

DAFTAR PUSTAKA

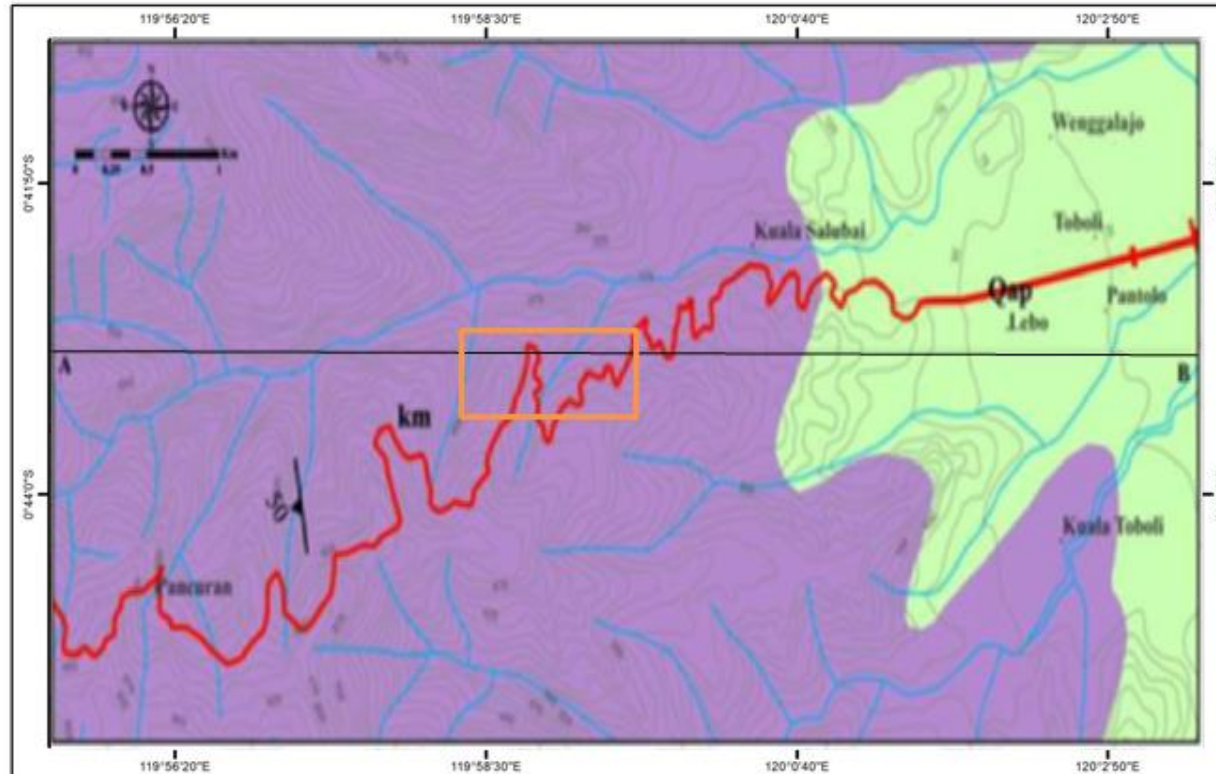
- American Concrete Institute (ACI). 1995. *Specification For Materials, Proportioning and Application of Shotcrete. ACI Report 506.2-95, Revised 1995.*
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). 1993. *Guide for The Design of Pavement Structures, The American Association of State Highway Transportation Officials, Washington, DC.*
- American Society for Testing and Materials., 1997. *Annual Book of ASTM Standard, Section 4 Construction, Volume 04.08, Soil and Rock (I), ASTM European Office, England.*
- Anastasopoulos, I., Gazetas, G., Gelogoti, F., dan Kourkoulis, R. 2011. *Slope Stabilizing Piles and Pile-Groups : Parametric Study and Design Insight. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering.*
- Andri, Yusias., 2019. Analisis Kestabilan Lereng Sungai Woro Klanten Dalam Rangka Mitigasi Bencana Akibat Lahar Dingin Merapi, Universitas Pembangunan Nasional. Yogyakarta
- Anugrahadi, A., Hardiyanti, S. P dan Suryo, N. H., 2016. Terapan Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis Dalam Mitigasi Bencana Beraspek Geologi, Buku 1, Universitas Trisakti, Jakarta.
- Arif, Irwandy., 2016. Geoteknik Tambang, Mewujudkan Produksi Tambang yang Berkelanjutan dengan Menjaga Kestabilan Lereng. Gramedia. Jakarta
- ASTM D., 1586-84., 1984. *Practice for Description and Identification of Soil (Visual-Manual Procedure)*
- Atterberg, A., 1911. *Uber die Physikalische Bodenuntersuchung und uber die plastizitatder Tone. Int. Mitt. Boden, Vol.1.*
- Attewell, P. B. 1993. *The Role Engineering Geology In The Design Of Surface And Underground Structures. In Comprehensive Rock Engineering. ED.J. A. Hudson, Pergamon Press.*
- Badan Standarisasi Nasional., 2013. *"Beban minimum untuk perencanaan bangunan gedung dan struktur lain, SNI 1727:2013 ". Jakarta: BSN*
- Bowles, J. E., 1991. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah "Mekanika Tanah". Erlangga: Jakarta.*

- Bowles, J. E., 1997. *Analisis dan Desain Pondasi Jilid 1*, Erlangga: Jakarta. hal 49
- Brinkgreve, R. B. J., 2016. *Reference Manual*, Spon Press, PLAXIS, Netherlands.
- Casagrande. 1942. Sistem Klasifikasi Unified Soil & Classification System (USCS)
- Das, B. M., 2007. *Principles of Foundation Engineering Sixth Edition*. Chris Carsin, United States.
- Das, B. M., 1993. *Mekanika Tanah 1*, Erlangga. Jakarta
- Das, B. M., 1985. *Advance Soil Mechanics*, Mc. Graw Hill, Singapore.
- Day, R. W., 2000. *Geotechnical Engineer's Portable Books*. United States of America : McGraw-Hill
- Head, R and Wilson. M., 2004. *Landslide Types and Processes*. USGS Fact Sheet 2004-3072.
- Hall, R., and Wilson. M. E. J., 2000. *Neogene Sutures in Eastern Indonesia*, *Journal of Asian earth Sciences*, 18, 781-808.
- Hanif, P. G., Wira, C., Reni, H dan Imam, A. S., 2017. *Analisis Kestabilan Dan Perkuatan Lereng Massa Batuan Menggunakan Slope Mass Rating Dan Rock Mass Rating Di Jalan Raya Tawaeli – Toboli Km 52 – 64, Palu, Sulawesi Tengah*
- Harsano, J., Abdul, M., dan Icha, U. M., 2020. *Investigasi Bidang Gelincir Pada Daerah Rawan Longsor Di Ruas Jalan Tawaeli-Toboli Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis*, Universitas Tadulako, Palu.
- Highland, L and Johnson, M., 2004. *Landslide Types and Processes*. USGS Fact Sheet 2004-3072.
- Hustrulid, Kunchta and Martin. 2006. *Open Pit Mine Planening & Design*. CRC Press. London
- Irsyam, M., Sengara I.W., Adiamar, F., Widiyantoro, S., Triyoso, W., Natawidjaja, D.H., dkk., 2010, Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia, Bandung, 1 Juli 2010.
- Karnawati, D., 2004. *An Initial Approach To Identifying Slop Stability Controls In Southern Java An To Providing Community - Based Landslide Warning Information*.

- Kementerian PUPRBPSDM., 2017. Modul Geologi dan Geologi Teknik Pelatihan Perancangan Embung. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Badan Pengembangan Sumberdaya Air dan Kontruksi. Bandung
- Keputusan Menteri No 1827., 2018. Pedoman Pelaksanaan Kaidah teknik Pertambangan. Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral. Jakarta
- Mohr O., 1900. *Welche Umstände Bedingen die Elastizitätsgrenze und den Bruch eines Materiales? Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure. Vol. 44, 1524-1530, 1572-1577.*
- Pasific Consultants International Yachiyo ., 1998. *Feasibility Study for Tawaeli-Toboli Road volume III, Engineering CO.,LTD.*
- Plaxis., 2005. Reference Manual
- Reddy, J. N., 2005. *Solutions Manual For An Introduction to the Finite Element Method, Edisi ketiga. McGraw-Hill, New York*
- SKBI, 1987. *Pedoman Perencanaan Pembebanan jembatan Jalan raya. (SKBI 1.3.28.1987) Departemen Pekerjaan umum. Jakarta*
- SNI 1964:2008., 2008. *Cara uji Berat jenis Tanah. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.*
- SNI 2435:2008., 2008. *Tata cara Pencatatan dan Identifikasi Hasil Pengeboran inti. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.*
- SNI 3420:2016., 2016. *Metode Uji Kuat Geser Langsung Tanah tidak Terkonsolidasi dan tidak Terdreinase. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.*
- SNI 4153:2008., 2008. *Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan SPT. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.*
- SNI 6371:2015., *Tata cara Pengklasifikasian Tanah untuk keperluan Teknik dengan sistem klasifikasi. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.*
- SNI 1966:2008., *Cara uji Batas Plastisitas dan Indeks Plastisitas Tanah. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta*
- Sukamto, R., Sumadiradja, H., Suptandar, T., Hardjoprawiro, S., dan Sudana, D., 1973. *Peta Geologi Tinjau Lebar Palu, Sulawesi, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung. Lembar :2015-2115.*

- Susatio., dan Yerri, I., 2004. *Dasar-Dasar Metode Elemen Hingga*. Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Tarzaghi, K dan Peck, R. B., 1987. *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa*. Penerbit Erlangga. Jakarta
- Van Leeuwen., Marlina Elbug and Charlotte M., 2016. *The Palu Metamorphic Complex, NW Sulawesi, Indonesia : Origin and evolution of a young metamorphic terrane with link to Gondwana and Sundaland*, Queensland University of Technology, Australia.
- Widiastuti, Yusnia., 2015. *Aplikasi Plaxis Dalam Analisis Numerik Deformasi Lapisan Fondasi Jalan Pancosari – Greges Yogyakarta*

LAMPIRAN A
PETA GEOLOGI PENELITIAN



PETA GEOLOGI REGIONAL POROS TAWAELI – TOBOLI KOTA PALU



Skala 1 : 80.000



Sumber Data :
Sukanto., dkk. 1973. Peta Geologi Tinjau Lembar Palu

Legenda:

-  Lokasi penelitian
-  Sayatan A - B
-  Jalan
-  Sungai
-  Kontur

**ANALISIS STABILITAS LERENG
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA
(FEM) PADA RUAS JALAN TAWAELI TOBOLI
KM 23 +700**

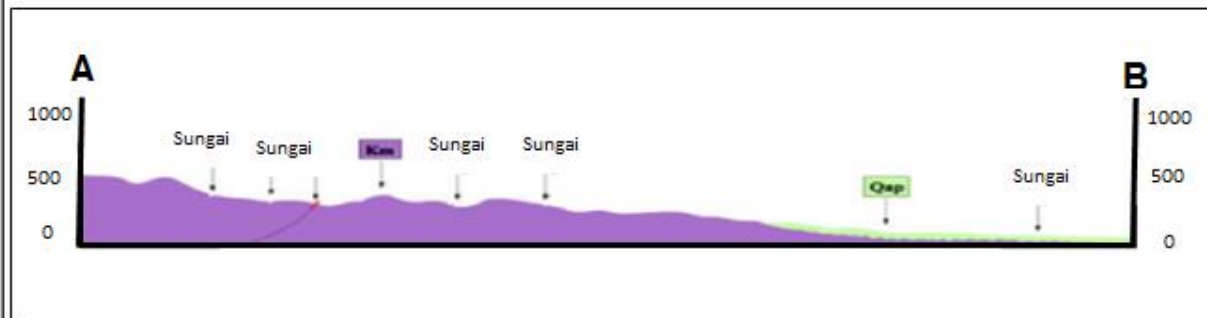
**PROGRAM MAGISTER TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2020**

Digambar: M. ZAINUL BAHAR
NIM D062 18 2003

Pembimbing: Dr. Ir. Busthan Azikin, M.T
NIP : 19591008 198703 1 001
Dr. Ir. Hj Ratna Husain, M.T
NIP : 19590202 198601 2 001

Lampiran

Halaman





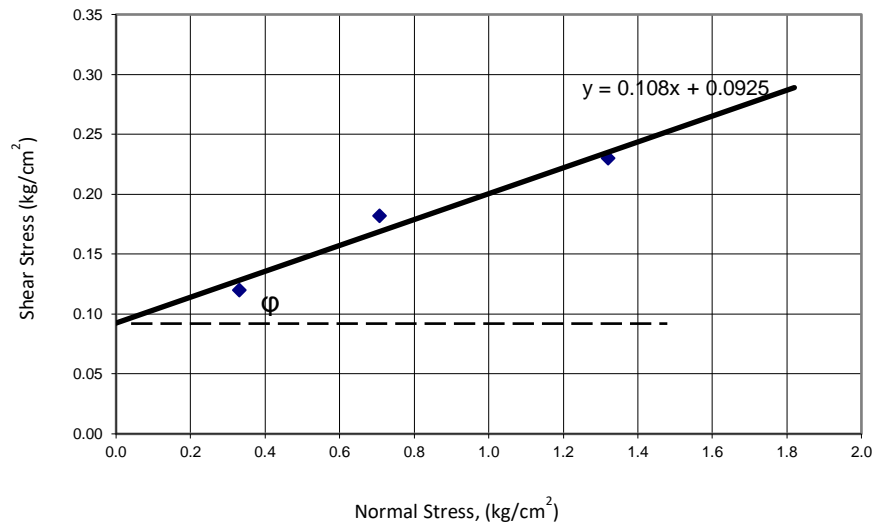
LABORATORIUM
MEKANIKA TANAH
UNIVERSITAS HASANUDDIN

LAMPIRAN C

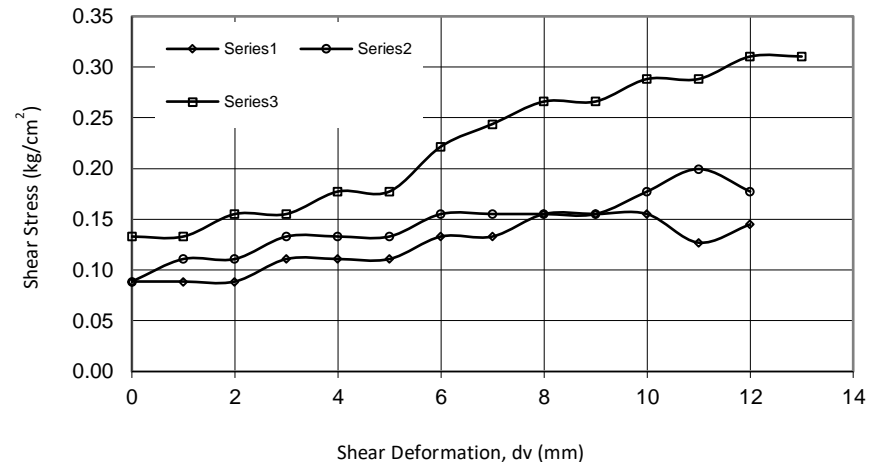
HASIL UJI GESER LANGSUNG

Sample Size :	1			Proving Ring Calibration (berat cincin)	=	0,627	kg/div	
Lenght of side (Diameter)	=	6,00	cm	Displacement Rate (Perpindahan)	=		kg/div	
Height of sample (Tinggi Sampel)	=	2,00	cm	c	=	0,09	kg/cm ²	
Area of sample (Volume sampel)	=	28,27	cm ²	φ	=	22	°	
Test No.	Test (1)			Test (2)		Test (3)		
Normal Load	P1 =	10,00	kg	P1 =	20,00	kg	P1 = 30,00 kg	
Normal Stress	σ1=	0,35	kg/cm ²	σ1 =	0,71	kg/cm ²	σ1 = 1,06 kg/cm ²	
Shear Displacement (mm)	Shear Force (kg)		Shear Stress kg/cm ²	Shear Force (kg)		Shear Stress (kg/cm ²)	Shear Force (kg)	
0,00	2,508		0,089	2,508		0,089	3,762	
1,00	2,508		0,089	3,135		0,111	3,762	
2,00	2,508		0,089	3,135		0,111	4,389	
3,00	3,135		0,111	3,762		0,133	4,389	
4,00	3,135		0,111	3,762		0,133	5,016	
5,00	3,135		0,111	3,762		0,133	5,016	
6,00	3,762		0,133	4,389		0,155	6,270	
7,00	3,762		0,133	4,389		0,155	6,897	
8,00	4,389		0,155	4,389		0,155	7,524	
9,00	4,389		0,155	4,389		0,155	7,524	
10,00	4,389		0,155	5,016		0,177	8,151	
11,00	3,762		0,127	5,643		0,200	8,151	
12,00	3,762		0,145	5,016		0,177	8,778	
13,00	3,135		0,145	4,389		0,155	8,778	
14,00	3,135		0,145	3,135		0,111	9,405	

Shear Stress vs Shear Deformation

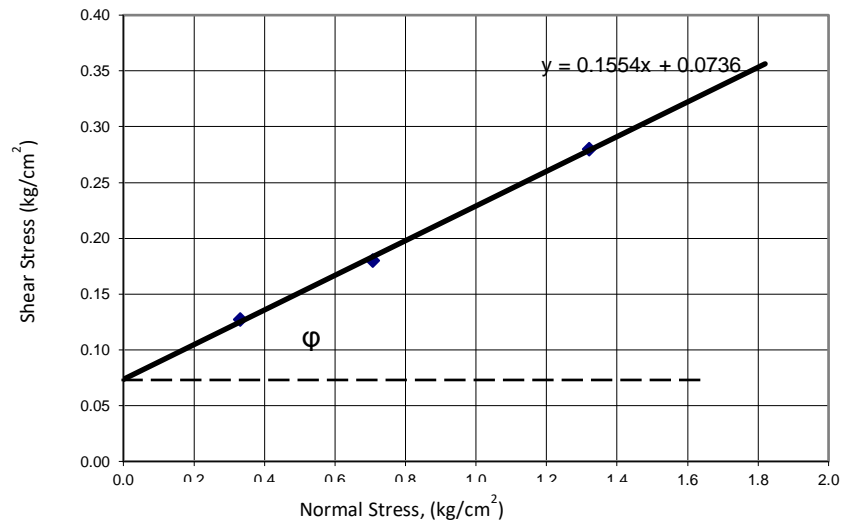


Shear Stress vs Shear Deformation

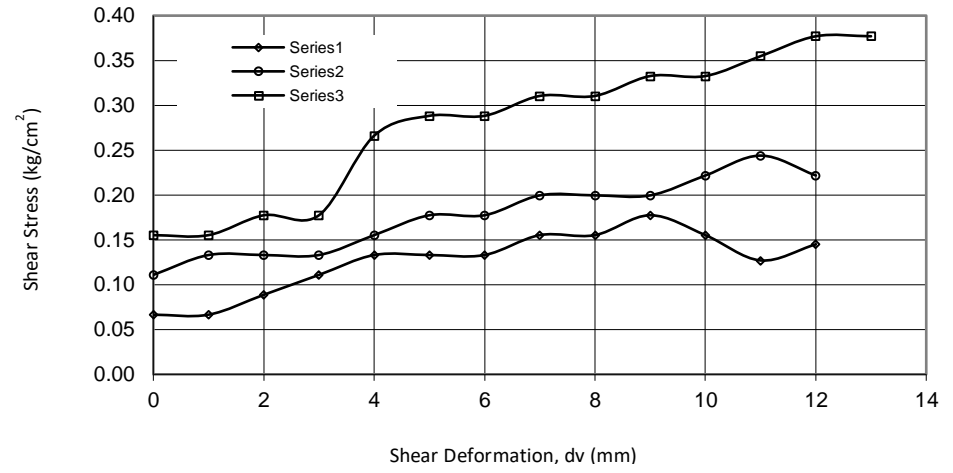


Sample Size :	2			Proving Ring Calibration (berat cincin)	=	0,627	kg/div	
Lenght of side (Diameter)	=	6,00	cm	Displacement Ratei(Perpindahan)	=		kg/div	
Height of sample (Tinggi Sampel)	=	2,00	cm	c	=	0,08	kg/cm ²	
Area of sample (Volume sampel)	=	28,27	cm ²	φ	=	35	°	
Test No.	Test (1)			Test (2)		Test (3)		
Normal Load	P1 =	10,00	kg	P1 =	20,00	kg	P1 = 30,00 kg	
Normal Stress	σ1 =	0,35	kg/cm ²	σ1 =	0,71	kg/cm ²	σ1 = 1,06 kg/cm ²	
Shear Displacement (mm)	Shear Force (kg)		Shear Stress (kg/cm ²)	Shear Force (kg)		Shear Stress (kg/cm ²)	Shear Force (kg)	
0,00	1,881		0,067	3,135		0,111	4,389	
1,00	1,881		0,067	3,762		0,133	4,389	
2,00	2,508		0,089	3,762		0,133	5,016	
3,00	3,135		0,111	3,762		0,133	5,016	
4,00	3,762		0,133	4,389		0,155	7,524	
5,00	3,762		0,133	5,016		0,177	8,151	
6,00	3,762		0,133	5,016		0,177	8,151	
7,00	4,389		0,155	5,643		0,200	8,778	
8,00	4,389		0,155	5,643		0,200	8,778	
9,00	5,016		0,177	5,643		0,200	9,405	
10,00	4,389		0,155	6,270		0,222	9,405	
11,00	4,389		0,127	6,897		0,244	10,032	
12,00	3,762		0,145	6,270		0,222	10,659	
13,00	3,762		0,145	5,643		0,200	10,659	
14,00	3,762		0,145	5,643		0,200	10,659	

Shear Stress vs Shear Deformation

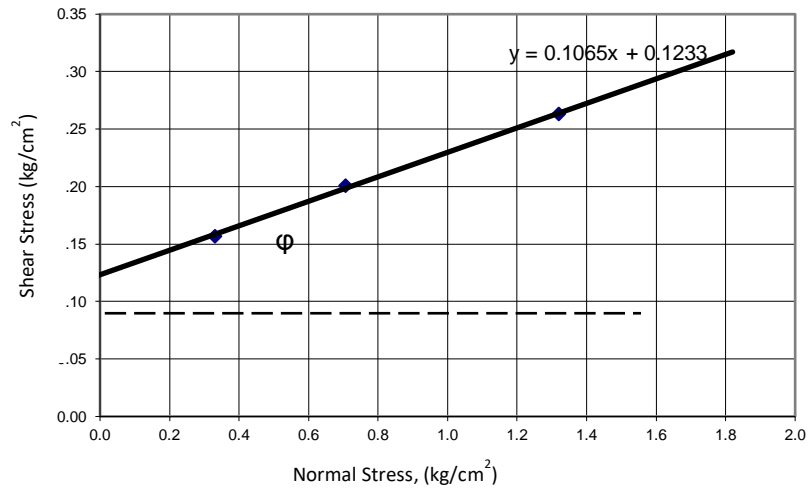


Shear Stress vs Shear Deformation

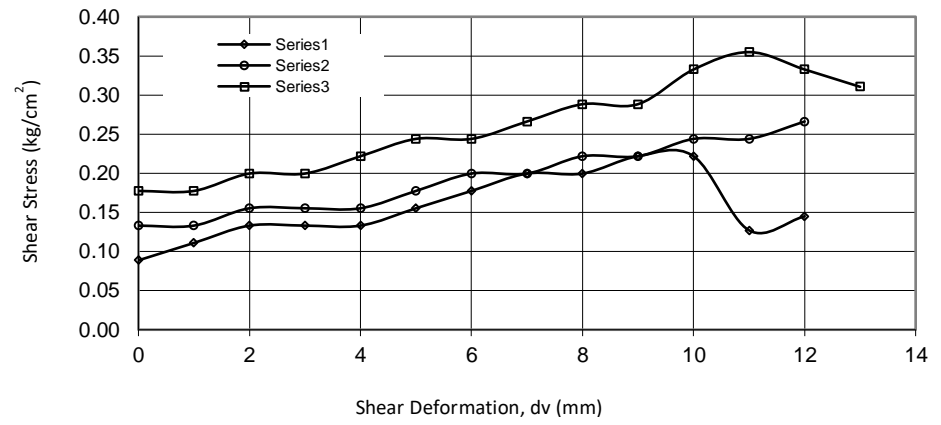


Sample Size	3		Proving Ring Calibration (berat cincin)	=	0,627	kg/div	
Lenght of side (Diameter)	=	6,00	cm	Displacement Rate (Perpindahan)	=	kg/div	
Height of sample (Tinggi Sampel)	=	2,00	cm	c	=	0,12	kg/cm ²
Area of sample (Volume sampel)	=	28,27	cm ²	φ	=	24	°
Test No.	Test (1)		Test (2)		Test (3)		
Normal Load	P1 =	10,00	kg	P1 =	20,00	kg	
Normal Stress	σ1 =	0,35	kg/cm ²	σ1 =	0,71	kg/cm ²	
Shear Displacement (mm)	Shear Force (kg)	Shear Stress (kg/cm ²)	Shear Force (kg)	Shear Stress (kg/cm ²)	Shear Force (kg)	Shear Stress (kg/cm ²)	
0,00	2,508	0,089	3,762	0,133	5,016	0,177	
1,00	3,135	0,111	3,762	0,133	5,016	0,177	
2,00	3,762	0,133	4,389	0,155	5,643	0,200	
3,00	3,762	0,133	4,389	0,155	5,643	0,200	
4,00	3,762	0,133	4,389	0,155	6,270	0,222	
5,00	4,389	0,155	5,016	0,177	6,897	0,244	
6,00	5,016	0,177	5,643	0,200	6,897	0,244	
7,00	5,643	0,200	5,643	0,200	7,524	0,266	
8,00	5,643	0,200	6,270	0,222	8,151	0,288	
9,00	6,270	0,222	6,270	0,222	8,151	0,288	
10,00	6,270	0,222	6,897	0,244	9,405	0,333	
11,00	6,270	0,127	6,897	0,244	10,032	0,355	
12,00	6,897	0,145	7,524	0,266	9,405	0,333	
13,00	6,897	0,145	7,524	0,266	8,778	0,310	
14,00	6,897	0,145	6,897	0,244	8,778	0,310	

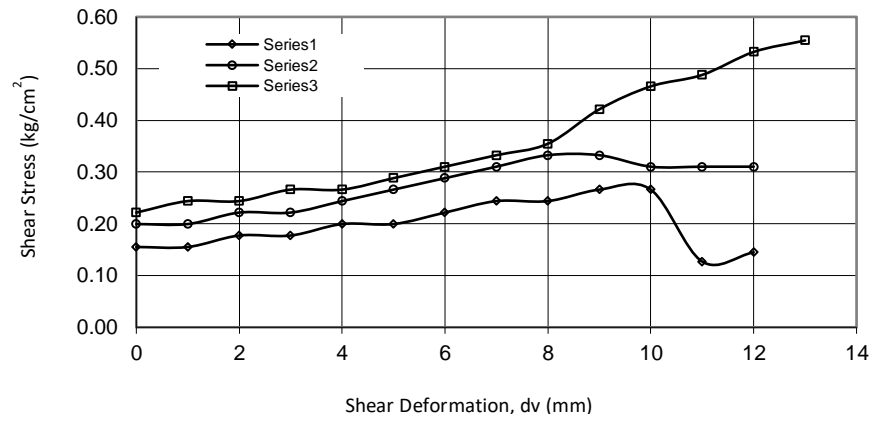
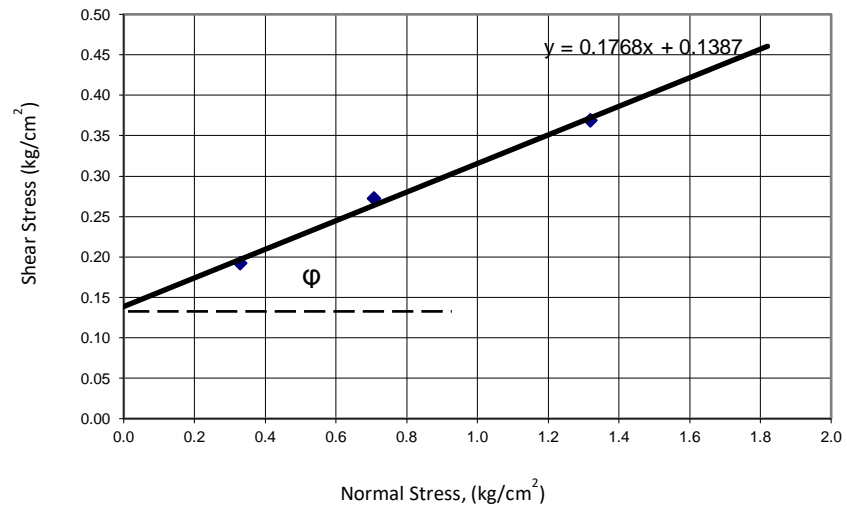
Shear Stress vs Shear Deformation



Shear Stress vs Shear Deformation



Sample Size :	4			Proving Ring Calibration (berat cincin)	=	0,627	kg/div
Lenght of side (Diameter)	=	6,00	cm	Displacement Rate (Perpindahan)	=		kg/div
Height of sample (Tinggi Sampel)	=	2,00	cm	c	=	0,14	kg/cm ²
Area of sample (Volume sampel)	=	28,27	cm ²	φ	=	40	°
Test No.	Test (1)			Test (2)		Test (3)	
Normal Load	P1 =	10,00	kg	P1 =	20,00	kg	P1 = 30,00 kg
Normal Stress	σ1 =	0,35	kg/cm ²	σ1i=	0,71	kg/cm ²	σ1 = 1,06 kg/cm ²
Shear Displacement (mm)	Shear Force (kg)	Shear Stress (kg/cm ²)	Shear Force (kg)	Shear Stress (kg/cm ²)	Shear Force (kg)	Shear Stress (kg/cm ²)	Shear Stress (kg/cm ²)
0,00	4,389	0,155	5,643	0,200	6,270	0,222	0,222
1,00	4,389	0,155	5,643	0,200	6,897	0,244	0,244
2,00	5,016	0,177	6,270	0,222	6,897	0,244	0,244
3,00	5,016	0,177	6,270	0,222	7,524	0,266	0,266
4,00	5,643	0,200	6,897	0,244	7,524	0,266	0,266
5,00	5,643	0,200	7,524	0,266	8,151	0,288	0,288
6,00	6,270	0,222	8,151	0,288	8,778	0,310	0,310
7,00	6,897	0,244	8,778	0,310	9,405	0,333	0,333
8,00	6,897	0,244	9,405	0,333	10,032	0,355	0,355
9,00	7,524	0,266	9,405	0,333	11,913	0,421	0,421
10,00	7,524	0,266	8,778	0,310	13,167	0,466	0,466
11,00	8,151	0,127	8,778	0,310	13,794	0,488	0,488
12,00	8,151	0,145	8,778	0,310	15,048	0,532	0,532
13,00	7,524	0,145	8,151	0,288	15,675	0,554	0,554
14,00	7,524	0,145	6,897	0,244	15,675	0,554	0,554





LABORATORIUM
MEKANIKA TANAH
UNIVERSITAS HASANUDDIN

LAMPIRAN D

HASIL UJI SIFAT FISIK TANAH

Nama Pekerjaan: Uji Bobot Isi

No. Contoh/kedalaman : Lapisan 1

Lokasi contoh: Tawaeli–Toboli Km 23+700

Jenis Contoh: Pasir Lanauan

Data Berat isi

No. Contoh uji		1	2	3
1	Nomor ring	S1	S2	S3
2	Massa tanah basah + ring (<i>gr</i>)	178,1	178,3	178,0
3	Massa ring (<i>gr</i>)	82,2	82,2	82,2
4	Massa tanah basah (2) – (3) (<i>gr</i>)	95,91	95,91	95,91
5	Tinggi contoh (<i>cm</i>)	2	2	2
6	Diameter contoh (<i>cm</i>)	6	6	6
7	Isi contoh $(\frac{1}{4}\pi \times (6^2) \times (5))$ (<i>cm</i> ²)	56,52	56,52	56,52
8	Berat isi basah $(\frac{(4)}{(7)})$ (<i>gr/cm</i> ³)	1,697	1,697	1,697
9	Kadar air (%)	58,9	42,9	42,2
10	Berat isi kering $(\frac{100 \times (8)}{100+(9)})$ (<i>gr/cm</i> ³)	1,13	1,14	1,13
11	Rata-rata berat isi basah (<i>gr/cm</i> ³)	1,697		

Data kadar air

1	Nomor cawan	S1	S2	S3
2	Massa tanah basah + cawan (<i>gr</i>)	27,9	25,89	25,23
3	Massa tanah kering + cawan (<i>gr</i>)	23,81	23,14	22,71
4	Massa air (2) – (3) (<i>gr</i>)	4,176	2,754	2,527
5	Massa cawan (<i>gr</i>)	16,72	16,72	16,72
6	Massa tanah kering (3) – (5) (<i>gr</i>)	7,09	6,42	5,99
7	Kadar air (4)/(6) x 100 (%)	58,9	42,9	42,2
8	Rata-rata Kadar air (%)	48,25		

Nama Pekerjaan: Uji Bobot Isi

No. Contoh/kedalaman : Lapisan 2

Lokasi contoh: Tawaeli –Toboli Km 23+700

Jenis Contoh: Pasir Lempungan

Data Berat isi

No. Contoh uji		1	2	3
1	Nomor ring	S1	S2	S3
2	Massa tanah basah + ring (<i>gr</i>)	188,51	197,1	187,1
3	Massa ring (<i>gr</i>)	82,2	82,2	82,2
4	Massa tanah basah (2) – (3) (<i>gr</i>)	106,31	114,9	104,9
5	Tinggi contoh (<i>cm</i>)	2	2	2
6	Diameter contoh (<i>cm</i>)	6	6	6
7	Isi contoh $(\frac{1}{4}\pi \times (6^2) \times (5))$ (<i>cm</i> ²)	56,52	56,52	56,52
8	Berat isi basah $(\frac{(4)}{(7)})$ (<i>gr/cm</i> ³)	1,881	2,033	1,851
9	Kadar air (%)	54,87	56,31	56,16
10	Berat isi kering $(\frac{100 \times (8)}{100+(9)})$ (<i>gr/cm</i> ³)	1,215	1,301	1,189
11	Rata-rata berat isi basah (<i>gr/cm</i> ³)	1,743		

Data kadar air

1	Nomor cawan	S1	S2	S3
2	Massa tanah basah + cawan (<i>gr</i>)	29,07	27,33	29,4
3	Massa tanah kering + cawan (<i>gr</i>)	24,7	23,51	24,84
4	Massa air (2) – (3) (<i>gr</i>)	4,37	3,82	4,56
5	Massa cawan (<i>gr</i>)	16,72	16,72	16,72
6	Massa tanah kering (3) – (5) (<i>gr</i>)	7,98	6,79	8,12
7	Kadar air (4)/(6) x 100 (%)	54,87	56,31	56,16
8	Rata-rata Kadar air (%)	55,30		

Nama Pekerjaan : Uji Bobot Isi

No. Contoh/kedalaman : Lapisan 3

Lokasi contoh: Tawaeli –Toboli Km 23+700

Jenis Contoh: Lempung

Data Berat isi

No. Contoh uji		1	2	3
1	Nomor ring	S1	S2	S3
2	Massa tanah basah + ring (<i>gr</i>)	182,4	176,13	181,3
3	Massa ring (<i>gr</i>)	82,2	82,2	82,2
4	Massa tanah basah (2) – (3) (<i>gr</i>)	100,2	93,93	99,13
5	Tinggi contoh (<i>cm</i>)	2	2	2
6	Diameter contoh (<i>cm</i>)	6	6	6
7	Isi contoh $(\frac{1}{4}\pi \times (6^2) \times (5))$ (<i>cm</i> ²)	56,52	56,52	56,52
8	Berat isi basah $(\frac{(4)}{(7)})$ (<i>gr/cm</i> ³)	1,773	1,662	1,754
9	Kadar air (%)	27,6	27,9	29,01
10	Berat isi kering $(\frac{100 \times (8)}{100+(9)})$ (<i>gr/cm</i> ³)	1,39	1,30	1,36
11	Rata-rata berat isi basah (<i>gr/cm</i> ³)	1,606		

Data kadar air

1	Nomor cawan	S1	S2	S3
2	Massa tanah basah + cawan (<i>gr</i>)	26,92	26,49	26,6
3	Massa tanah kering + cawan (<i>gr</i>)	24,72	24,36	24,38
4	Massa air(2) – (3) (<i>gr</i>)	2,2	2,13	2,22
5	Massa cawan (<i>gr</i>)	16,72	16,72	16,72
6	Massa tanah kering (3) – (5) (<i>gr</i>)	8	7,64	7,66
7	Kadar air (4)/(6) x 100 (%)	27,6	27,9	29,01
8	Rata-rata Kadar air (%)	28,17		

Nama Pekerjaan: Uji Bobot Isi

No. Contoh/kedalaman : Lapisan 4

Lokasi contoh: Tawaeli –Toboli Km 23+700

Jenis Contoh: Lempung

Data Berat isi

No. Contoh uji		1	2	3
1	Nomor ring	S1	S2	S3
2	Massa tanah basah + ring (<i>gr</i>)	164,7	191,8	169,2
3	Massa ring (<i>gr</i>)	82,2	82,2	82,2
4	Massa tanah basah (2) – (3) (<i>gr</i>)	82,51	109,6	87,04
5	Tinggi contoh (<i>cm</i>)	2	2	2
6	Diameter contoh (<i>cm</i>)	6	6	6
7	Isi contoh $(\frac{1}{4}\pi \times (6^2) \times (5)(\text{cm}^2)$	56,52	56,52	56,52
8	Berat isi basah $(\frac{(4)}{(7)}) (\text{gr}/\text{cm}^3)$	1,46	1,94	1,54
9	Kadar air (%)	44,9	46,5	45,7
10	Berat isi kering $(\frac{100 \times (8)}{100+(9)}) (\text{gr}/\text{cm}^3)$	1,28	1,33	1,06
11	Rata-rata berat isi basah (<i>gr/cm</i> ³)	1,350		

Data kadar air

1	Nomor cawan	S1	S2	S3
2	Massa tanah basah + cawan (<i>gr</i>)	27,58	27,66	28,21
3	Massa tanah kering + cawan (<i>gr</i>)	24,22	24,22	24,61
4	Massa air (2) – (3) (<i>gr</i>)	3,36	3,44	3,60
5	Massa cawan (<i>gr</i>)	16,72	16,72	16,72
6	Massa tanah kering (3) – (5) (<i>gr</i>)	7,5	7,4	7,89
7	Kadar air (4)/(6) x 100 (%)	44,9	46,5	45,7
8	Rata-rata Kadar air (%)	45,7		



LABORATORIUM
MEKANIKA TANAH
UNIVERSITAS HASANUDDIN

LAMPIRAN E

HASIL UJI PERMEABILITAS

**UJI KELULUSAN AIR DENGAN
TEKANAN TETAP**

Proyek : <u>Uji Permeabilitas 1</u> Lokasi : <u>Tawaeli – Toboli Km 23+700</u> Kedalaman (m) : Ukuran Benda uji: Diameter \emptyset (cm): 10 Panjang L (cm): 10 Luas A (cm ²): 72,5 Volume (cm ³): 148			Sifat fisik tanah Jenis tanah: <u>Pasir Lanauan</u> Warna: <u>coklat</u> Kadar air w (%) 16,3 Berat volume γ_n (gr/cm ³): 12,072 Spesifik grav. G_s (-) : 2,67 Tinggi tekanan air: h_1 (cm): 110 h_2 (cm): 10 Kemiringan hidraulik $i = \frac{h_1 - h_2}{L} = 10$		
Waktu dari Permulaan uji t (menit)	Selang waktu Δt (menit)	Volume air terukur V (cm ³)	Debit air rata-rata $q = \frac{Q}{t} \left(\frac{\text{cm}^3}{\text{menit}} \right)$	$\frac{i}{\sqrt{t}}$	Keterangan
30	30	4,89	0,163	0,32	Kondisi aliran tetap : $q = 0,055$
60	30	4,8	0,160	0,32	
90	30	4,11	0,137	0,24	
120	30	1,65	0,055	0,22	
150	30	1,65	0,055	0,22	
180	30	1,65	0,055	0,22	
210	30	1,65	0,055	0,22	
Koef. Kelulusan air $K = \frac{q}{(A \times i \times 30)} \text{ (cm/s)} = 2,52 \times 10^{-7}$					

**UJI KELULUSAN AIR DENGAN
TEKANAN TETAP**

Proyek : <u>Uji Permeabilitas 2</u> Lokasi : <u>Tawaeli – Toboli Km 23+700</u> Kedalaman (m) : Ukuran Benda uji: Diameter \emptyset (cm):10 Panjang L (cm): 10 Luas A (cm ²): 72,5 Volume (cm ³): 148			Sifat fisik tanah Jenis tanah : <u>Pasir Lempungan</u> Warna: abu-abu <u>coklat</u> Kadar air w (%) : 11,12 Berat volume (gr/cm ³): 17,1 Spesifik grav. G _s (-) : 2,71 Tinggi tekanan air: h ₁ (cm): 110 h ₂ (cm): 10 Kemiringan hidraulik $i = \frac{h_1 - h_2}{L} = 10$		
Waktu dari Permulaan uji t (menit)	Selang waktu Δt (menit)	Volume air terukur V(cm ³)	Debit air rata-rata $q = \frac{Q}{t} \left(\frac{cm^3}{menit} \right)$	$\frac{i}{\sqrt{t}}$	Keterangan
30	30	5,04	0,168	0,38	Kondisi aliran tetap : q = 0,0461
60	30	4,77	0,159	0,34	
90	30	3,72	0,124	0,29	
120	30	3,54	0,118	0,26	
150	30	0,138	0,0046	0,21	
180	30	0,138	0,0046	0,20	
210	30	0,138	0,0046	0,20	
Koef. Kelulusan air $K = \frac{q}{(A \times i \times 30)} (cm/s) = 2,12 \times 10^{-7}$					

**UJI KELULUSAN AIR DENGAN
TEKANAN TETAP**

Proyek : <u>Uji Permeabilitas 3</u> Lokasi : <u>Tawaeli – Toboli Km 23+700</u> Kedalaman (m) : Ukuran Benda uji: Diameter \emptyset (cm): 10 Panjang L (cm): 10 Luas A (cm ²): 72,5 Volume (cm ³): 148			Sifat fisik tanah Jenis tanah: <u>Lempung</u> Warna: abu-abu Kadar air w (%) : 19,34 Berat volume (gr/cm^3): 15,752 Spesifik grav. G_s (-) : 2,71 Tinggi tekanan air: h_1 (cm): 110 h_2 (cm): 10 Kemiringan hidraulik $i = \frac{h_1 - h_2}{L} = 10$		
Waktu dari Permulaan uji t (menit)	Selang waktu Δt (menit)	Volume air terukur V (cm ³)	Debit air rata-rata $q = \frac{Q}{t} \left(\frac{cm^3}{menit} \right)$	$\frac{i}{\sqrt{t}}$	Keterangan
30	30	0,0275	0,000918	0,18	Kondisi aliran tetap : $q = 0,000375$
60	30	0,0265	0,000882	0,17	
90	30	0,0252	0,000840	0,16	
120	30	0,0244	0,000813	0,153	
150	30	0,0235	0,000784	0,143	
180	30	0,0222	0,000741	0,140	
210	30	0,0113	0,000375	0,140	
240	30	0,0113	0,000375	0,140	
Koef. Kelulusan air $K = \frac{q}{(A \times i \times 30)} (cm/s) = 1,72 \times 10^{-9}$					

**UJI KELULUSAN AIR DENGAN
TEKANAN TETAP**

Proyek : <u>Uji Permeabilitas 4</u> Lokasi : <u>Tawaeli – Toboli Km 23+700</u> Kedalaman (m) : Ukuran Benda uji: Diameter $\emptyset(cm)$:10 Panjang $L (cm)$: 10 Luas $A (cm^2)$: 72,5 Volume (cm^3):148			Sifat fisik tanah Jenis tanah: <u>Lempung 2</u> Warna: abu-abu Kadar air $w (%)$ 16,20 Berat volume $\gamma_n (gr/cm^3)$: 13,240 Spesifik grav. $G_s (-)$: 2,735 Tinggi tekanan air: $h_1 (cm)$: 110 $h_2 (cm)$: 10 Kemiringan hidraulik $i = \frac{h_1 - h_2}{L} = 10$		
Waktu dari Permulaan uji $t (menit)$	Selang waktu $\Delta t (menit)$	Volume air terukur $V (cm^3)$	Debit air rata-rata $q = \frac{Q}{t} \left(\frac{cm^3}{menit} \right)$	$\frac{i}{\sqrt{t}}$	Keterangan
30	30	0,0275	0,000918	0,18	Kondisi aliran tetap : $q = 0,000375$
60	30	0,0265	0,000882	0,17	
90	30	0,0252	0,000840	0,16	
120	30	0,0244	0,000813	0,153	
150	30	0,0235	0,000784	0,143	
180	30	0,0222	0,000741	0,140	
210	30	0,0113	0,000375	0,140	
240	30	0,0113	0,000375	0,140	
Koef. Kelulusan air $K = \frac{q}{(A \times i \times 30)} (cm/s) = 2,52 \times 10^{-9}$					



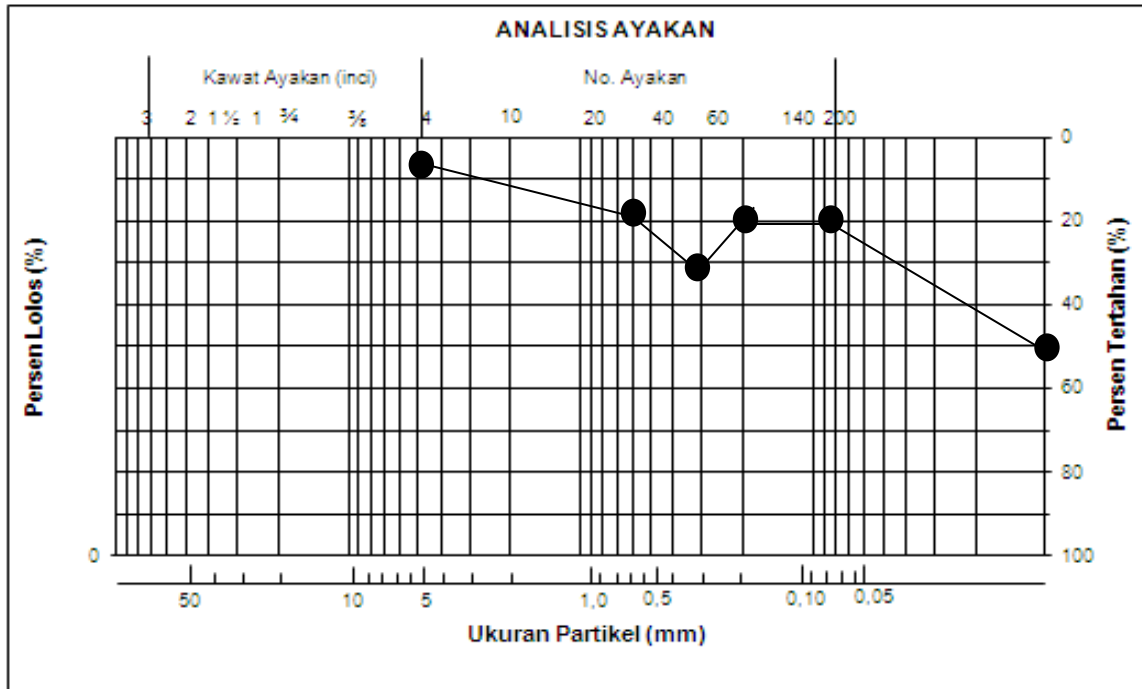
LABORATORIUM
MEKANIKA TANAH
UNIVERSITAS HASANUDDIN

LAMPIRAN F
HASIL UJI ANALISIS
SARINGAN
DAN ATTERBERG LIMIT

Proyek : Analisis Saringan / Sampel 1

Lokasi : Tawaeli – Toboli Km 23+700

**GRAFIK DISTRIBUSI UKURAN PARTIKEL KUMULATIF
SNI 6371 : 20XX**



$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \dots = \dots$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = \dots = \dots$$

Nilai C_u dan C_c pada grafik distribusi ukuran partikel kumulatif di atas adalah :

Standard		Sample		Cumulative		Cumulative	
Diameter (mm)	No.	Retained (gram)	% Retained			Passing (gram)	% Passing
4.75	4	0,00	0,00				100
2.00	10	0,00	0,00				100
1.00	18	0,00	0,00				100
0.50	35	22	11				89
0.25	60	43,8	21,7				78,1
0.15	100	24,7	12,35				87,65
0.075	200	26,1	13,05				86,95
< 0.075	>200	83,4	41,7				58,3
Berat Sampel Total (gram)		200					

Proyek : **Pengujian konsistensi atterberg / Sampel 1**

Lokasi : Tawaeli – Toboli Km 23+700

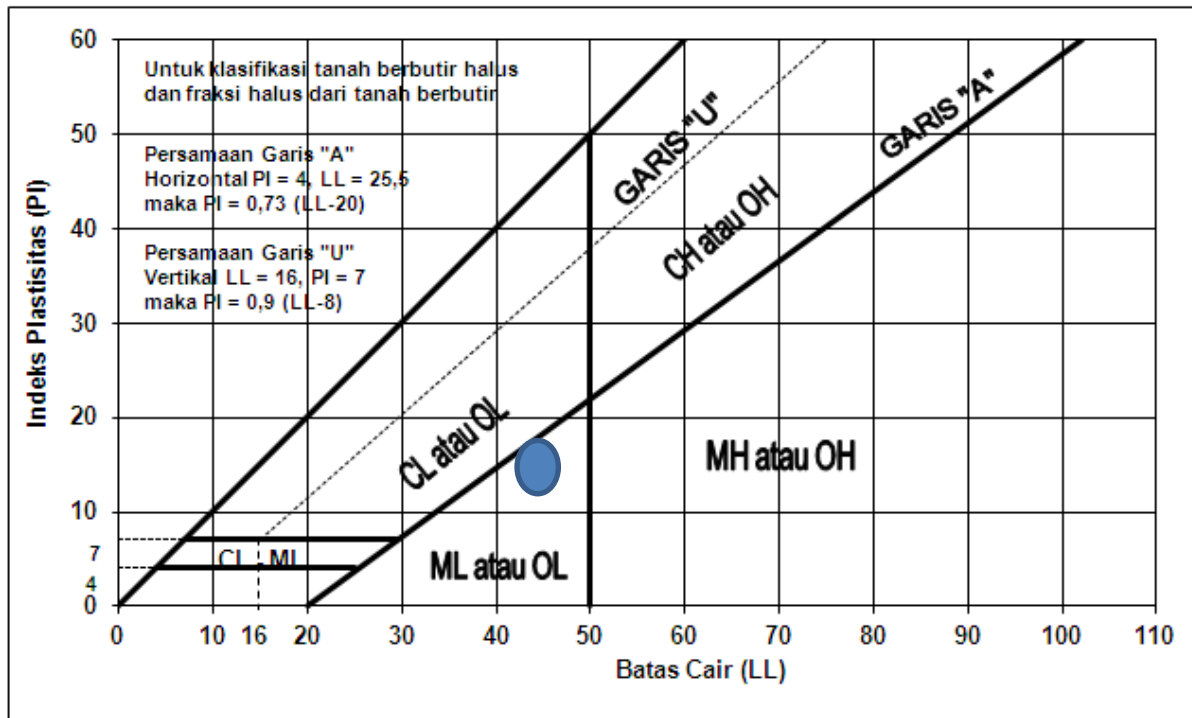
		Batas cair (LL)				Batas Plastis	
1	Banyaknya Pukulan	17	23	25	35		
2	No. cawan	S1	S2	S3	S4	S5	S6
3	Berat cawan + tanah basah (gr)	26,24	26,99	26,83	27,10	27,3	28,02
4	Berat cawan + tanah kering (gr)	22,71	23,14	23,81	24,29	24,5	25,22
5	Berat air	9,52	10,27	10,11	10,38	10,58	11,3
6	Berat cawan	16,72	16,72	16,72	16,72	16,72	16,72
7	Berat tanah kering	5,99	6,42	7,09	7,57	7,78	8,5
8	Kadar air	58,93	59,9	42,99	31,20	35,9	32,8
Batas cair mengacu pada SNI 03-1967-1990						34,45	

LL	PL	PI	Catatan:
48,25	34,45	13,8	

Proyek : Klasifikasi Tanah Berdasarkan Grafik Plastisitas / Sampel 1

Lokasi : Tawaeli – Toboli Km 23+700

GRAFIK PLASTISITAS SNI 6371 : 20XX

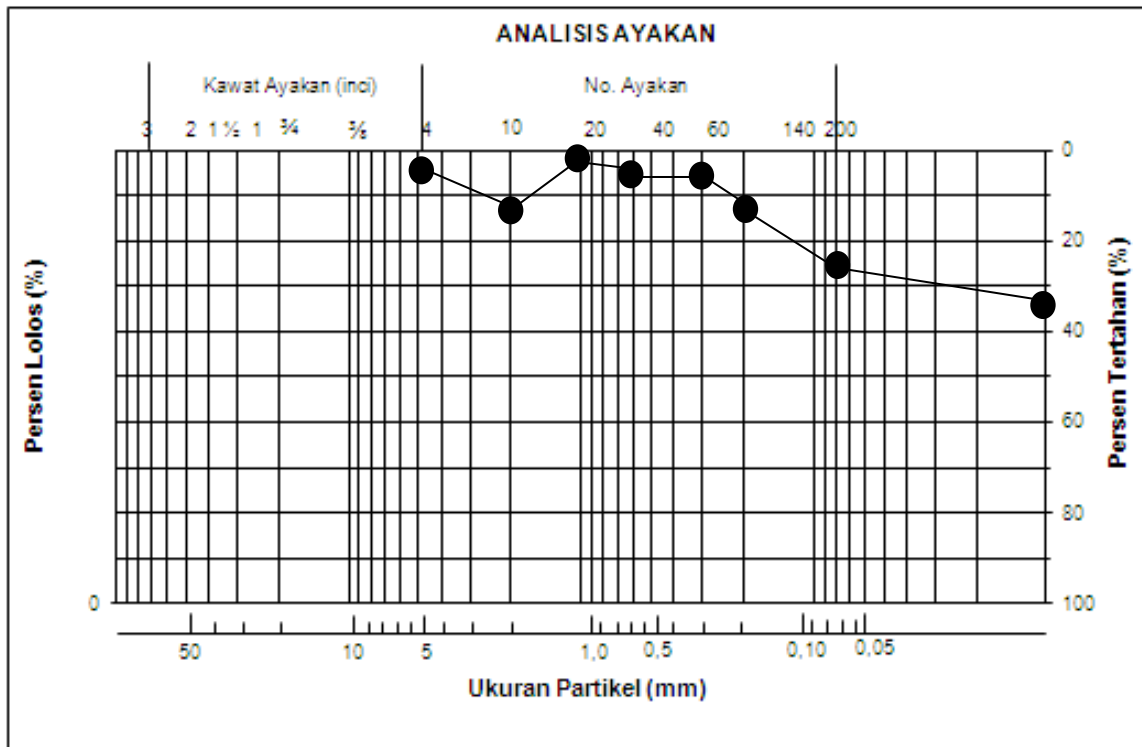


klasifikasi pada grafik plastisitas di atas adalah :

Proyek : Analisis Saringan / Sampel 2

Lokasi : Tawaeli – Toboli Km 23+700

**GRAFIK DISTRIBUSI UKURAN PARTIKEL KUMULATIF
SNI 6371 : 20XX**



$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \dots = \dots$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = \dots = \dots$$

Nilai C_u dan C_c pada grafik distribusi ukuran partikel kumulatif di atas adalah :

Standard		Sample		Cumulative		Cumulative	
Diameter (mm)	No.	Retained (gram)	% Retained			Passing (gram)	% Passing
4.75	4	6,2	3,1				96,9
2.00	10	11,7	5,85				94,15
1.00	18	1,14	0,52				99,48
0.50	35	3,65	1,82				98,17
0.25	60	28,9	14,45				88,55
0.15	100	31,46	15,73				84,27
0.075	200	54,55	27,27				72,73
< 0.075	>200	62,4	31,20				68,8
Berat Sampel Total (gram)		200					

Proyek : **Pengujian konsistensi atterberg / Sampel 2**

Lokasi : Tawaeli – Toboli Km 23+700

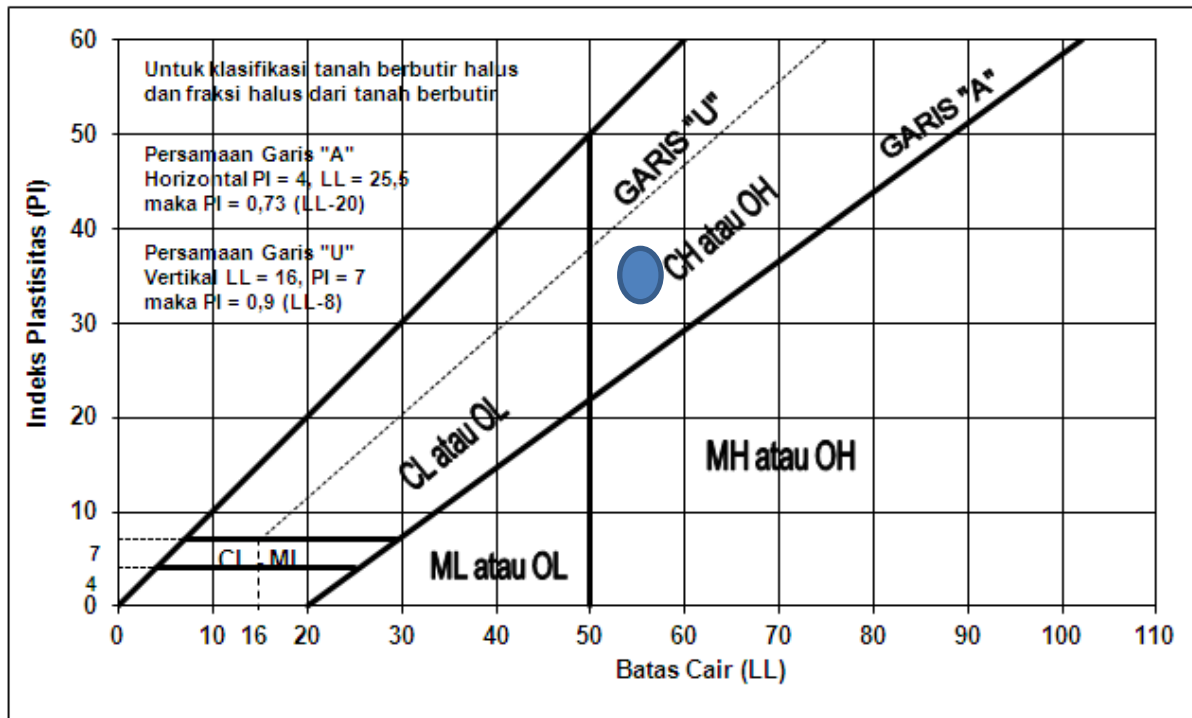
		Batas cair (LL)				Batas Plastis	
1	Banyaknya Pukulan	17	23	25	20		
2	No. cawan	S1	S2	S3	S4	S5	S6
3	Berat cawan + tanah basah (gr)	29,22	27,42	29,42	29,03	25,53	40,03
4	Berat cawan + tanah kering (gr)	24,7	23,47	24,84	24,65	23,72	38,22
5	Berat air	12,5	10,7	12,7	12,31	8,81	23,31
6	Berat cawan	16,72	16,72	16,72	16,72	16,72	16,72
7	Berat tanah kering	7,98	6,75	8,12	7,93	7	21,5
8	Kadar air	56,21	54,83	54,91	55,27	18,6	18,49
Batas cair mengacu pada SNI 03-1967-1990						18,54	

LL	PL	PI	Catatan:
55,30	18,54	36,76	

Proyek : Klasifikasi Tanah Berdasarkan Grafik Plastisitas / Sampel 2

Lokasi : Tawaeli – Toboli Km 23+700

GRAFIK PLASTISITAS SNI 6371 : 20XX

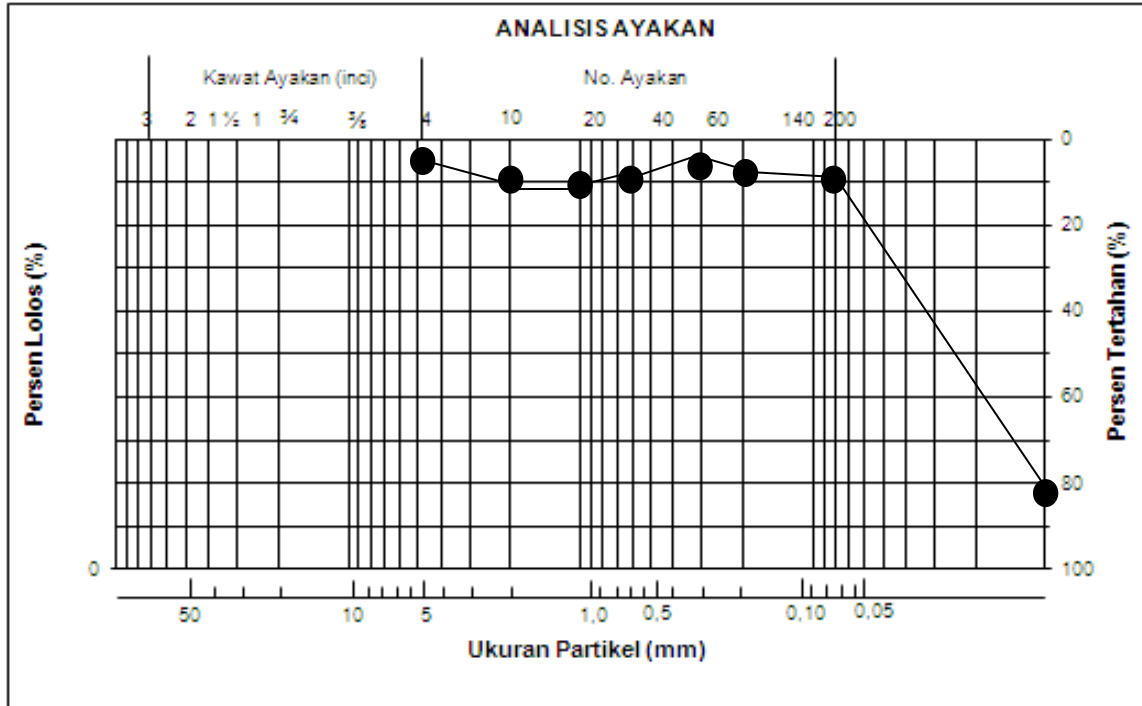


klasifikasi pada grafik plastisitas di atas adalah :

Proyek : **Analisis Saringan / Sampel 3**

Lokasi : **Tawaeli – Toboli Km 23+700**

**GRAFIK DISTRIBUSI UKURAN PARTIKEL KUMULATIF
SNI 6371 : 20XX**



$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \dots = \dots$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = \dots = \dots$$

Nilai C_u dan C_c pada grafik distribusi ukuran partikel kumulatif di atas adalah :

Standard		Sample		Cumulative		Cumulative	
Diameter (mm)	No.	Retained (gram)	% Retained			Passing (gram)	% Passing
4.75	4	1,87	0,93				99,06
2.00	10	5,13	0,52				97,44
1.00	18	13,10	6,55				93,45
0.50	35	9,24	4,62				99,38
0.25	60	2,45	1,22				95,6
0.15	100	8,81	4,40				95,6
0.075	200	13,38	6,69				93,31
< 0.075	>200	146,02	73,01				26,99
Berat Sampel Total (gram)		200					

Proyek : **Pengujian konsistensi atterberg / Sampel 3**

Lokasi: Tawaeli – Toboli Km 23+700

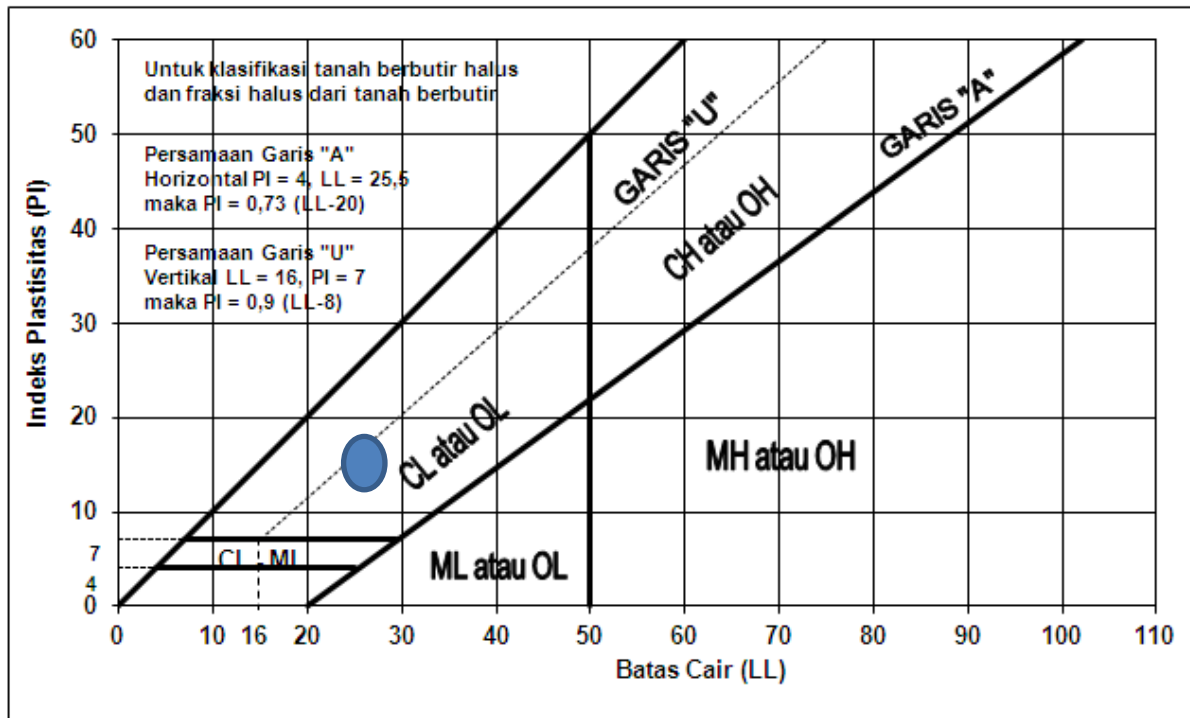
		Batas cair (LL)				Batas Plastis	
1	Banyaknya Pukulan	28	20	21	24		
2	No. cawan	S1	S2	S3	S4	S5	S6
3	Berat cawan + tanah basah (gr)	27,03	26,91	26,45	27,16	31,23	31,84
4	Berat cawan + tanah kering (gr)	24,72	24,36	24,38	24,85	24,52	30,12
5	Berat air	10,31	9,79	9,73	10,44	14,51	15,12
6	Berat cawan	16,72	16,72	16,72	16,72	16,72	16,72
7	Berat tanah kering	8	7,64	7,66	8,13	12,8	13,4
8	Kadar air	28,9	28,2	27,1	28,5	13,4	12,9
Batas cair mengacu pada SNI 03-1967-1990						13,19	

LL	PL	PI	Catatan:
28,17	13,15	15,02	

Proyek : Klasifikasi Tanah Berdasarkan Grafik Plastisitas / Sampel 3

Lokasi : Tawaeli – Toboli Km 23+700

GRAFIK PLASTISITAS SNI 6371 : 20XX

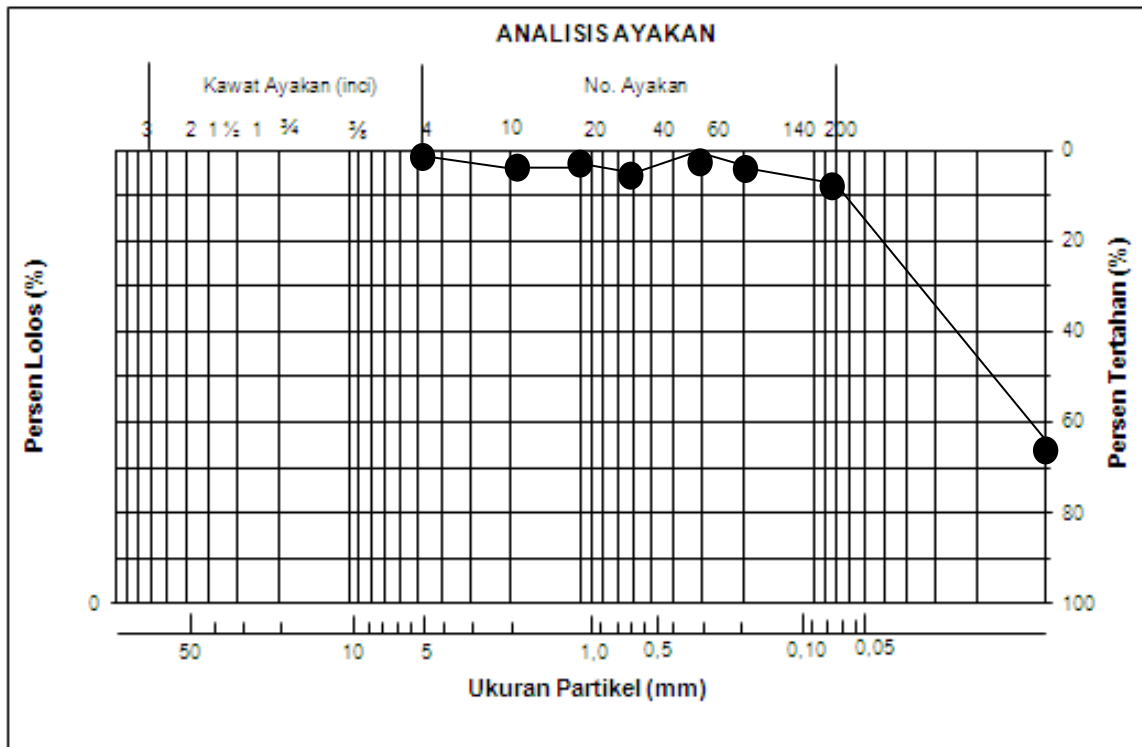


klasifikasi pada grafik plastisitas di atas adalah :

Proyek : **Analisis Saringan / Sampel 4**

Lokasi : **Tawaeli – Toboli Km 23+700**

**GRAFIK DISTRIBUSI UKURAN PARTIKEL KUMULATIF
SNI 6371 : 20XX**



$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \dots = \dots$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = \dots = \dots$$

Nilai C_u dan C_c pada grafik distribusi ukuran partikel kumulatif di atas adalah :

Standard		Sample		Cumulative		Cumulative	
Diameter (mm)	No.	Retained (gram)	% Retained			Passing (gram)	% Passing
4.75	4	0,83	0,41				99,59
2.00	10	3,4	1,7				98,13
1.00	18	9,15	4,57				95,43
0.50	35	14,87	7,43				92,57
0.25	60	1,75	0,875				99,12
0.15	100	12,89	6,44				97,55
0.075	200	20,11	10,05				89,94
< 0.075	>200	137	68,50				31,5
Berat Sampel Total (gram)		200					

Proyek : **Pengujian konsistensi atterberg / Sampel 3**

Lokasi : Tawaeli – Toboli Km 23+700

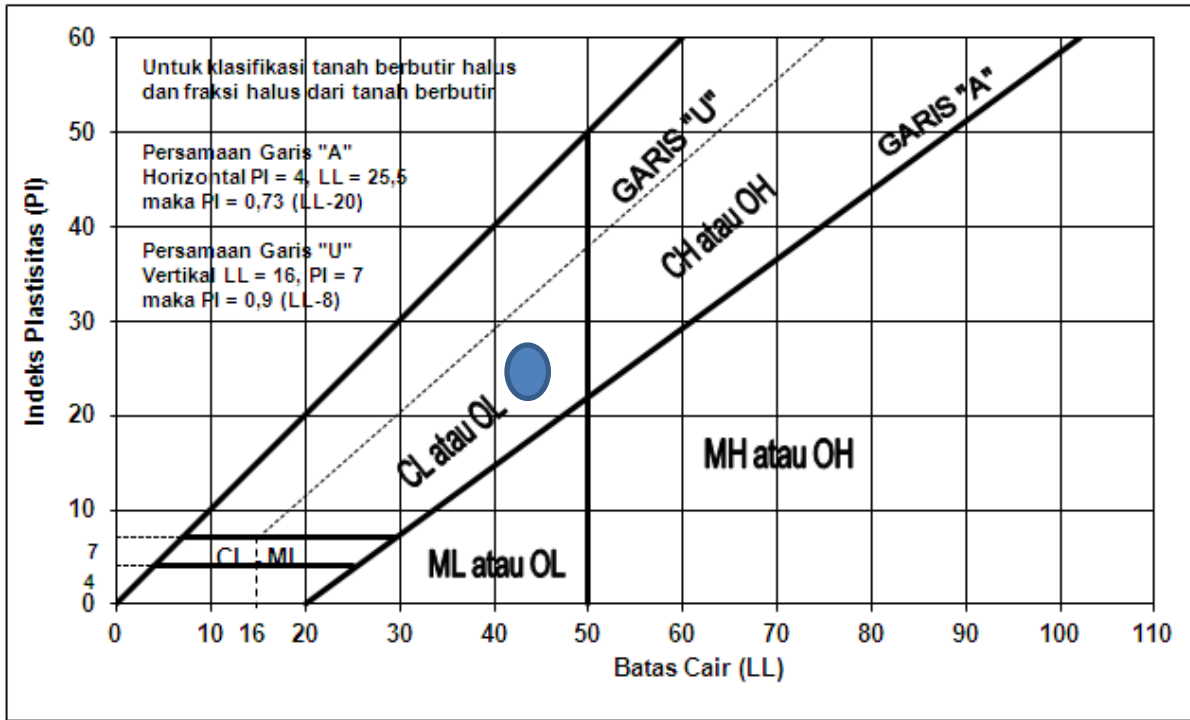
		Batas cair (LL)				Batas Plastis	
1	Banyaknya Pukulan	28	23	18	20		
2	No. cawan	S1	S2	S3	S4	S5	S6
3	Berat cawan + tanah basah (gr)	28,47	27,78	27,56	28,44	35,07	36,17
4	Berat cawan + tanah kering (gr)	24,72	24,22	24,12	24,61	31,72	32,56
5	Berat air	11,75	11,06	10,84	10,72	18,35	19,45
6	Berat cawan	16,72	16,72	16,72	16,72	16,72	16,72
7	Berat tanah kering	8	7,5	7,4	7,89	15	15,84
8	Kadar air	45,2	45,7	44,8	47,1	21,9	22,4
Batas cair mengacu pada SNI 03-1967-1990						13,19	

LL	PL	PI	Catatan:
45,7	22,15	23,55	

Proyek : Klasifikasi Tanah Berdasarkan Grafik Plastisitas / Sampel 4

Lokasi : Tawaeli – Toboli Km 23+700

GRAFIK PLASTISITAS SNI 6371 : 20XX



klasifikasi pada grafik plastisitas di atas adalah :



LABORATORIUM
MEKANIKA TANAH
UNIVERSITAS HASANUDDIN

LAMPIRAN B

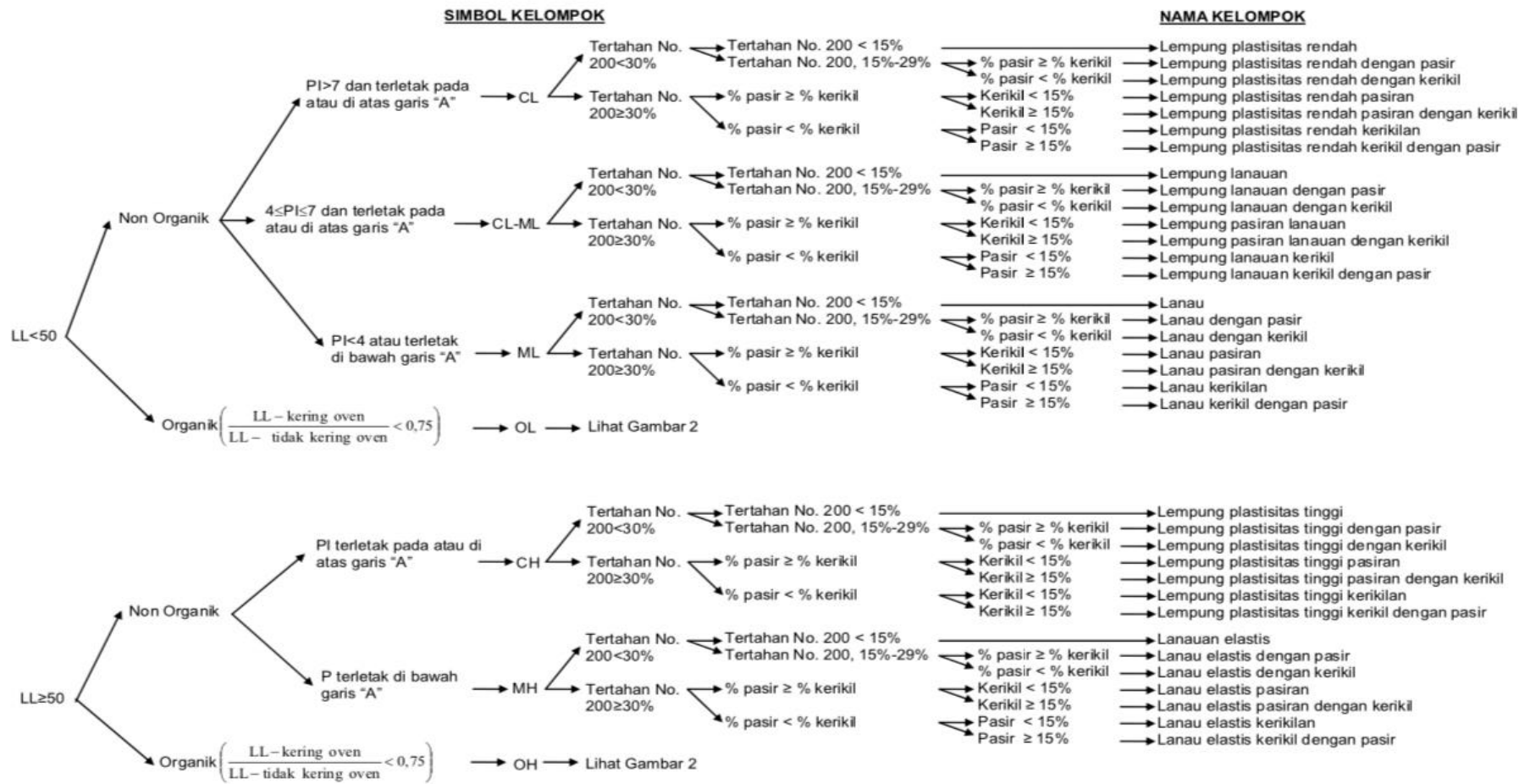
Klasifikasi Tanah SNI

6371:2015

Tabel 1 Klasifikasi Tanah SNI 6371 :2015

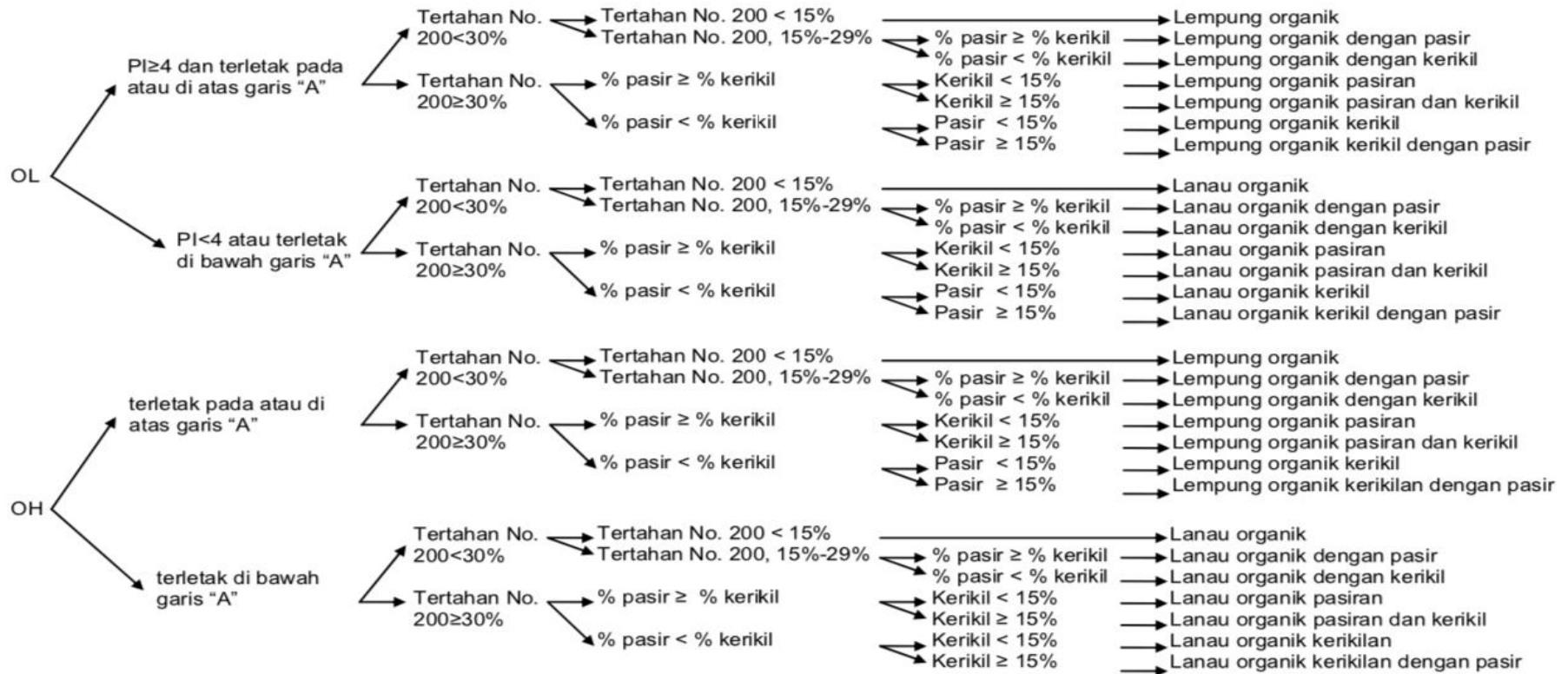
Kriteria untuk Menetapkan Simbol-Simbol Kelompok dan Nama-Nama Kelompok Menggunakan Pengujian-Pengujian Laboratorium ^A			Klasifikasi Tanah			
			Simbol Kelompok	Nama Kelompok ^B		
TANAH BERBUTIR KASAR >50% tertahan ayakan No. 200	Kerikil (Lebih besar dari 50% Fraksi kasar yang tertahan ayakan No. 4)	Kerikil bersih (Butir halus ^C < 5%)	Cu ≥ 4 dan 1 ≤ Cc ≤ 3 ^D	GW	Kerikil ^E bergradasi baik	
			Cu < 4 dan/atau Cc < 1 atau Cc > 3 ^D	GP	Kerikil ^F bergradasi jelek	
		Kerikil dengan butir halus (Butir halus ^C > 12%)	Butir halus diklasifikasikan sebagai ML atau MH		GM	Kerikil ^{E, F, G} lanauan
			Butir halus diklasifikasikan sebagai CL atau CH		GC	Kerikil ^{E, F, G} lempungan
	Pasir (Lebih besar ≥ 50% Fraksi kasar yang lolos ayakan No. 4)	Pasir bersih (Butir halus ^F < 5%)	Cu ≥ 6 dan 1 ≤ Cc ≤ 3 ^D		SW	Pasir ^F bergradasi baik
			Cu < 6 dan/atau Cc < 1 atau Cc > 3 ^D		SP	Pasir ^F bergradasi jelek
	Pasir dengan butir halus (Butir halus ^F > 12%)	Butir halus diklasifikasikan sebagai ML atau MH		SM	Pasir ^{F, G, I} lanauan	
		Butir halus diklasifikasikan sebagai CL atau CH		SC	Pasir ^{F, G, I} lempungan	
TANAH BERBUTIR HALUS ≥ 50% lolos Ayakan No. 200	Lanau dan lempung Batas cair < 50	Non Organik	PI > 7 dan terletak pada atau di atas garis "A"	CL	Lempung ^{K, L, M} rendah	
			PI < 4 atau terletak di bawah garis "A"	ML	Lanau ^{K, L, M}	
		Organik	Batas cair - kering oven < 0,75	OL	Lempung ^{K, L, M, N} organik	
	Lanau dan lempung Batas cair ≥ 50	Non Organik	Batas cair – tidak kering			Lanau ^{K, L, M, O} organik
			PI terletak pada atau di atas garis "A"	CH	Lempung ^{K, L, M} tinggi	
		Organik	PI terletak di bawah garis "A"	MH	Lanau ^{K, L, M} elastis	
		Batas cair - kering oven < 0,75	OH	Lempung ^{K, L, M, P} organik		
		Batas cair – tidak kering			Lempung ^{K, L, M, O} organik	
TANAH BERORGANIK	Secara primer terdiri atas zat-zat organik, berwarna gelap dan berbau organik			PT	Gambut	

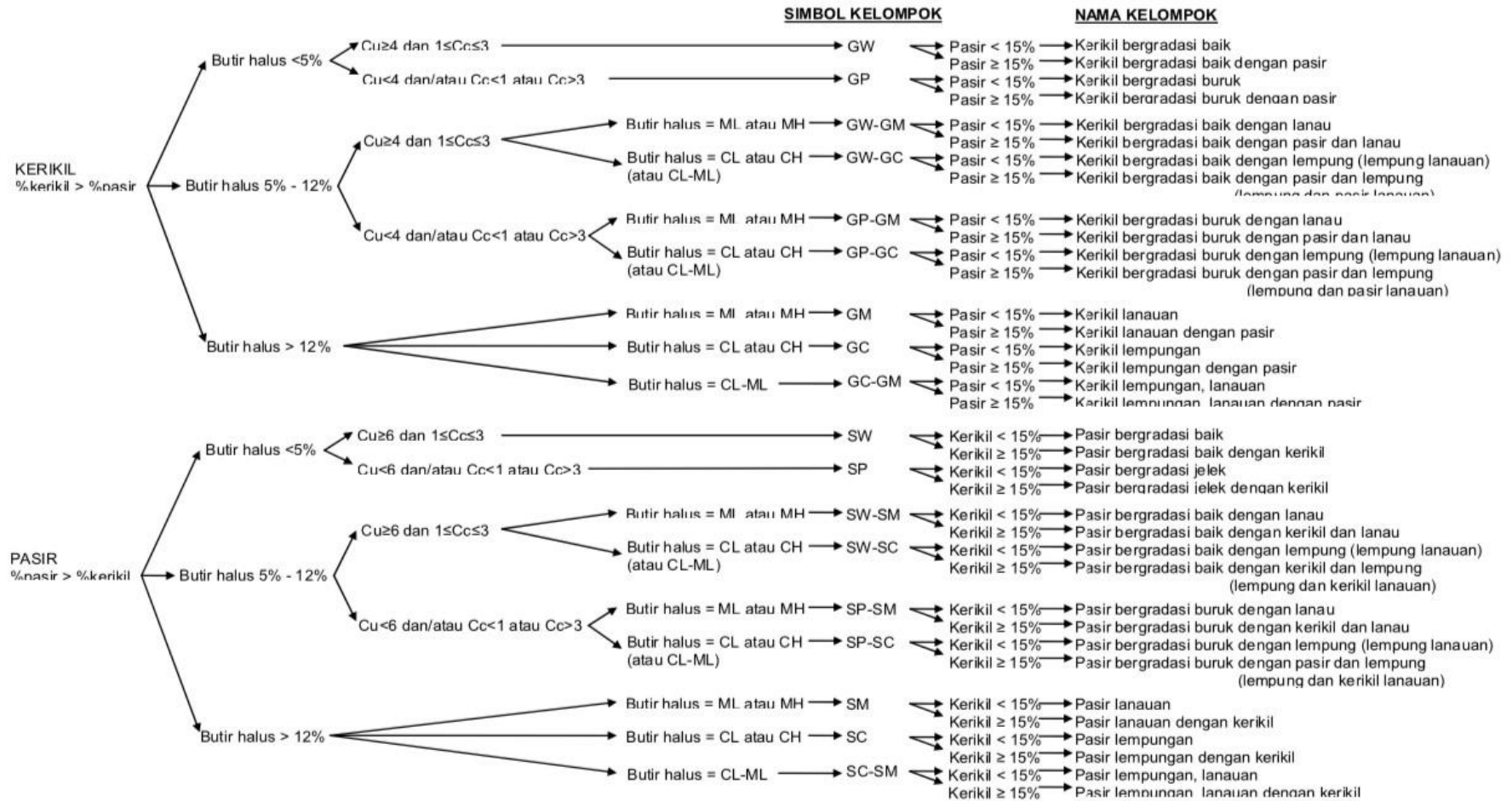
^A Berdasarkan material lolos ayakan 3 inci (75 mm)
^B Apabila contoh lapangan mengandung bongkahan atau kerakal, atau keduanya tambahkan "dengan bongkahan atau kerakal atau keduanya" pada nama kelompok
^C Kerikil-kerikil dengan butiran halus 5% sampai dengan 12% diperlukan simbol ganda:
 GW–GM Kerikil bergradasi baik dengan lanau
 GW–GC Kerikil bergradasi baik dengan lempung
 GP–GM Kerikil bergradasi jelek dengan lanau
 GP–GC Kerikil bergradasi jelek dengan lempung
^D $Cu = D_{60}/D_{10}$ $Cc = (D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$
^E Apabila tanah mengandung ≥ 15% pasir, tambahkan "dengan pasir" pada nama kelompok
^F Apabila butiran halus diklasifikasikan sebagai CL–ML gunakan simbol ganda GC–GM atau SC–SM.
^G Apabila butiran halus adalah organik, tambahkan "dengan butiran halus organik" pada nama kelompok



SIMBOL KELOMPOK

NAMA KELOMPOK





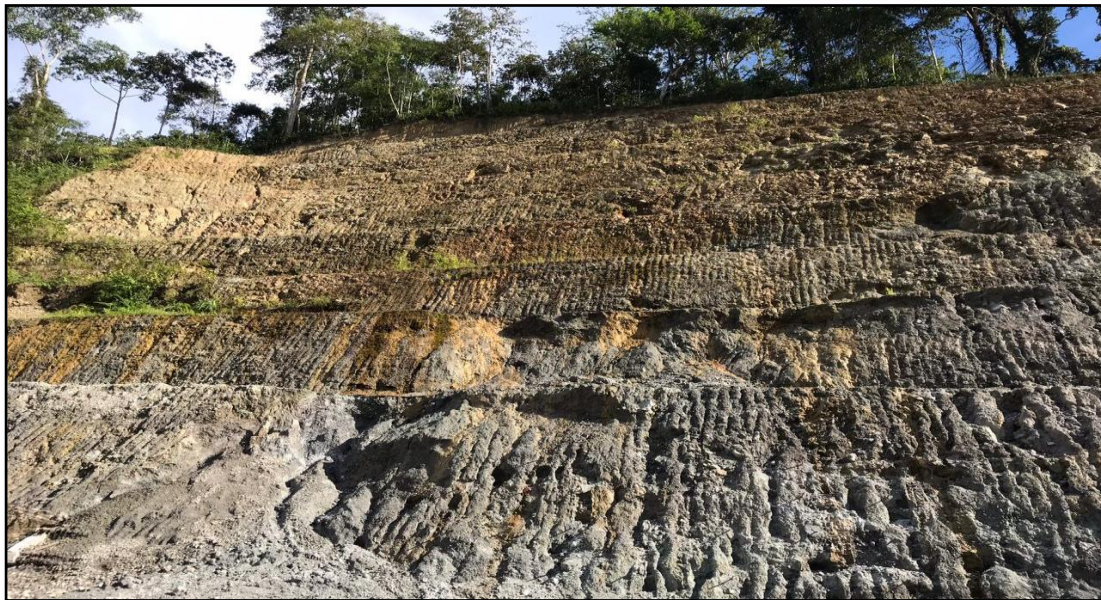
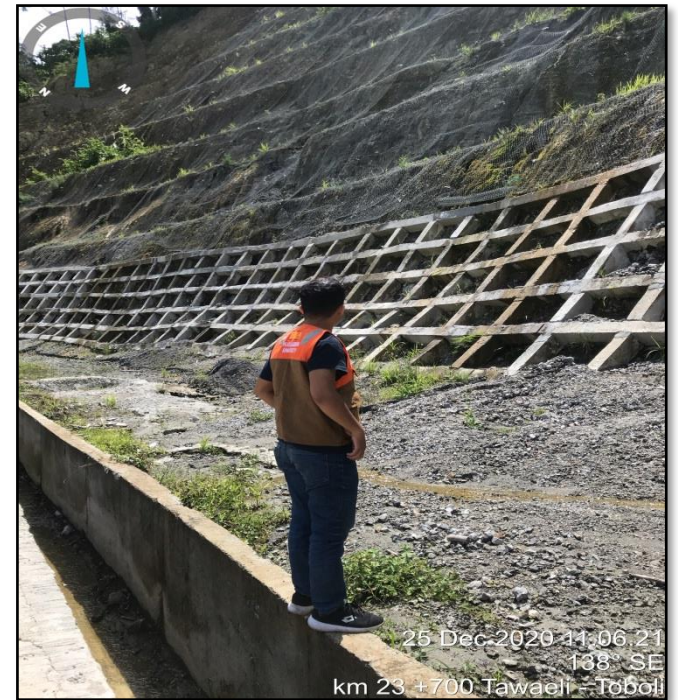


LABORATORIUM
MEKANIKA TANAH
UNIVERSITAS HASANUDDIN

LAMPIRAN G

Foto Laboratorium dan Foto Lapangan







LABORATORIUM
MEKANIKA TANAH
UNIVERSITAS HASANUDDIN

LAMPIRAN H

Dasar Perhitungan Plaxis

4 TEORI KONSOLIDASI

Dalam bab ini akan ditinjau teori konsolidasi yang digunakan dalam PLAXIS. Selain deskripsi umum dari teori Biot untuk konsolidasi terhubung (*coupled consolidation*), perhatian difokuskan pada model tanah tingkat lanjut dalam analisis konsolidasi (konsolidasi elastoplastis).

4.1 PERSAMAAN DASAR DARI KONSOLIDASI

Persamaan pengatur (*governing equation*) dari konsolidasi yang digunakan dalam PLAXIS mengikuti teori Biot (Biot, 1956). Hukum Darcy untuk aliran fluida dan perilaku elastis dari butiran tanah juga digunakan dalam asumsi. Formulasi didasarkan pada teori regangan kecil. Menurut prinsip dari Terzaghi, tegangan dibedakan menjadi tegangan efektif dan tekanan air pori :

$$\underline{\sigma} = \underline{\sigma}' + \underline{m} \cdot (p_{stabil} + p_{berlebih}) \quad (4.1)$$

dimana :

$$\underline{\sigma} = (\sigma_{xx} \ \sigma_{yy} \ \sigma_{zz} \ \sigma_{xy} \ \sigma_{yz} \ \sigma_{zx})^T \text{ dan } \underline{m} = (1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0)^T \quad (4.2)$$

$\underline{\sigma}$ adalah vektor tegangan total, $\underline{\sigma}'$ memuat tegangan efektif, $p_{berlebih}$ adalah tekanan air pori berlebih dan \underline{m} adalah vektor yang berisi nilai satu untuk komponen tegangan normal dan nol untuk komponen tegangan geser. Solusi statis (*steady state solution*) pada akhir dari proses konsolidasi dinotasikan sebagai p_{stabil} . Di dalam PLAXIS, p_{stabil} didefinisikan sebagai :

$$p_{stabil} = \Sigma weight \cdot p_{masuk} \quad (4.3)$$

dimana p_{masuk} adalah tekanan air pori yang dihitung dalam program masukan berdasarkan garis freatik atau berdasarkan perhitungan aliran air tanah. Perhatikan bahwa di dalam PLAXIS tegangan yang bersifat kompresif atau tekan dianggap negatif, dan berlaku juga terhadap tegangan efektif maupun tekanan air pori. Pada kenyataannya, akan lebih tepat untuk menggolongkan $p_{berlebih}$ dan p_{stabil} sebagai tegangan pori daripada tekanan. Namun demikian, istilah tekanan air pori tetap digunakan, walaupun akan mempunyai nilai positif untuk tegangan tarik.

Persamaan konstitutif dituliskan dalam bentuk peningkatan. Dengan menotasikan peningkatan tegangan efektif sebagai $\underline{\sigma}'$ dan peningkatan regangan sebagai $\underline{\epsilon}$, maka persamaan konstitutif adalah :

$$\underline{\sigma}' = \underline{M} \cdot \underline{\epsilon} \quad (4.4)$$

dimana :

$$\underline{\epsilon} = (\dot{\epsilon}_{xx} \ \dot{\epsilon}_{yy} \ \dot{\epsilon}_{zz} \ \dot{\epsilon}_{xy} \ \dot{\epsilon}_{yz} \ \dot{\epsilon}_{zx})^T \quad (4.5)$$

dan \underline{M} menyatakan matriks kekakuan material.

4.2 DISKRETISASI ELEMEN HINGGA

Untuk menerapkan pendekatan elemen hingga, digunakan notasi standar berikut :

$$\underline{u} = \underline{N} \cdot \underline{v} \quad \underline{p} = \underline{N} \cdot \underline{p}_n \quad \underline{\varepsilon} = \underline{B} \cdot \underline{v} \quad (4.6)$$

dimana \underline{v} adalah vektor perpindahan titik nodal, \underline{p}_n adalah vektor tekanan air pori, \underline{u} adalah vektor perpindahan menerus (*continuous displacement vector*) di dalam sebuah elemen dan \underline{p} adalah tekanan air pori (berlebih). Matriks \underline{N} memuat fungsi interpolasi dan \underline{B} adalah matriks interpolasi regangan.

Secara umum fungsi interpolasi untuk perpindahan dapat berbeda dari fungsi interpolasi untuk tekanan air pori. Dalam PLAXIS, namun demikian, fungsi yang sama digunakan untuk perpindahan dan tekanan air pori.

Dimulai dari persamaan peningkatan keseimbangan (*incremental equilibrium equation*) dan dengan menerapkan pendekatan elemen hingga di atas, akan diperoleh :

$$\int \underline{B}^T d\sigma dV = \int \underline{N}^T df dV + \int \underline{N}^T dt dS + r_0 \quad (4.7)$$

dengan :

$$r_0 = \int \underline{N}^T \cdot f_0 dV + \int \underline{N}^T \cdot t_0 dS - \int \underline{B}^T \sigma_0 dV \quad (4.8)$$

dimana f adalah gaya massa (*body force*) akibat berat sendiri dan t menyatakan traksi permukaan. Secara umum vektor gaya residual, r_0 , akan bernilai nol, tetapi solusi dari langkah beban sebelumnya mungkin tidaklah akurat. Dengan menambahkan vektor gaya residual maka prosedur perhitungan akan dapat melakukan koreksi dengan sendirinya. Suku dV mengindikasikan integrasi terhadap volume dari massa (*body*) yang ditinjau dan dS mengindikasikan integrasi permukaan.

Dengan memisahkan tegangan total menjadi tekanan air pori dan tegangan efektif, serta dengan menerapkan hubungan konstitutif, maka akan dihasilkan persamaan keseimbangan titik nodal :

$$\underline{K} d\underline{v} + \underline{L} d\underline{p}_n = d\underline{f}_n \quad (4.9)$$

dimana \underline{K} adalah matriks kekakuan, \underline{L} adalah matriks penghubung dan $d\underline{f}_n$ adalah vektor peningkatan beban :

$$\underline{K} = \int \underline{B}^T \cdot \underline{M} \cdot \underline{B} dV \quad (4.10a)$$

$$\underline{L} = \int \underline{B}^T \cdot \underline{m} \cdot \underline{N} dV \quad (4.10b)$$

$$d\underline{f}_n = \int \underline{N}^T df dV + \int \underline{N}^T dt dS \quad (4.10c)$$

Untuk melakukan formulasi permasalahan aliran, digunakan persamaan kontinuitas (*continuity equation*) dalam bentuk berikut :

$$\nabla^T \underline{R} \nabla (\gamma_w \cdot y - p_{stabil} - p) / \gamma_w - \underline{m}^T \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + n / K_w \cdot \frac{\partial p}{\partial t} = 0 \quad (4.11)$$

dimana \underline{R} adalah matriks permeabilitas :

$$\underline{R} = \begin{bmatrix} k_x & 0 \\ 0 & k_y \end{bmatrix} \quad (4.12)$$

dan n adalah porositas, K_w adalah modulus bulk dari fluida dalam pori dan γ_w adalah berat isi dari fluida dalam pori. Persamaan kontinuitas ini mengikutsertakan perjanjian tanda bahwa p_{stabil} dan p dianggap positif untuk tegangan tarik.

Karena solusi statis (*steady state*) didefinisikan oleh persamaan :

$$\nabla^T \underline{R} \nabla (\gamma_w \cdot y - p_{stabil}) / \gamma_w = 0 \quad (4.13)$$

maka persamaan kontinuitas mempunyai bentuk berikut :

$$\nabla^T \underline{R} \nabla p / \gamma_w + \underline{m}^T \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} - n / K_w \cdot \frac{\partial p}{\partial t} = 0 \quad (4.14)$$

Dengan menerapkan diskretisasi elemen hingga dengan menggunakan prosedur Galerkin dan mengikutsertakan kondisi batas yang ditentukan akan diperoleh :

$$-\underline{H} \cdot \underline{p}_n + \underline{L}^T \cdot \frac{d\underline{v}}{dt} - \underline{S} \cdot \frac{d\underline{p}_n}{dt} = \underline{q} \quad (4.15)$$

dimana :

$$\underline{H} = \int (\nabla \underline{N})^T \cdot \underline{R} \cdot \nabla \underline{N} / \gamma_w dV \quad \underline{S} = \int n / K_w \cdot \underline{N}^T \underline{N} dV \quad (4.16)$$

dan \underline{q} adalah suatu vektor yang berkaitan dengan aliran keluar yang ditentukan pada daerah batas. Namun dalam PLAXIS Versi 8 tidak dimungkinkan untuk mempunyai batas dengan aliran keluar tertentu yang tidak nol. Batas selalu tertutup atau terbuka dengan tekanan air pori berlebih nol. Karena itu $\underline{q} = \underline{0}$. Dalam kenyataan, modulus bulk dari air sangat tinggi sehingga kompresibilitas dari air dapat diabaikan jika dibandingkan dengan kompresibilitas tanah.

Dalam PLAXIS, modulus bulk dari fluida dalam pori dihitung secara otomatis menurut persamaan (lihat juga Manual Acuan) berikut :

$$K_w / n = \frac{3 \cdot (v_u - v)}{(1 - 2 \cdot v_u) \cdot (1 + v)} \cdot K_{skeleton} \quad (4.17)$$

dimana v_u mempunyai nilai pra-pilih 0.495. Nilai ini dapat diubah dalam program Masukan berdasarkan parameter B dari Skempton. Untuk material terdrainase dan material yang baru saja diaktifkan, modulus bulk fluida dalam pori diabaikan.

Persamaan keseimbangan dan kontinuitas dapat dinyatakan dalam suatu blok persamaan matriks berikut :

$$\begin{bmatrix} \underline{\underline{K}} & \underline{\underline{L}} \\ \underline{\underline{L}}^T & -\underline{\underline{S}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \frac{d\underline{v}}{dt} \\ \frac{d\underline{p}_n}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \underline{\underline{H}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{v} \\ \underline{p}_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{d\underline{f}_n}{dt} \\ \underline{q}_n \end{bmatrix} \quad (4.18)$$

Sebuah prosedur integrasi langkah-demi-langkah yang sederhana digunakan untuk menyelesaikan persamaan ini. Dengan menggunakan simbol Δ untuk notasi peningkatan tertentu (*finite increments*), integrasi akan menghasilkan :

$$\begin{bmatrix} \underline{\underline{K}} & \underline{\underline{L}} \\ \underline{\underline{L}}^T & -\underline{\underline{S}}^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta\underline{v} \\ \Delta\underline{p}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \Delta t \cdot \underline{\underline{H}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{v}_0 \\ \underline{p}_{n0} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta\underline{f}_n \\ \Delta t \cdot \underline{q}_n^* \end{bmatrix} \quad (4.19)$$

dimana :

$$\underline{\underline{S}}^* = \alpha \cdot \Delta t \cdot \underline{\underline{H}} + \underline{\underline{S}} \quad \underline{q}_n^* = \underline{q}_{n0} + \alpha \cdot \Delta \underline{q}_n \quad (4.20)$$

dan \underline{v}_0 serta \underline{p}_{n0} menyatakan nilai-nilai pada awal dimulainya sebuah langkah waktu. Parameter α adalah koefisien integrasi waktu. Pada umumnya, koefisien integrasi α dapat bernilai dari 0 hingga 1. Dalam PLAXIS digunakan kondisi implisit penuh dengan nilai $\alpha = 1$.

4.3 KONSOLIDASI ELASTOPLASTIS

Pada umumnya, saat model material yang non-linier digunakan, diperlukan iterasi untuk mendapatkan solusi yang benar. Akibat terjadinya plastisitas atau perilaku kekakuan yang bergantung pada tegangan, persamaan keseimbangan tidak perlu dipenuhi dengan menggunakan teknik yang dijelaskan sebelumnya. Karena itu, persamaan keseimbangan diperiksa disini. Pers. (4.9) yang merupakan persamaan keseimbangan tidak digunakan, melainkan dituliskan dalam bentuk sub-peningkatan (*sub-incremental form*) berikut :

$$\underline{\underline{K}} \cdot \delta \cdot \underline{v} + \underline{\underline{L}} \cdot \delta \cdot \underline{p}_n = \underline{r}_n \quad (4.21)$$

dimana \underline{r}_n adalah vektor gaya residual. Peningkatan perpindahan total $\Delta\underline{v}$ adalah penjumlahan dari sub-peningkatan $\delta\underline{v}$ dari seluruh iterasi dalam langkah saat ini :

$$r_n = \int \underline{N}^T \cdot f \, dV + \int \underline{N}^T \cdot t \, dS - \int \underline{B}^T \cdot \underline{\sigma} \, dV \quad (4.22)$$

dengan :

$$f = f_0 + \Delta f \quad \text{dan} \quad t = t_0 + \Delta t \quad (4.23)$$

Dalam integrasi pertama dianggap bahwa $\underline{\sigma} = \underline{\sigma}_0$, yaitu tegangan pada awal dimulainya suatu langkah. Iterasi selanjutnya digunakan berdasarkan tegangan saat ini yang dihitung dari model konstitutif yang digunakan.

4.9 REDUKSI PHI-C

Reduksi phi-c merupakan pilihan yang tersedia dalam PLAXIS untuk menghitung faktor keamanan. Pilihan ini dapat dipilih sebagai *Jenis perhitungan* yang terpisah dalam lembar-tab *Umum*. Dalam pendekatan *Reduksi phi-c*, parameter kekuatan $\tan \phi$ dan c dari tanah selanjutnya akan direduksi hingga keruntuhan tercapai. Kekuatan dari antarmuka, jika digunakan, juga akan direduksi dengan cara yang sama. Kekuatan dari obyek struktural seperti pelat dan jangkar tidak dipengaruhi oleh *Reduksi phi-c*.

Faktor pengali total ΣMsf digunakan untuk mendefinisikan parameter kekuatan tanah pada suatu tahapan tertentu dalam analisis, yaitu :

$$\Sigma Msf = \frac{\tan \phi_{\text{masukan}}}{\tan \phi_{\text{tereduksi}}} = \frac{c_{\text{masukan}}}{c_{\text{tereduksi}}}$$

dimana parameter kekuatan dengan notasi bawah (*subscript*) 'masukan' mengacu pada sifat yang dimasukkan dalam kumpulan data material dan notasi atas (*superscript*) 'reduksi' mengacu pada nilai yang direduksi yang digunakan dalam analisis. Nilai ΣMsf diatur ke 1.0 pada awal perhitungan agar seluruh kekuatan material diatur ke nilai yang belum direduksi.

Perhitungan *Reduksi phi-c* dilakukan dengan prosedur *Peningkatan beban jumlah langkah*. Peningkatan faktor pengali Msf digunakan untuk menentukan peningkatan dari reduksi kekuatan dari langkah perhitungan pertama. Peningkatan ini secara pra-pilih diatur ke 0.1, yang umumnya merupakan nilai awal yang memadai. Parameter kekuatan selanjutnya akan direduksi secara otomatis hingga seluruh *Langkah tambahan* telah digunakan. Secara pra-pilih, jumlah langkah tambahan adalah 30, tetapi nilai yang lebih besar hingga 1000 dapat digunakan jika memang diperlukan. Harus selalu diperiksa apakah langkah terakhir telah sepenuhnya menghasilkan mekanisme keruntuhan. Jika hal ini terjadi, maka faktor keamanan yang diberikan adalah :

$$FK = \frac{\text{Kekuatan yang tersedia}}{\text{Kekuatan saat runtuh}} = \text{nilai } \Sigma Msf \text{ saat runtuh}$$

Jika mekanisme keruntuhan belum sepenuhnya terbentuk, maka perhitungan harus diulang kembali dengan jumlah langkah tambahan yang lebih besar.

Untuk mendapatkan keruntuhan dari massa tanah secara akurat, diperlukan penggunaan *Kontrol panjang busur* dalam prosedur iterasi. *Toleransi kesalahan* yang digunakan juga

tidak boleh lebih dari 3%. Kedua syarat ini telah terpenuhi jika digunakan *Pengaturan standar* untuk *Prosedur iterasi*.

Saat menggunakan kombinasi *Reduksi phi-c* dengan model tanah tingkat lanjut, model-model ini akan berperilaku secara aktual sebagai model Mohr-Coulomb standar, karena perilaku kekakuan yang tergantung pada kondisi tegangan serta efek *hardening* tidak ikut diperhitungkan. Modulus kekakuan yang bergantung pada tegangan (dimana modulus ini digunakan dalam model tingkat lanjut) pada akhir dari perhitungan

LAMPIRAN A - PROSES PERHITUNGAN

Proses perhitungan elemen hingga berdasarkan matriks kekakuan elastis

Baca data masukan

Bentuk matriks kekakuan	$\underline{K} = \int \underline{B}^T \cdot \underline{D}^e \cdot \underline{B} \, dV$
Langkah baru	$i \rightarrow i + 1$
Bentuk vektor beban baru	$\underline{f}_{ex}^i = \underline{f}_{ex}^{i-1} + \Delta \underline{f}_{ex}$
Bentuk vektor reaksi	$\underline{f}_{in} = \int \underline{B}^T \cdot \underline{\sigma}_c^{i-1} \, dV$
Hitung ketidakseimbangan	$\Delta \underline{f} = \underline{f}_{ex}^i - \underline{f}_{in}$
Atur ulang peningkatan perpindahan	$\Delta \underline{v} = 0$
Iterasi baru	$j \rightarrow j + 1$
Selesaikan perpindahan	$\delta \underline{v} = \underline{K}^{-1} \cdot \Delta \underline{f}$
Perbaharui peningkatan perpindahan	$\Delta \underline{v}^j = \Delta \underline{v}^{j-1} + \delta \underline{v}$
Hitung peningkatan regangan	$\Delta \underline{\epsilon} = \underline{B} \cdot \Delta \underline{v} \quad ; \quad \delta \underline{\epsilon} = \underline{B} \cdot \delta \underline{v}$
Hitung tegangan : Elastis	$\underline{\sigma}^n = \underline{\sigma}_c^{i-1} + \underline{D}^e \cdot \Delta \underline{\epsilon}$
Keseimbangan	$\underline{\sigma}^{eq} = \underline{\sigma}_c^{i,j-1} + \underline{D}^e \cdot \delta \underline{\epsilon}$
Konstitutif	$\underline{\sigma}_c^{i,j} = \underline{\sigma}^n - \frac{\langle f(\underline{\sigma}^n) \rangle}{d} \cdot \underline{D}^e \cdot \frac{\partial \underline{g}}{\partial \underline{\sigma}}$
Bentuk vektor reaksi	$\underline{f}_{in} = \int \underline{B}^T \cdot \underline{\sigma}_c^{i,j} \, dV$
Hitung ketidakseimbangan	$\Delta \underline{f} = \underline{f}_{ex}^i - \underline{f}_{in}$
Hitung kesalahan	$e = \frac{ \Delta \underline{f} }{ \underline{f}_{ex}^i }$
Pemeriksaan akurasi	jika $e > e_{tolerated} \rightarrow$ iterasi baru
Perbaharui perpindahan	$\underline{v}^j = \underline{v}^{j-1} + \Delta \underline{v}$
Tulis data keluaran (hasil)	
Jika tidak diselesaikan \rightarrow langkah baru	

Selesai

LAMPIRAN B - SIMBOL

\underline{B}	: Matriks interpolasi regangan
\underline{D}^e	: Matriks kekakuan elastis dari material yang menyatakan hukum Hooke
f	: Fungsi leleh
f	: Vektor beban
g	: Fungsi potensial plastis
k	: Permeabilitas
K^r	: Fungsi reduksi permeabilitas
\underline{K}	: Matriks kekakuan
\underline{K}	: Matriks aliran
\underline{L}	: Operator diferensial
\underline{L}	: Matriks penghubung
\underline{M}	: Matriks kekakuan material
\underline{N}	: Matriks dengan fungsi bentuk
p	: Tekanan air pori (negatif untuk tekan)
p	: Vektor gaya massa (<i>body forces vector</i>)
q	: Debit spesifik
\underline{Q}	: Vektor dengan debit pada titik nodal
r	: Vektor tak seimbang
\underline{R}	: Matriks permeabilitas
t	: Waktu
\underline{t}	: Traksi pada batas
\underline{u}	: Vektor dengan komponen perpindahan
\underline{v}	: Vektor dengan perpindahan titik nodal
V	: Volume atau ruang
w	: Faktor bobot
γ	: Berat isi atau berat volume
$\underline{\varepsilon}$: Vektor dengan komponen regangan
λ	: Faktor pengali plastis
$\xi \eta \zeta$: Koordinat lokal
$\underline{\sigma}$: Vektor dengan komponen tegangan
ϕ	: Tinggi tekan air tanah
ω	: Konstanta integrasi (eksplisit : $\omega = 0$; implisit : $\omega = 1$)