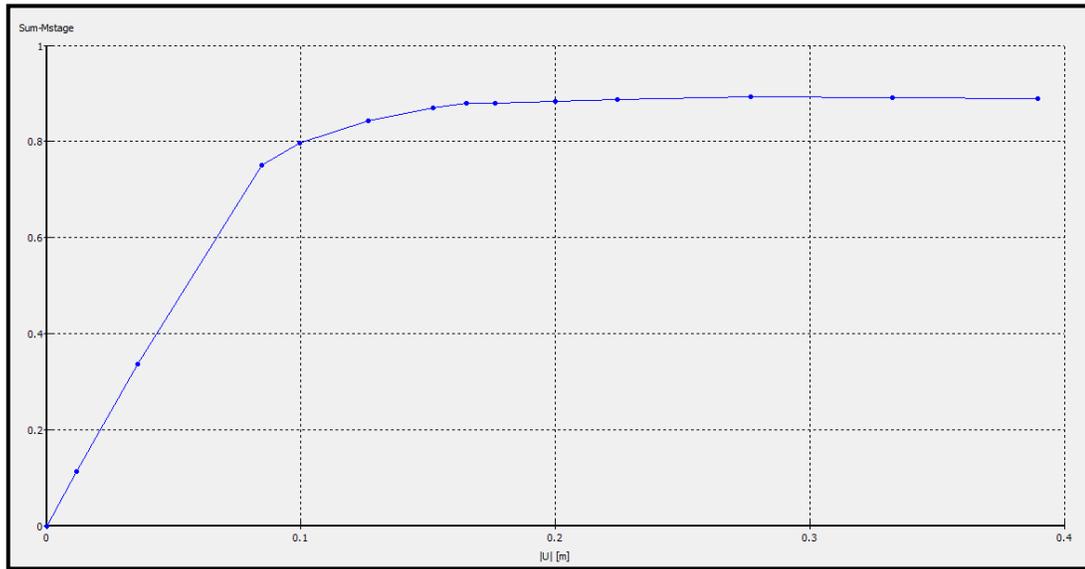
Untuk skenario 1 akan dilakukan analisa pengaruh beban merata terhadap safety faktor



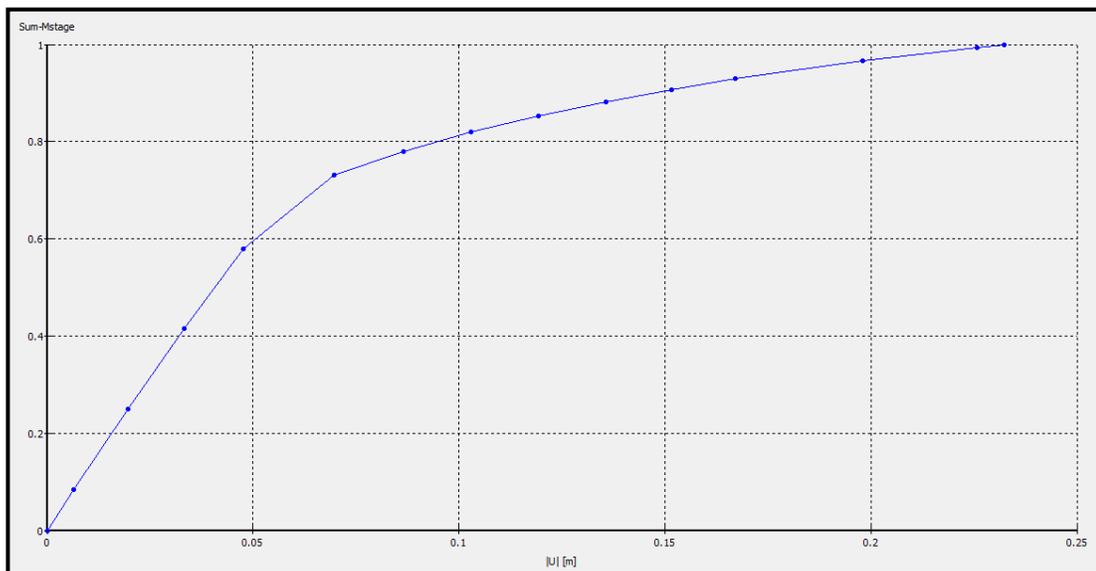
Gambar 4.8 Total Displacements pada Tanah Sebelah Kiri Skenario 1



Gambar 4.9 Total Displacements pada Tanah Sebelah Kanan Skenario 1



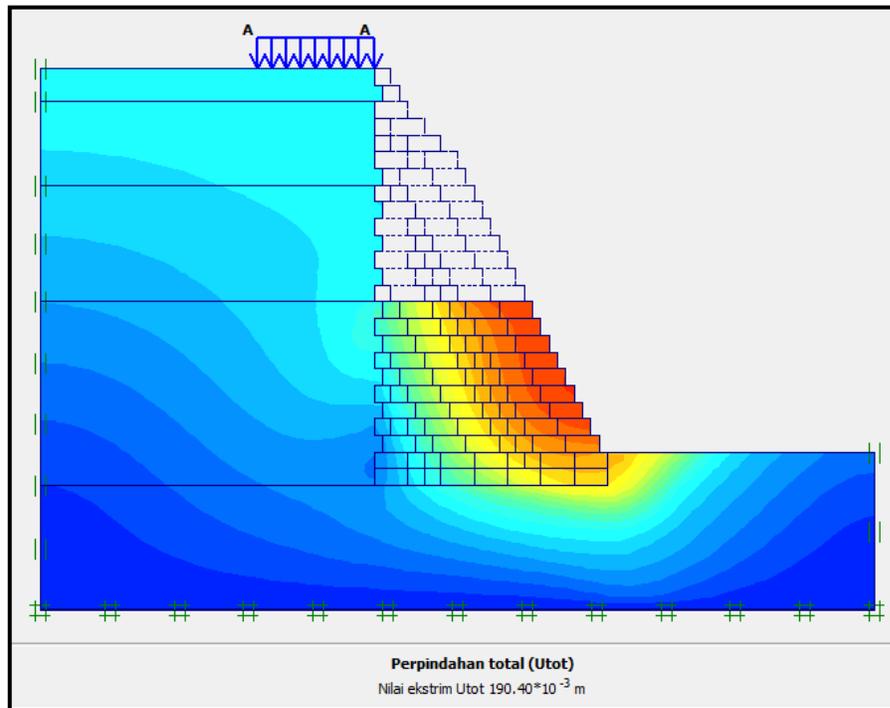
Gambar 4.10 Grafik SF Terhadap Beban Tanah Sebelah Kiri Skenario 1



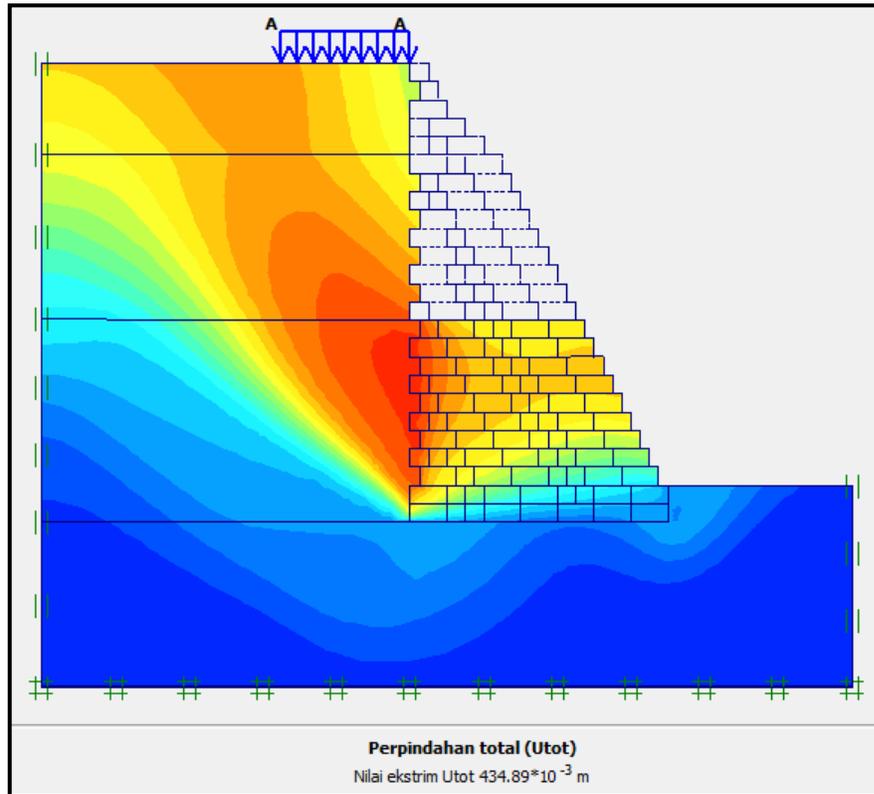
Gambar 4.11 Grafik SF Terhadap Beban Tanah Sebelah Kanan Skenario 1

4.7.2. Skenario 2 (Dinding Penahan Tanah Bagian Bawah)

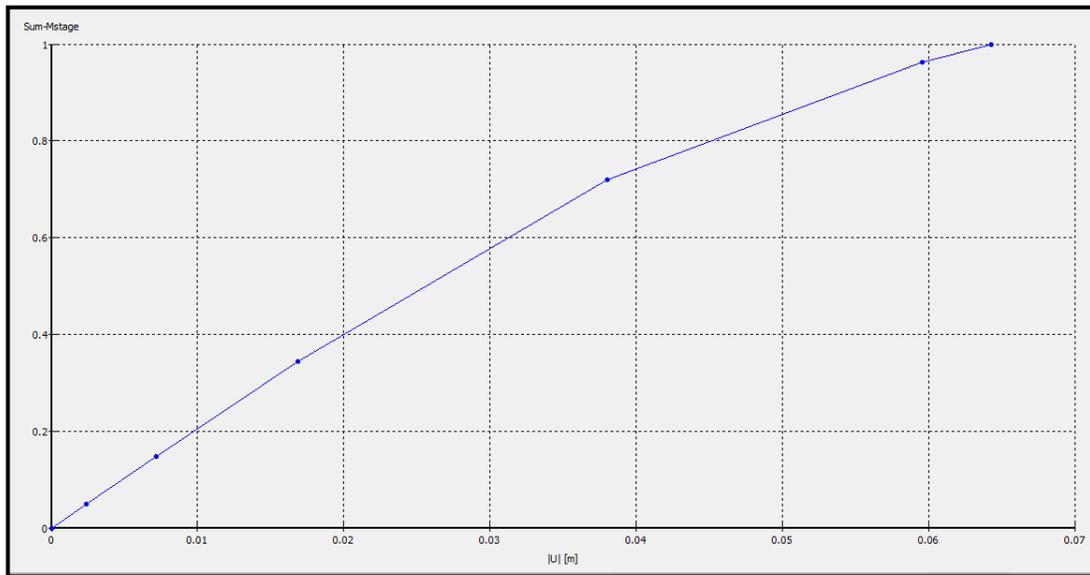
Untuk skenario 2 akan dilakukan analisa pengaruh dinding penahan tanah pada setengah bagian bangunan bronjong ditambah dengan beban merata terhadap safety faktor



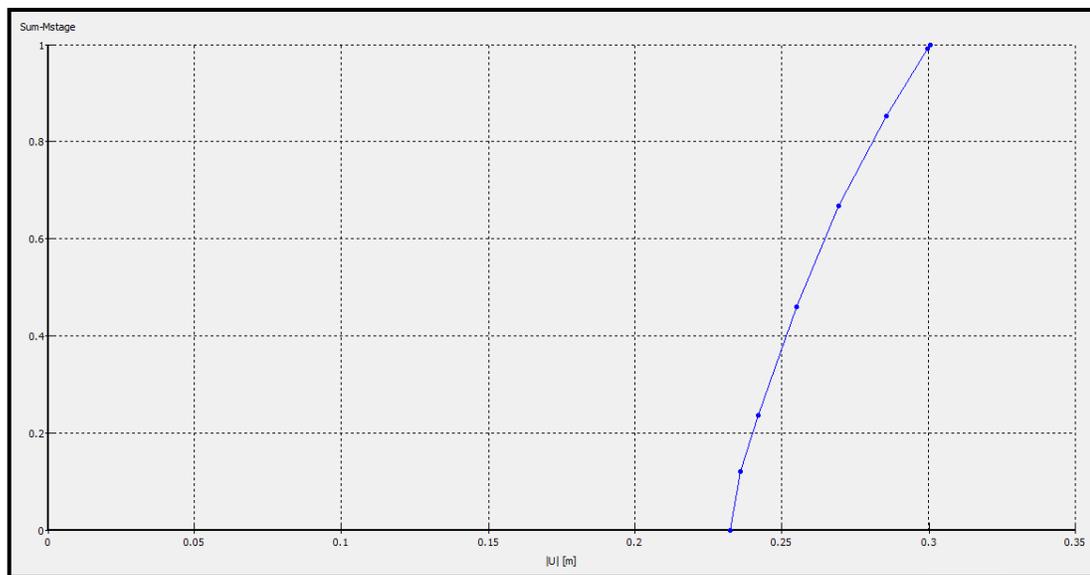
Gambar 4.12 Total Displacements pada Tanah Sebelah Kiri Skenario 2



Gambar 4.13 Total Displacements pada Tanah Sebelah Kanan Skenario 2



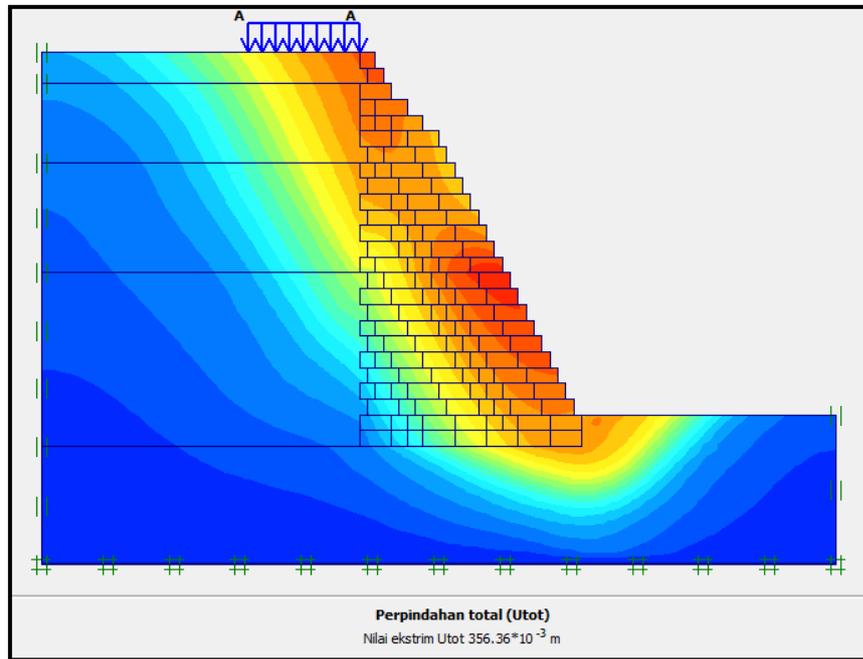
Gambar 4.14 Grafik SF Terhadap Beban Tanah Sebelah Kiri Skenario 2



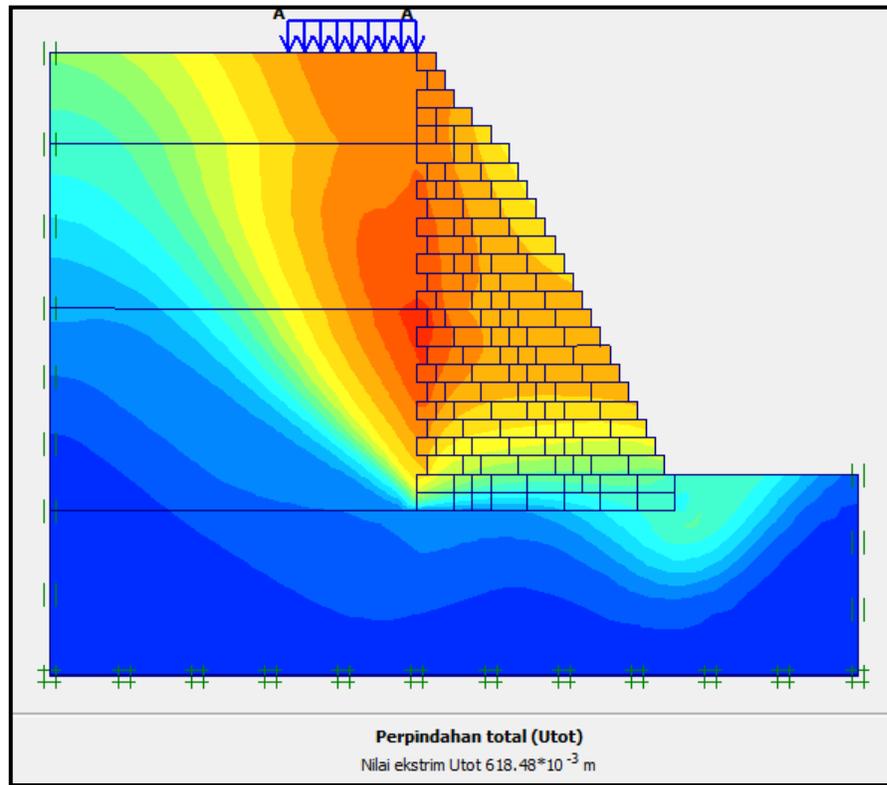
Gambar 4.15 Grafik SF Terhadap Beban Tanah Sebelah Kanan Skenario 2

4.7.3. Skenario 3 (Dinding Penahan Tanah)

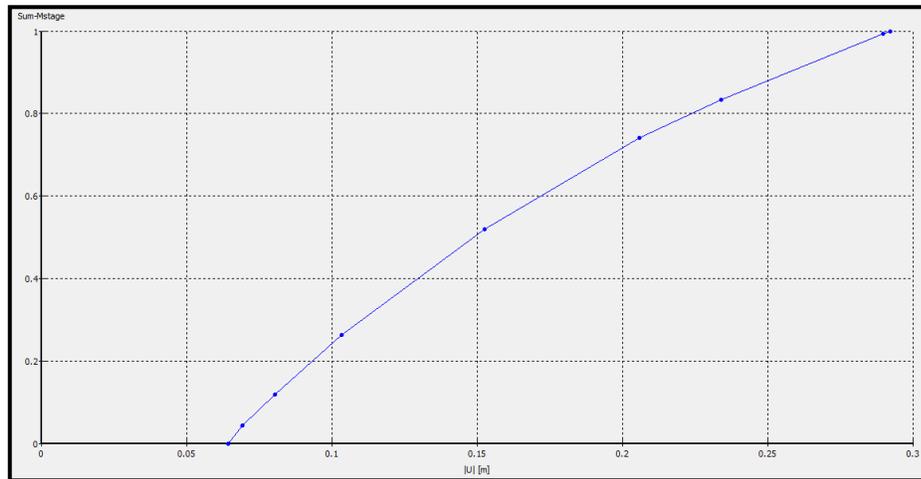
Untuk skenario 3 akan dilakukan analisa pengaruh dinding penahan tanah pada seluruh bagian bangunan bronjong ditambah dengan beban merata terhadap safety faktor



Gambar 4.16 Total Displacements pada Tanah Sebelah Kiri Skenario 3



Gambar 4.17 Total Displacements pada Tanah Sebelah Kanan Skenario 3



Gambar 4.18 Grafik SF Terhadap Beban Tanah Sebelah Kiri Skenario 3

BAB 5

Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Analisa stabilitas lereng dengan menggunakan metode rankin dan metode terzagi telah digunakan untuk menilai stabilitas lereng dinding penahan tanah Jalan Cibereum Kecamatan Kertasari Kabupaten Bandung. Dengan faktor keamanan berdasarkan SNI 8640-2017 menarik kesimpulan sebagai berikut :

- a. Faktor keamanan desain terhadap stabilitas guling hasil Analisa menunjukan nilai SF Titik Kanan = 2.320 dan Titik Kiri = 1.007 dengan SF SNI 8640-2017 = 2
- b. Faktor keamanan desain terhadap stabilitas geser hasil Analisa menunjukan nilai SF Titik Kanan = 1.653 dan Titik Kiri = 0.765 dengan SF SNI 8640-2017 = 1.5
- c. Faktor keamanan desain terhadap daya dukung tanah asil Analisa menunjukan nilai SF Titik Kanan = 2.401 dan Titik Kiri = 14,192 dengan SF SNI 8640-2017 = 3

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian, maka perlu adanya penelitian lanjut untuk melengkapi dan mengembangkan tema penelitian ini. Adapun saran-saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya :

- a. Perlu dilakukan penelitian uji lab yang akurat agar tidak adanya *human error*
- b. Melakukan beberapa kali phase dalam pemograman Plaxis
- c. Melakukan redesain pada kondisi tembok penahan tanah yang tidak sesuai dengan faktor aman minimum

DAFTAR PUSTAKA

- Hardiyatmo, H.C. (2011). Mekanika Tanah I. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta. Lambe, T. C., and Whitman, R. V. 1969. Soil Mechanics. John Wiley & Sons. New York. Meyerhoff. 1976. Principle of Geotechnical Engineering. PWS Publisher. Depdikbud. (1996) : *Pedoman Umum Ejaan Bahasa Indonesia yang Disempurnakan*. Bandung : Pustaka Setia.
- _____, (1990). SNI 03-1971-1990 Metode Pengujian Kadar Air. Badan Standarisasi Nasional.
- _____, (1999). SNI 03-0090-1999 Bronjong Kawat. Badan Standarisasi Nasional.
- _____. (2008). SNI 3423:2008 Cara Uji Analisis Ukuran Butir. Badan Standarisasi Nasional
- _____. (2008). SNI 3813:2008 Cara Uji Geser Langsung Tanah Terkonsolidasi dan Terdrainase. Badan Standarisasi Nasional
- _____. (2008). SNI 1964:2008 Cara Uji Berat Jenis Tanah. Badan Standarisasi Nasional
- _____. (2016). Modul Pelatihan Plaxis Versi 8. Plaxis
- _____. (2017). SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik. Badan Standarisasi Nasional