

### *Profesi*

Dosen Teknik Sipil UBT  
Dosen Teknik Sipil UNIKALTAR  
Konsultan *Civil Engineering*

### *Riwayat Pendidikan*

S1 Teknik Sipil (1990) – UNLAM  
S2 Geoteknik (2010) – ITS  
Study Profesi Insinyur (2017) - ULM

### *Tempat/Tgl.Lahir*

Murung Pudak, 28 Januari 1971

### *Jabatan Pekerjaan*

Sekretaris Jurusan FTS-UBT (2011 - 2014)  
Kepala LPPM-UNIKALTAR (2017 - 2019)  
Kepala Laboratorium Geoteknik FT-UBT (2022 – skrng)

### *Organisasi*

Komite & Bapel Keanggotaan & Sertifikasi PII Pusat (2021 - 2024)  
Sekretaris Wilayah Persatuan Insinyur Indonesia-PII Prov. Kaltara (2021 - 2024)  
Anggota Asosiasi Dosen Republik Indonesia-ADRI (2016 – skrng)  
Anggota Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia-HATTI (2010 – skrng)  
Anggota Ikatan Asesor Profesional Indonesia-IASPRO (2022 – skrng)  
Sekretaris Kerukunan Bubuhan Banjar Kaltara-KBBKU (2022 - 2025)  
Ketua Harian Pengurus Taekwondo Indonesia Prov.Kaltara (2022 – 2025)



### *Alamat*

Jl. Skip I No. 16  
Tanjung Selor - 77212  
Kab. Bulungan - KALTARA  
Hp : 081252900070  
Phone /Fax : 0552-2024090  
e-mail : [fuadharwadi@gmail.com](mailto:fuadharwadi@gmail.com)  
[fuadharwadi@borneo.ac.id](mailto:fuadharwadi@borneo.ac.id)



# **TANTANGAN DAN UPAYA DALAM PEMBANGUNAN KONSTRUKSI INFRASTRUKTUR PADA LAHAN CLAY SHALE**

**(SEMNAS TAHUNAN X 2023 HMS FT-ULM, Banjarmasin 28 Oktober 2023)**



# PENDAHULUAN

## APA ITU CLAY SHALE ?

*Clay shale* adalah merupakan batuan sedimen yang terbentuk oleh sedimentasi tanah berbutir halus seperti lempung. *Clay shale* mempunyai ciri-ciri berupa patahan memanjang berbentuk lamina tipis atau lapisan berlapis dengan ketebalan kurang dari 1 cm yang disebut 'fissility' (Blatt dan Robert, 1996).

*Clay shale* adalah batuan elastik sedimen halus yang terdiri dari campuran lumpur yang mempunyai kepingan mineral lempung dan serpihan kecil (lanau berukuran butiran) mineral lain, terutama kuarsa dan kalsit (Idrus M. Alatas, 2020)

*Clay Shale* merupakan hasil pelapukan atau transportasi batuan sedimentasi tipe mekanik dengan material penyusun utamanya adalah berukuran lempung (Yusuf A., dkk., 2017)

*Clay shale* merupakan salah satu jenis mudrock yang memiliki kandungan mineral montmorillonite (Reeves dkk., 2006).

*Clay shale* tersebut termasuk sebagai material transisi tanah dan batuan (Deen, 1981)

*Clay shale* merupakan salah satu tanah problematik yang menyebabkan banyak terjadi kegagalan lereng di Indonesia (Jitno et al., 2019, Irsyam et al., 2007, Pratama & Arif, 2021).

## SEPERTI APA CLAY SHALE ?

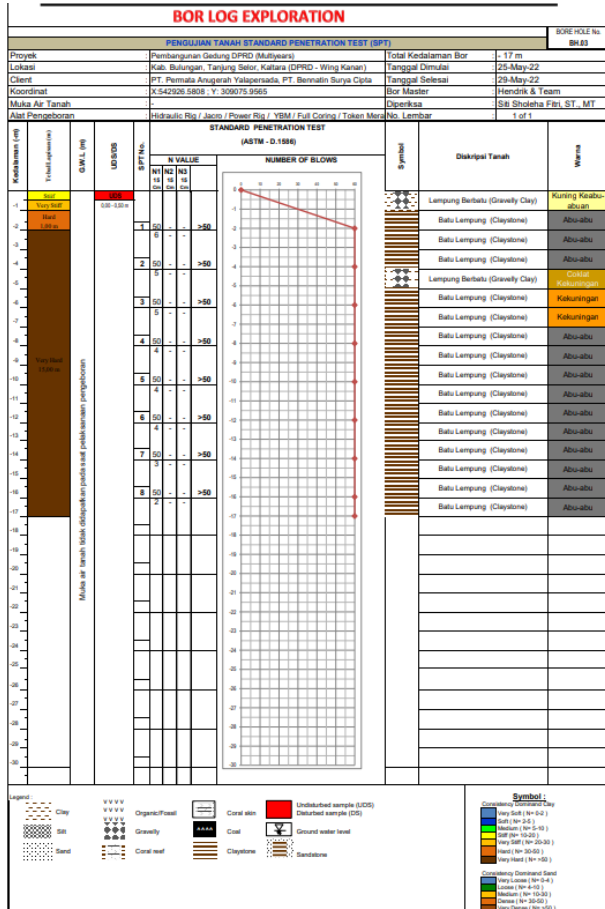
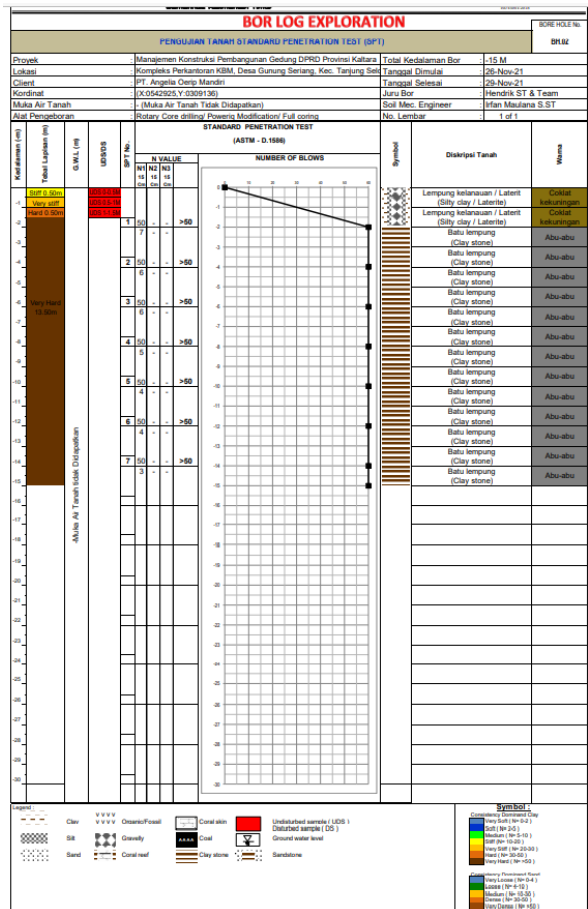
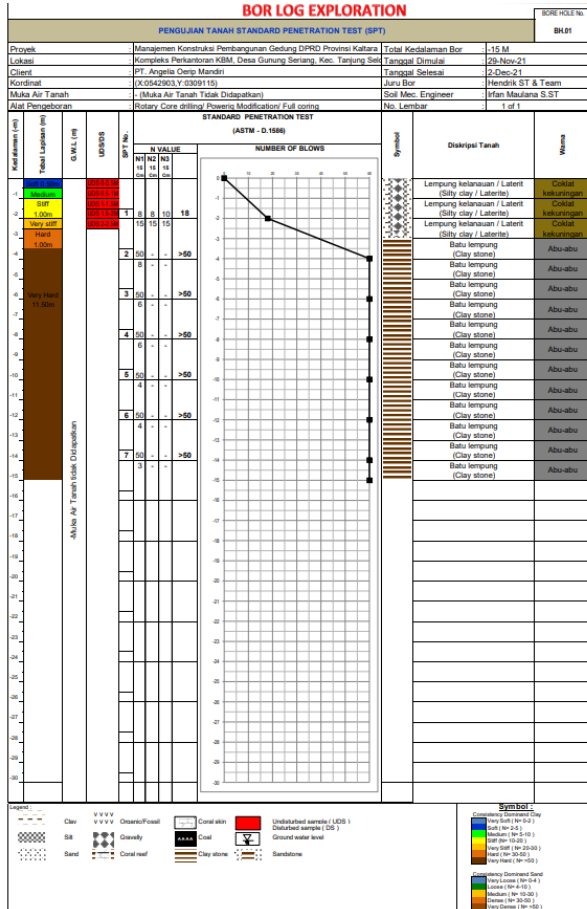
Kondisi Asli di Lapangan



Lokasi Gunung Seriang – Tanjung Selor (KALTARA, April 2022)



# SOIL INVESTIGATION



**CLAY SHALE Gunung Seriang – Tanjung Selor  
(KALTARA)**

**Kondisi Awal**



**Kondisi terbuka setelah 11 bulan**





Lokasi Gunung Seriang – Tanjung Selor (KALTARA, April 2022)

**Kondisi tanah Clay Shale yang sudah tahunan yang terbuka**





# CLAY SHALE di IKN



# Batulempung di Lokasi Istana Kepresidenan IKN

- ❑ Di kawasan Istana Kepresidenan dijumpai **Formasi Pamaluan**, yang mengandung batulempung, batulanau, dan serpih yang memiliki perilaku **deteriorasi fisik** (*slake-prone rocks*) saat batuan tersebut terekspos di permukaan.
- ❑ Deteriorasi ini tampak dikontrol oleh bidang rekahan yang terbentuk dalam sejarah geologinya (**pre-existing fractures**) serta oleh adanya perubahan **kadar air** dan/atau **tegangan**.
- ❑ Deteriorasi fisik ini mengakibatkan penurunan kekuatan batuan (**strength degradation**) dan lebih lanjut dapat mengakibatkan masalah-masalah yang berkaitan dengan **kestabilan**.



# Batulempung di Lokasi Istana Kepresidenan IKN

- ❑ Batuan ini juga mengalami **proses pelapukan** (*weathering*) yang dicirikan oleh perubahan gradual dari **batuan** yang masih **segar** (*fresh rock*) berubah ke **batuan lapuk** (*weathered rock*) hingga **tanah residual** (*residual soil*).
- ❑ Batas-batas setiap zona pelapukan tampak **spesifik untuk setiap lokasi** yang umumnya dikontrol oleh kemiringan topografi setempat.



## Batulempung di Sepanjang Jalan Sumbu Kebangsaan IKN



## CLAY SHALE di SENTUL CITY



Kondisi tanah *Clay Shale* di Sentul City yang sudah terbuka

## ADA APA DENGAN CLAY SHALE ?

*Banyak terjadi kegagalan konstruksi ----- → LONGSOR, diantaranya :*

- Jalan tol Cipularang (Cikampek-Purwakerta-Padalarang) tahun (2005, 2006, **2013**, 2020)
- Pusat Pendidikan Olah raga Hambalang Sentul Bogor (2012)
- Jalan Tol Unggaran-Bawen, Jawa Tengah (2014, 2022)
- Jalan Tol Semarang-Bawen, Jawa Tengah (2015)
- Pembangkit Listrik Tenaga Air Tulis (1995)
- Jalan raya bebas hambatan Penggaron (2015)
- Jalan raya bebas hambatan Cisomang (2017).
- Bencana longsor pada daerah Manyaran, Semarang (Yusuf, dkk, 2017)

*Clay shale sangat tidak stabil pada lereng yang datar dan terlebih di kemiringan. Hal ini memunculkan banyak masalah geoteknik seperti longsor (Alatas, dkk., 2020)*



Figure 1 Slope failure on compacted weathered clay shale embankment at Cariu, Jonggol, West Java, Indonesia (Alatas, 2020).



Figure 2 Slope failure at Toll Road Semarang-Bawen, Central Java, Indonesia (Himawan, 2011).

# HAMBALANG Project







## PLTA Tulis, Jawa Tengah (1995)

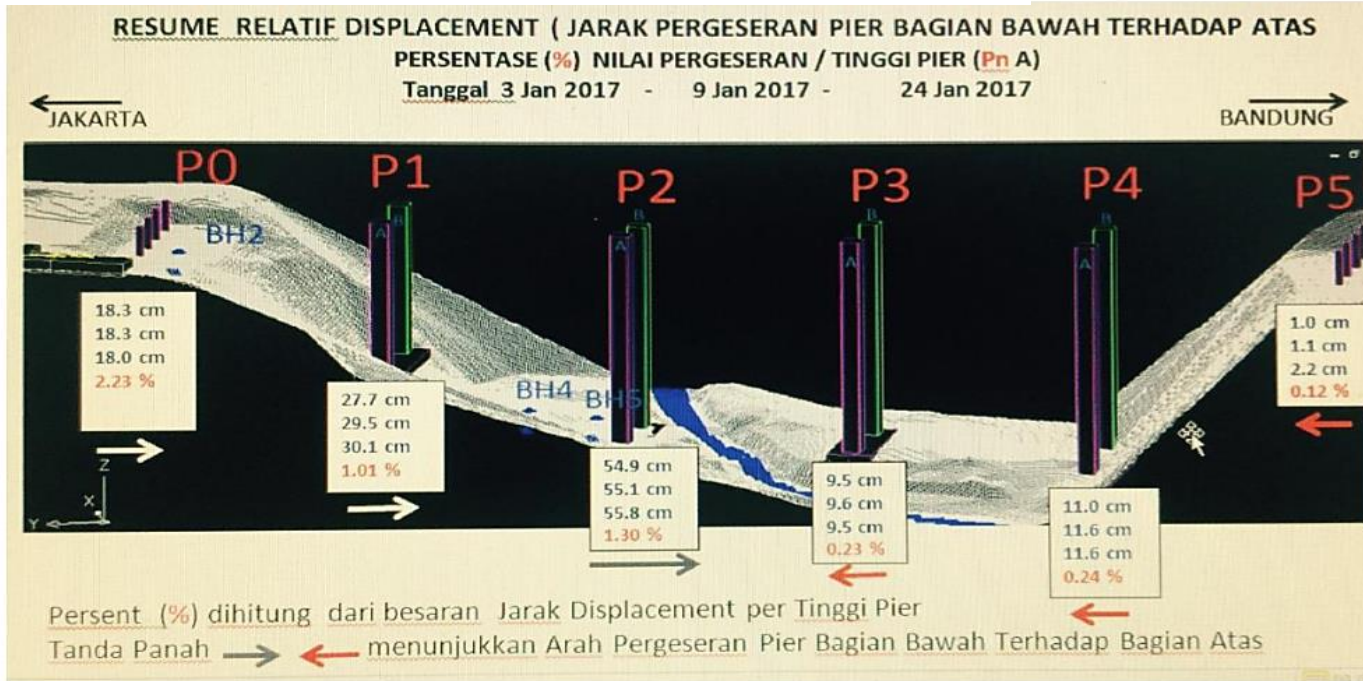


# Tol Cipularang, KM. 92+400





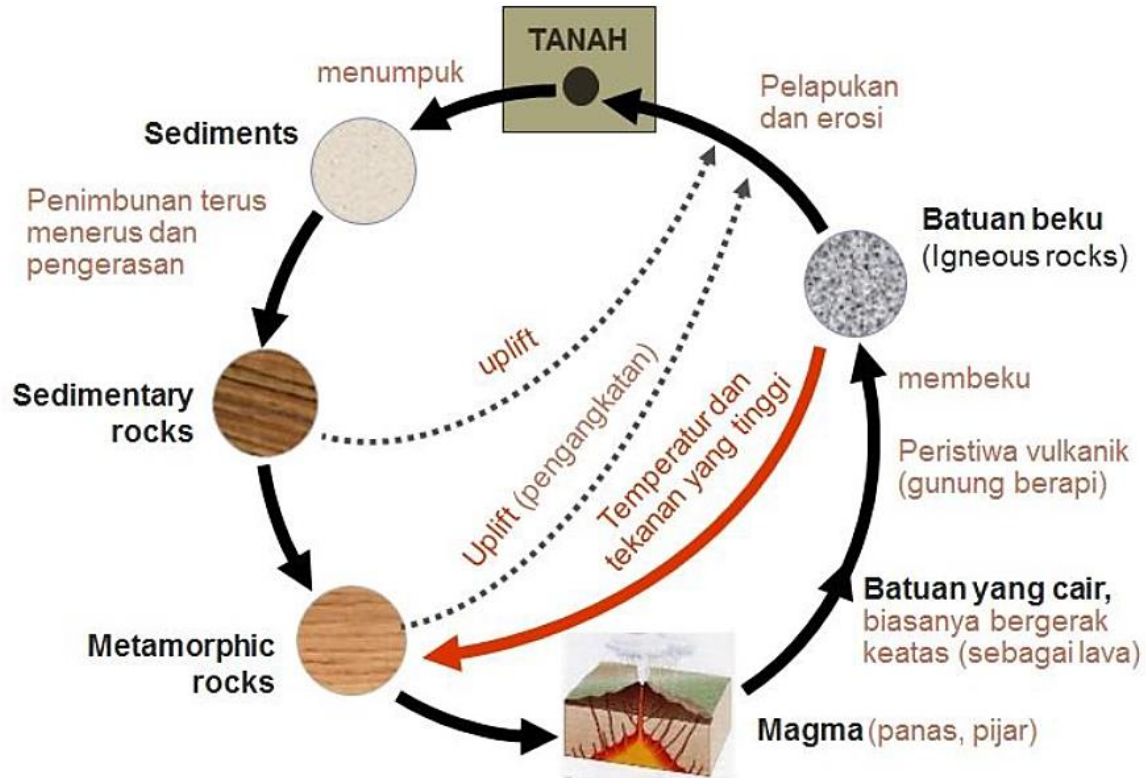
## JEMBATAN CISOMANG (Tol Cikampek – Padalarang)

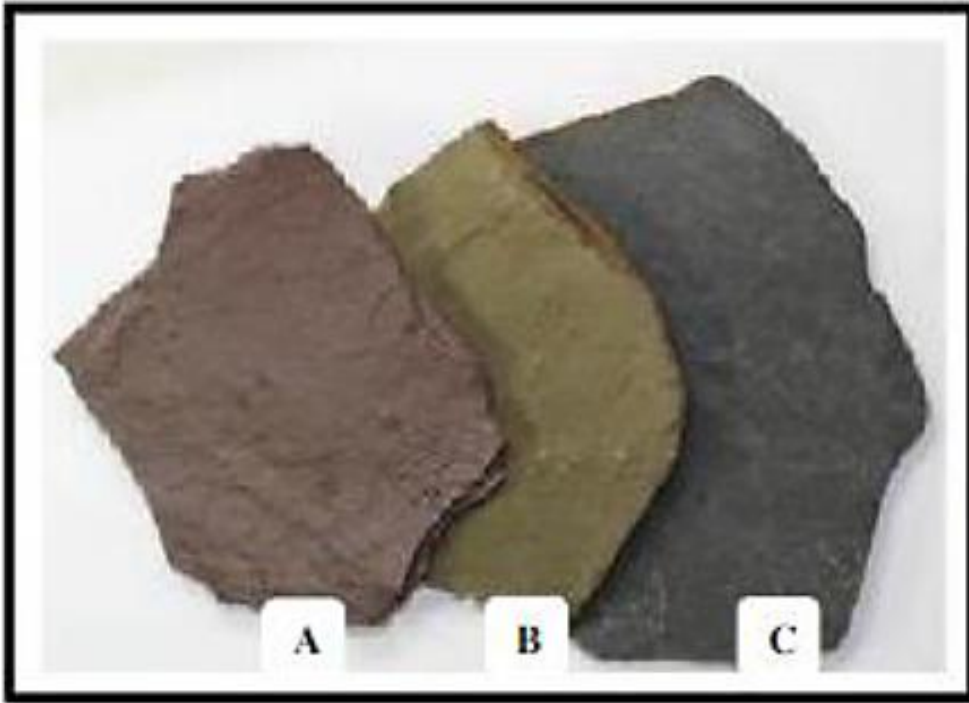


**Gambar Pergerakan Relatif Pilar Jembatan Cisomang  
(Zarkasi, dkk., 2018)**

## SEJARAH CLAY SHALE ?

- *Shale* adalah jenis batuan sedimen detrital terbentuk dari konsolidasi bahan halus-berbutir halus seperti *clay* dan lumpur. *Shale* memiliki struktur berlapis atau bertingkat sejajar dengan *bedrock*, *shale* biasanya berpori dan mengandung *hidrokarbon* tetapi umumnya tidak menunjukkan permeabilitas. Oleh karena itu, *shale* tidak membentuk *reservoar* tetapi membuat *cap rock* yang sangat baik. Jika *shale* yang rekah, itu akan memiliki potensi untuk menjadi *reservoar* (Halliburton, 2001).
- *Clay Shale* merupakan hasil pelapukan atau transportasi batuan sedimentasi tipe mekanik dengan material penyusun utamanya adalah berukuran lempung (Yusuf, dkk., 2017)
- Juga karena proses geologi (tektonik) lapisan *clay shale* ini terdorong naik ke dekat permukaan, proses penggalian akan menyebabkan *clay shale* ini terekspos ke permukaan. Karena kehilangan tekanan tanah di atasnya (*overburden pressure*) atau tekanan horizontalnya (*horizontal earth pressure*), lapisan tadi akan mulai sedikit merekah diantara lapisan-lapisannya.





Perbedaan warna pada batuan *shale*

Warna terang dan gelap pada batuan *shale* dipengaruhi dari efek perbedaan komposisi penyusun batuan serpih itu.

Batuan serpih yang berwarna hitam gelap (C) merupakan *dark shale* yang mengindikasikan memiliki kandungan *kerogen* lebih banyak daripada batuan serpih warna terang (*light shale*) (A dan B).

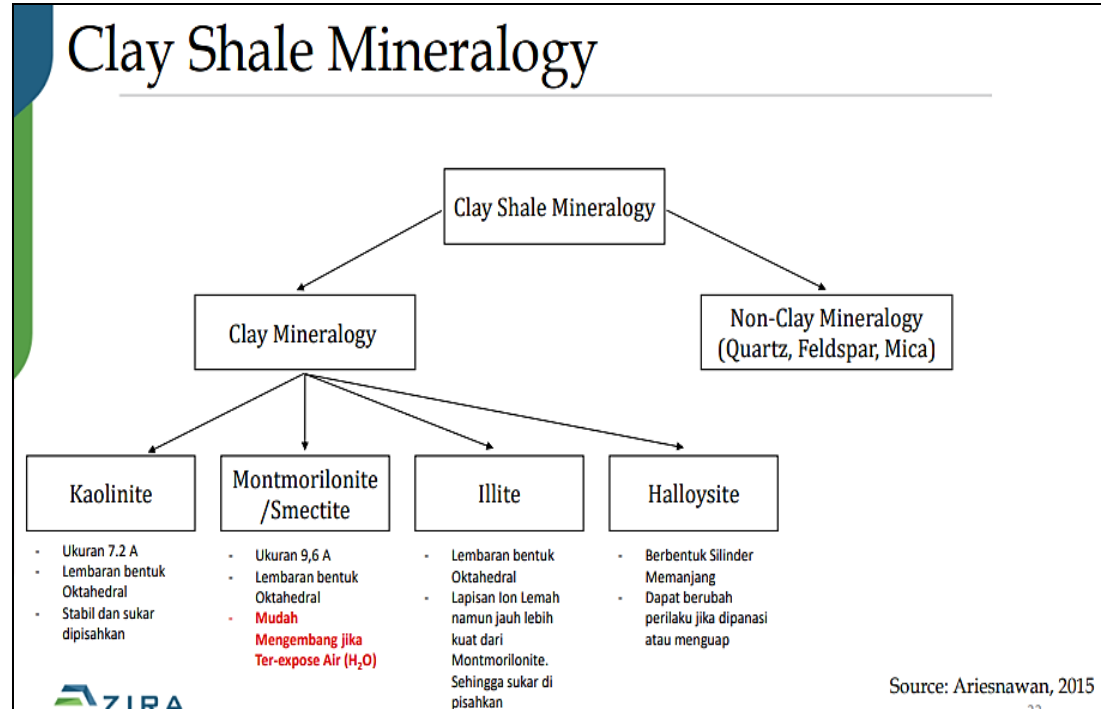
*Dark shale* memiliki lingkungan pengendapan lebih dalam daripada *light shale* dengan kondisi tanpa adanya oksigen. Oleh sebab itu *dark shale* memiliki *thermal maturity* lebih tinggi daripada *light shale*.



# **SIFAT FISIK *CLAY SHALE***

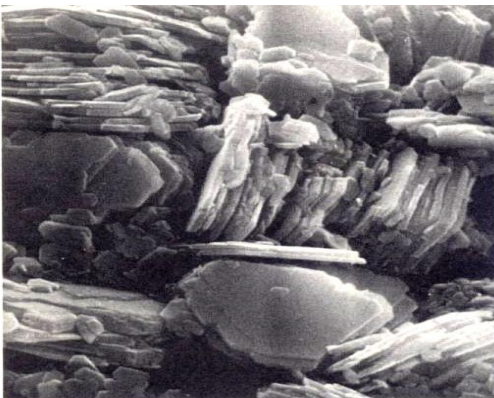
## IDENTIFIKASI CLAY SHALE ?

- Berupa *patahan memanjang* berbentuk lamina tipis atau *lapisan berlapis* dengan ketebalan kurang dari 1 cm yang disebut '*fissility*' (Blatt dan Robaert, 1996)
- Memiliki *mineral lempung* dan *serpihan kecil* (lanau berukuran butiran) mineral lain, terutama kuarsa dan kalsit. (Alatas, dkk., 2020)



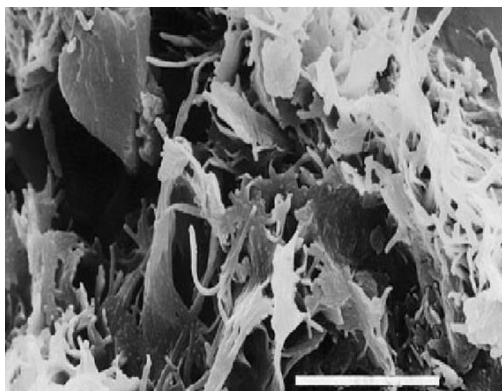


- Particle size :  $< 2\mu\text{m}$
- Particle Shape : **Platy**
- Thick of layer :  $7 \text{ \AA}$
- Specific Surface :  $\pm 20 \text{ m}^2/\text{g}$
- Specific Gravity : **2.60**
- PI : **1 – 40 %**
- Thixotropie : **Weak**
- Swelling : **NOT**



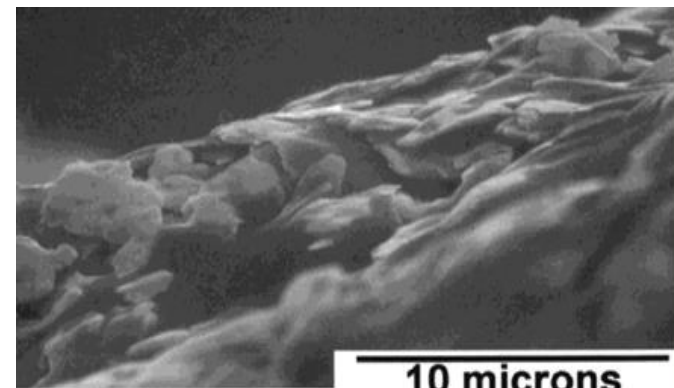
**kaolinite**

- Particle size :  $< 2\mu\text{m}$
- Particle Shape : **Platy**
- Thick of layer :  $10 - 12 \text{ \AA}$
- Specific Surface :  $\pm 115 \text{ m}^2/\text{g}$
- Specific Gravity : **2.80**
- PI : **20 – 50 %**
- Thixotropie : **Weak**
- Swelling : **WEAK**

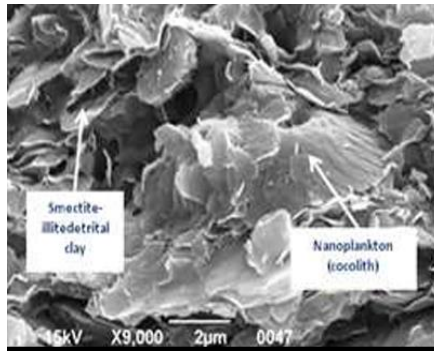
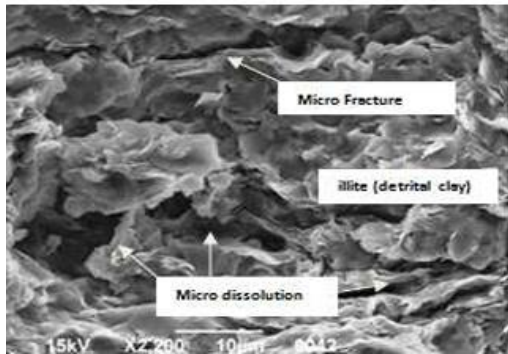
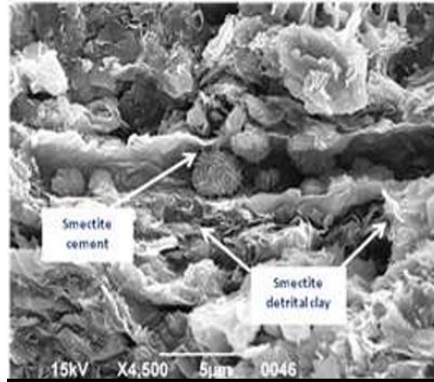
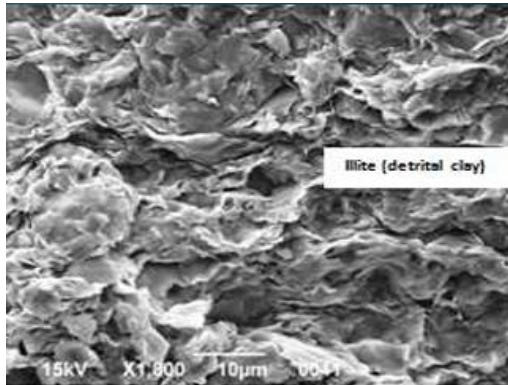


**Illite**

- Particle size :  $< 0,5 \mu\text{m}$
- Particle Shape : **Platy**
- Thick of layer :  $11 - 15 \text{ \AA}$
- Specific Surface :  $\pm 80 \text{ m}^2/\text{g}$
- Specific Gravity : **2.65 – 2.80**
- PI : **300 – 600 %**
- Thixotropie : **High**
- Swelling : **HIGH**



**Monmorillonite**

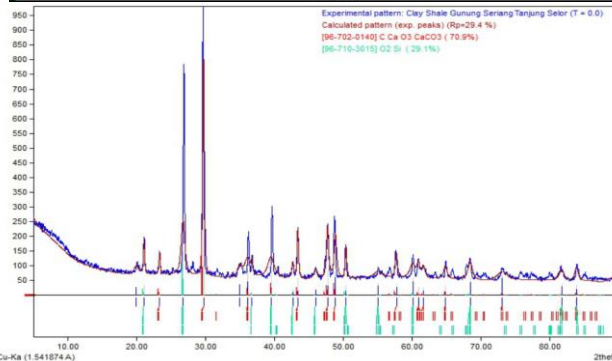
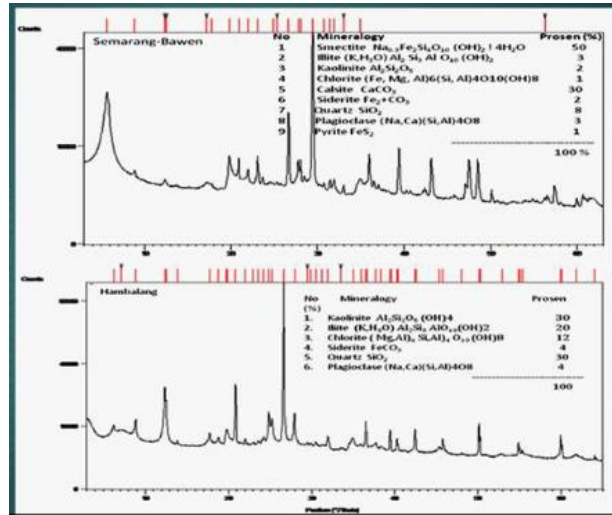


**Hambalang**

**Semarang-Bawean**



# MINERALOGI CLAY SHALE ?



LOKASI	MINERAL LEMPUNG (%)				JUMLAH (%)
	Smectite	Illite	Kaolinite	Chlorite	
Semarang	50	3	2	1	56
Hambalang	-	12	30	20	62
	MINERAL KARBONAT (%)				JUMLAH (%)
	Calcite	Dolomite	Siderite	-	
Semarang	30	-	2	-	32
Hambalang	-	-	4	-	4
	MINERAL LAIN-LAIN (%)				JUMLAH (%)
	Quartz	K-Feldspar	Plagioclase	Pyrite	
Semarang	8	-	3	1	12
Hambalang	30	-	4	-	34

Gunung Seriang, Tanjung Selor, Smectite ? Calcite = 70,9 % dan Silicon Oksida/Quartz = 29,1 %

- Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan lempung dalam *clay shale* sangat mempengaruhi karakteristik fisik, mekanik, dan dinamik. Jenis mineral lempung pada *clay shale* menyebabkan perbedaan karakteristik penyerapan air dan berat spesifik. (Ariesnawam, 2015)
- *Clay Shale* merupakan jenis tanah ekspansif yang akan mengalami pengembangan (*swelling*) atau peningkatan volume apabila berkontaksi dengan air. (Alatas dkk., 2020)
- karakteristik material *clay shale* yang mudah lapuk ketika terekspos dengan udara atau air (Gouw et al., 2019).
- *Clay shale* biasanya berpori dan mengandung *hidrokarbon* tetapi umumnya tidak menunjukkan permeabilitas (Halliburton, 2001).

## PROPERTIES FISIK CLAY SHALE ?

Paramater	Satuan	Alatas, dkk., 2022 (Cariu, Jonggol)	Sadisun, dkk., 2018 (Hambalang, Sentul City)	Sadisun, dkk., 2018 (Semarang- Bawen)	Bendungan Pamakkulu, Takalar- Sulsel	Areisnawan, 2015 (Tuban, JATIM)	Suryajaya 2019 (Citireup , Bogor)	Gunung Seriang, Kaltara
Kandungan mineral	-	<i>monmorillonite, illite, Kaolinite, calcite, quartz</i>	<i>Kaolinite, chlorite, illite siderite, quartz</i>	<i>Smectite, illite, Kaolinite, chlorite, calcite, quartz</i>	<i>kaolinite dan montmorillonite</i>	<i>monmorillonit, illite, Kaolinite, calcite, quartz</i>		<i>Smectite ? Calsite dan Quartz</i>
Kadar air (w)	%	5,16				20,24		
Spesific Gravity (Gs)	-	2,67				2,65	2,75	2,72
Berat Volume ( $\gamma$ )	gr/cm <sup>3</sup>					1,905		
Batas Cair (LL)	%	75,49	< 50			88,55	34	20,81
Batas Plastis (PL)	%	26,63				29,39	26,6	10,20
Indeks Plastis (PI)	%	48,86	4 - 12			59,17	7,2	10,61
Klasifikasi Tanah	-	CH	CL				ML	

## PROPERTIES TEKNIS CLAY SHALE ?

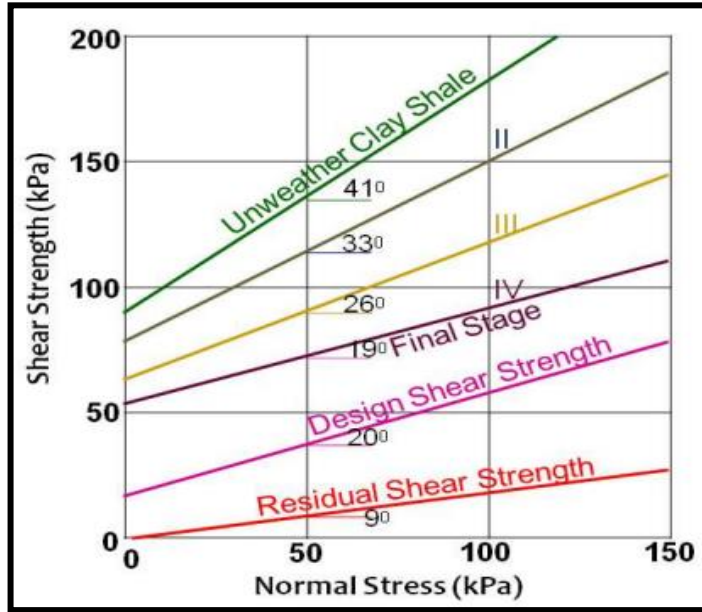
Paramater	Satuan	Alatas, dkk., 2022 (Cariu- Jonggol)	Sadisun, dkk., 2018 (Hambalang)	Sadisun, dkk., 2018 (Semarang- Bawen)	Bendungan Pamakkulu, (Takalar- Sulsel)	Areisnaw an, 2015 (Tuban, JATIM)	Gunung Seriang, Kaltara
Berat Volume tanah kering ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,94				1,584	1,90
Kadar air optimum ( $w_{opt}$ )	%	11,52					10,06
Sudut geser ( $\varphi$ )	°	13,79 ( $w_{opt}$ )			21		
Cohesi (c)	kN/m <sup>2</sup>	55 ( $w_{opt}$ )			8	8	
Kuat Tekan Bebas ( $q_u$ )							
CBR							
Durability Index ( $i_d$ )	%	91,34 (FCS-1) 48,19 (WCS-1) $w_{opt}$	51,4 - 85			21,05	
Ratio Disintegritas ( $D_R$ )			0,1467 (8d wet, 80d dry)	0,000 (8d wet, 32d dry)			

Masih progress Penelitian saat ini

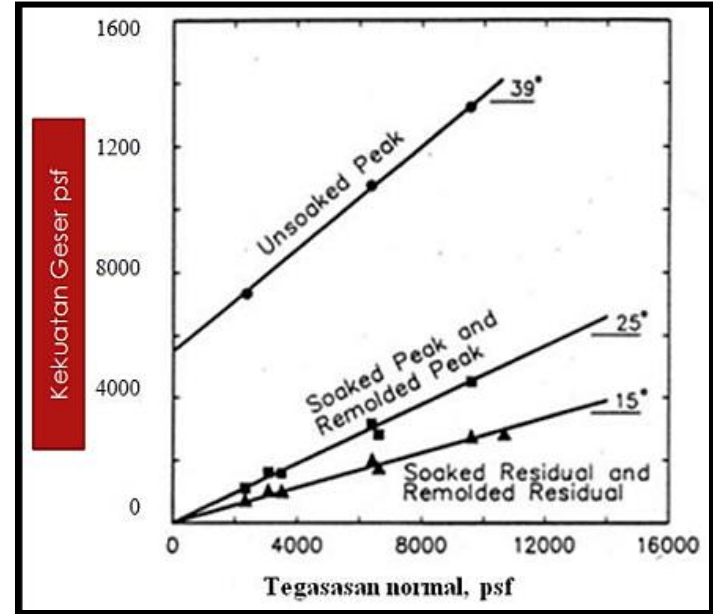


# SIFAT TEKNIS *CLAY SHALE*

- KEKUATAN GESER ( $\tau$ )
- SLAKE DURABILITY INDEX ( $I_d$ )
- RASIO DISIINTEGRITAS ( $D_R$ )

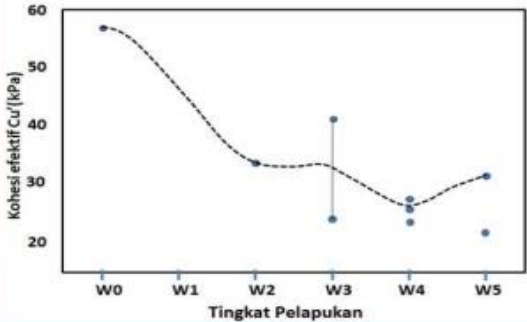
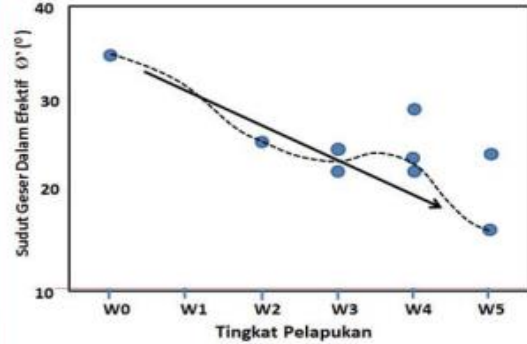


Kuat Geser Tanah *Clay Shale* (Gartung, 1986)

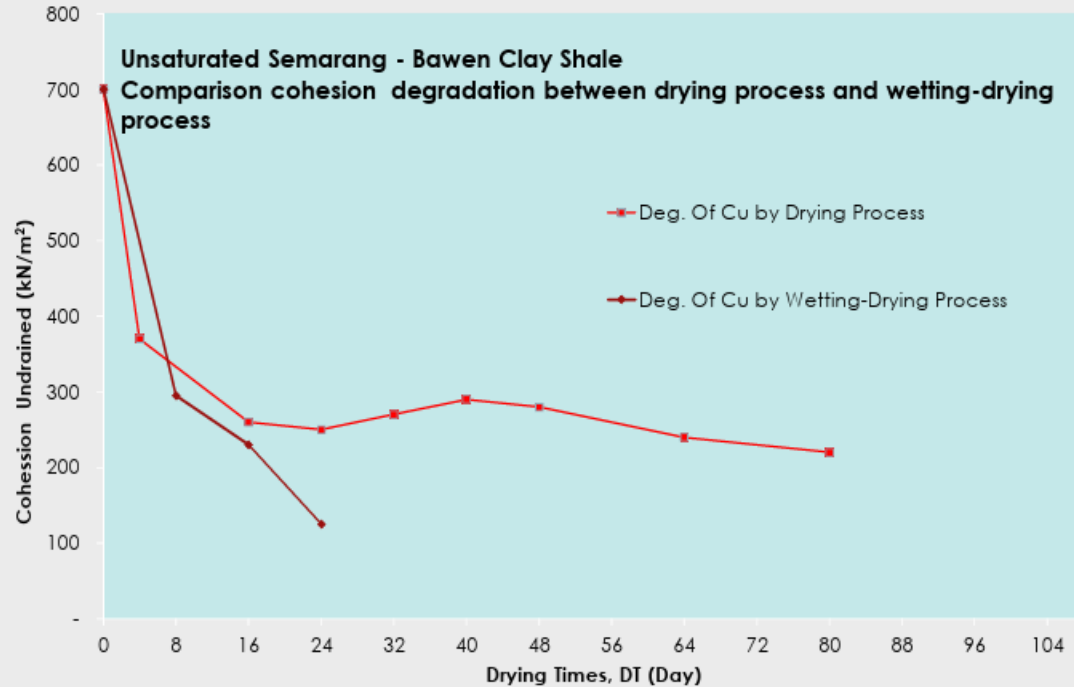


Perubahan Kuat Geser *Clay Shale* (Timothy et al., 1991)





Penurunan kuat geser efektif terhadap tingkat pelapukan clay shale (Emberhardt F. 2004)



- Kekuatan geser *Clay shale* menurun dengan cepat dikarenakan rusak akibat proses pelapukan, seperti pengeringan dan hilangnya tegangan (M Irsyam et al., 2011).
- (Gartung, 1986) melaporkan *unweather Clay shale* dapat memiliki kohesi efektif setinggi 85 kPa dengan sudut geser sebesar  $41^\circ$ .
- Dari penelitian Stark (1994) disebutkan bahwa sudut geser residual dipengaruhi parameter *Liquid Limit*.
- Penurunan kekuatan *clay shale* disebabkan oleh rekahan yang terjadi akibat kembang susut dan peralihan parameter dari kategori batuan menjadi tanah akibat pelapukan (Ariesnawan, 2015)
- Irsyam (2006), mengatakan bahwa kelongsoran pada timbunan jalan Tol Cipularang, Jawa Barat disebabkan oleh kecilnya kekuatan geser pada lapisan *clay shale* dibawahnya. Perhitungan ulang parameter kekuatan geser pada saat kondisi runtuh diperoleh nilai kohesi (c) sebesar 5 kPa dan sudut geser ( $\phi$ ) sebesar  $13^\circ$ .
- *Clay shale* pada kondisi tertutup sangat keras namun akan berkurang drastis durabilitas dan kuat gesernya bila terbuka (adanya kontak dengan air dan udara) karena mengalami degradasi. (Alatas dkk., 2020)

ASTM D 4644-87

*Slake-Durability Test* menjadi uji yang digunakan secara luas untuk menguji tingkat daya tahan (*durability*) batuan terhadap proses pelapukan.

Peralatan ini terdiri dari drum dengan diameter 140 mm dan panjang 100 mm. Pada dindingnya terdapat lubang-lubang saringan dengan diameter 2 mm.

500 gr batuan dipecahkan menjadi 10 butiran dan dimasukkan kedalam drum tersebut dan drum, kemudian drum diputar dengan kecepatan 20 putaran per menit dalam kondisi terendam dalam air. Setelah 10 menit, persentase batuan yang tertinggal didalam drum diukur dalam persen berat kering dan dinyatakan sebagai harga *Slake Durability Index* (Soetojo, 2009).

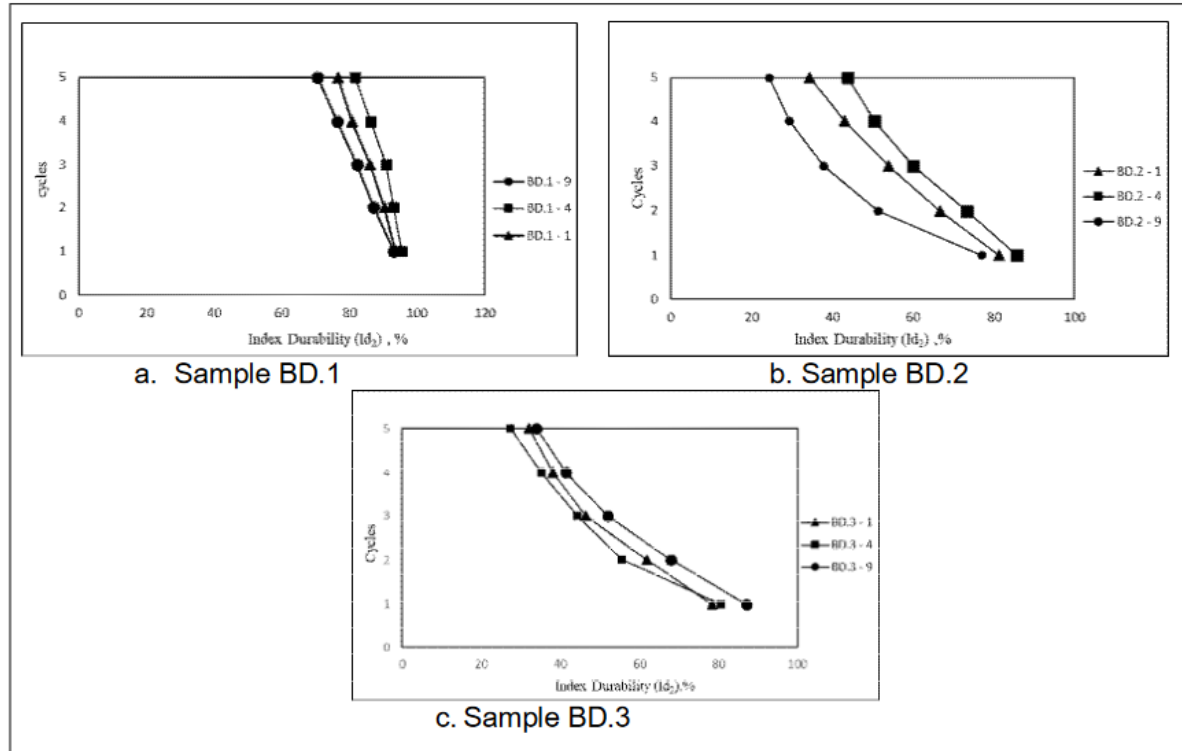


Klasifikasi Durabilitas dari Gamble 1971

Nama Grup Batuan	% Tertinggal Setelah Putaran	% Tertinggal Setelah Putaran
	1 x 10 menit ( Berat kering )	2 x 10 menit ( Berat Kering )
<i>Very high durability</i>	> 99	> 98
<i>High durability</i>	98 - 99	95 - 98
<i>Medium high durability</i>	95 - 98	85 - 95
<i>Medium durability</i>	85 - 95	60 - 85
<i>Low durability</i>	60 - 85	30 - 60
<i>Very low durability</i>	< 60	< 30

Sumber : Soetojo, 2009

Sampel = 5,15 %	Sampel = 7,27 %	Sampel = 6,59 %
Siklus 1 = 93,14 %	Siklus 1 = 87,37 %	Siklus 1 = 83,52 %
Siklus 2 = 87,25 %	Siklus 2 = 71,58 %	Siklus 2 = 65,93 %
Siklus 3 = 82,35 %	Siklus 3 = 57,89 %	Siklus 3 = 49,45 %
Siklus 4 = 76,46 %	Siklus 4 = 46,32 %	Siklus 4 = 40,66 %
Siklus 5 = 70,59 %	Siklus 5 = 36,84 %	Siklus 5 = 34,07 %
a. Sample BD-1	b. Sample BD-2	c. Sample BD-3



Hasil Pengujian Slake Durability Pada tanah Clay shale di Sentul Bogor, (Sadisun, dkk., 2018)

- William (2007) dalam penelitiannya pada *Bringelly Shale* menunjukkan bahwa semakin tinggi derajat pelapukan dan kadar air maka besar nilai UCS dan Indeks ketahanan batuan ( $I_d$ ) semakin menurun.
- Beberapa Nilai *Slake Durablity* ( $I_d$ ) :
  - di IKN sebagian sebesar diatas 90 %. (*Maraden P. GEO-SHARE Series 1, HATTI-KALTIM, 2023*)
  - di Sentul sebesar City 51,4 - 85 %. (*Sadisun, dkk., 2018*)
  - di Cariu-Bogor sebesar 91,34 %. (*Alatas, dkk., 2022*)
  - di Tuban-Jawa Timur sebesar 21,05 %. (*Ariesnawan, dkk., 2015*)

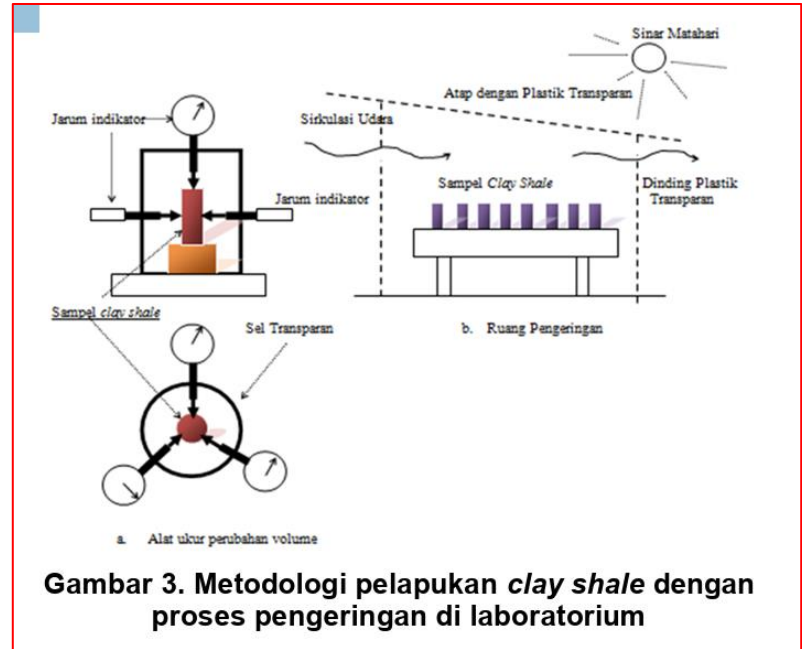
( $D_R$ ) rasio disintegritas untuk mengukur perubahan fisik clay shale akibat terjadinya proses pelapukan.

Nilai  $D_R$  berkisar antara 0 hingga 1.

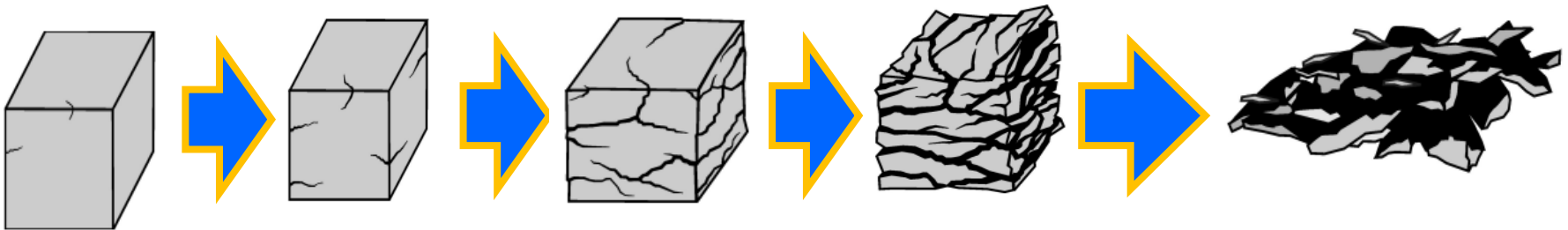
$D_R = 1$  artinya pada *clay shale* sebelum terjadi pelapukan tidak tersegmentasi menjadi butiran yang lebih kecil (*completely durable*).

$D_R = 0$  artinya *clay shale* telah seluruhnya tersegmentasi menjadi partikel-partikel yang kecil (*completely non durable*)

(Shakoor, et al., 2011)



# The Illustration of Weathering of Clay Shale



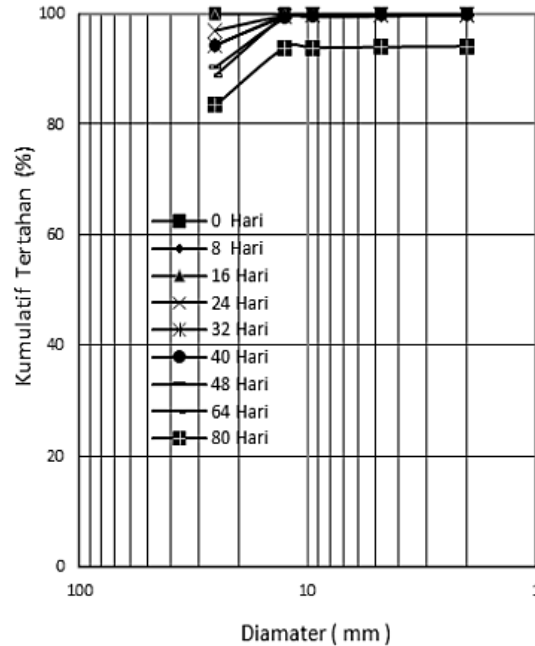
RESOURCE OF ALATAS HATTI WEBINAR, 2019



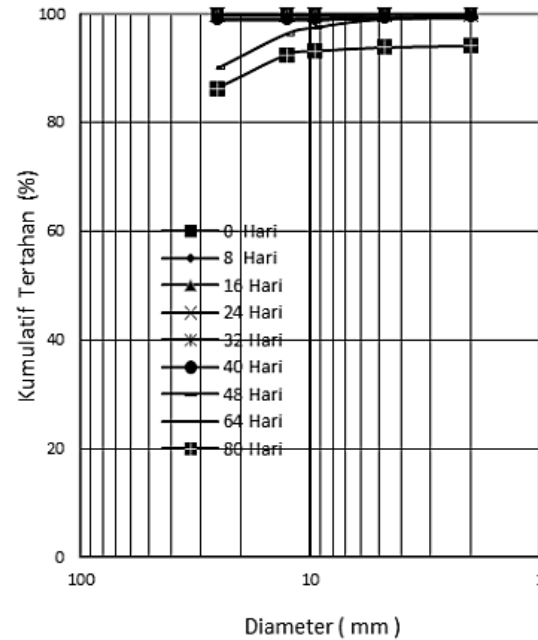
WEATHERING PROCESS





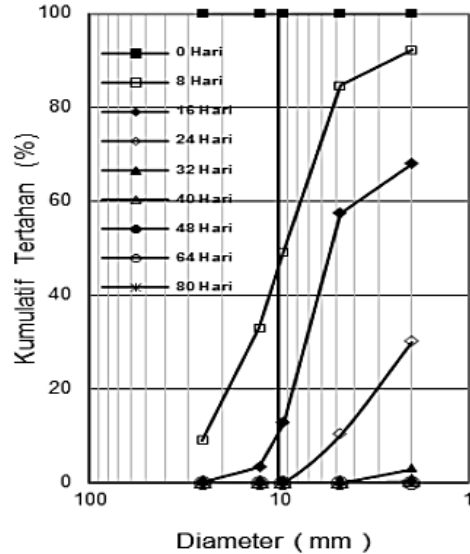


(a)

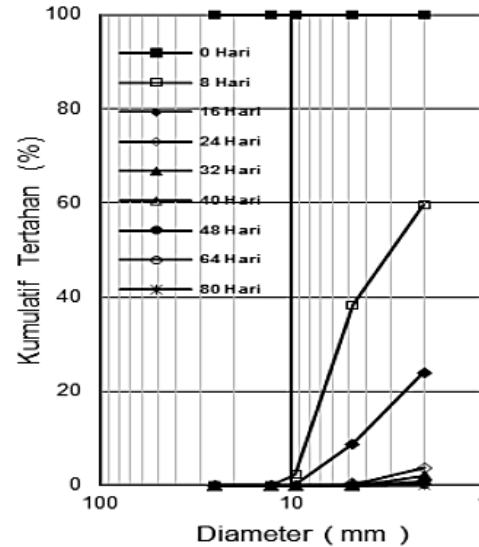


(b)

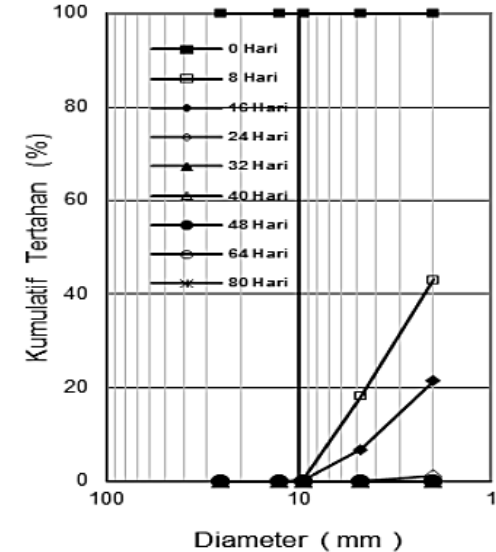
Perubahan gradasi butiran *clay shale* akibat proses pengeringan  
(a) Semarang-Bawen (b) Hambalang, (Alatas dan Simatupang, 2017)



(a)

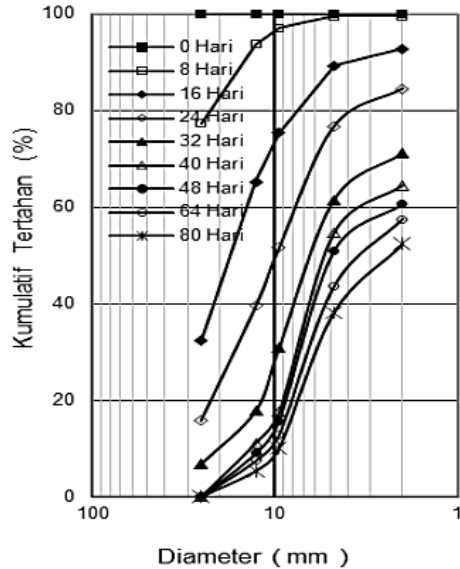


(b)

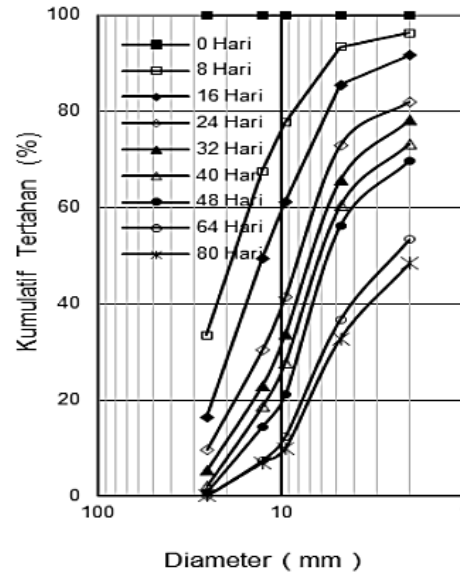


(c)

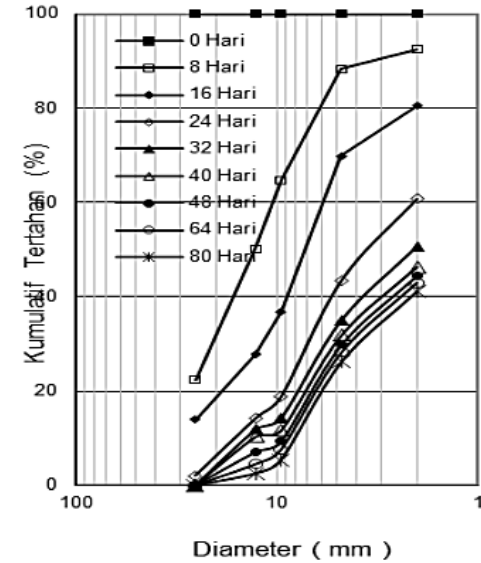
Perubahan distribusi ukuran butiran clay shale *Semarang-Bawen* akibat siklus pembasahan pengeringan (a) 1 kali pembasahan dalam 8 hari (b) 2 kali pembasahan dalam 8 hari Dan (c) 3 kali pembasahan dalam 8 hari  
(Alatas dan Simatupang, 2017)



(a)

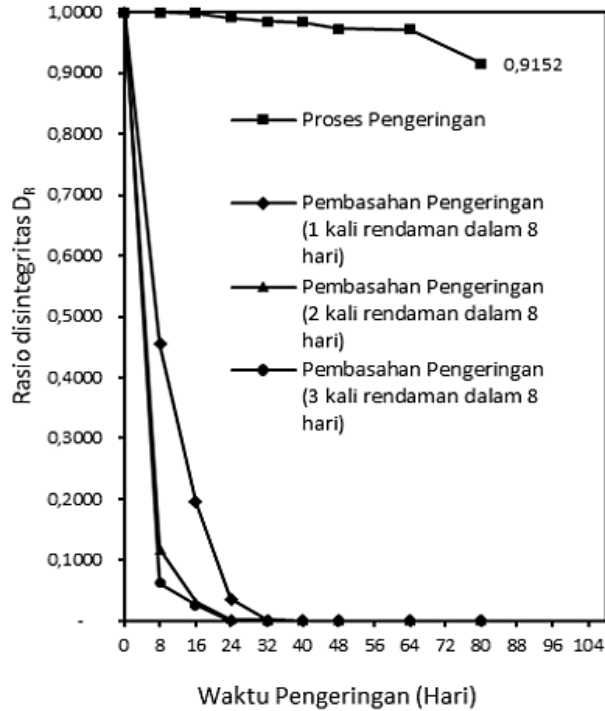


(b)

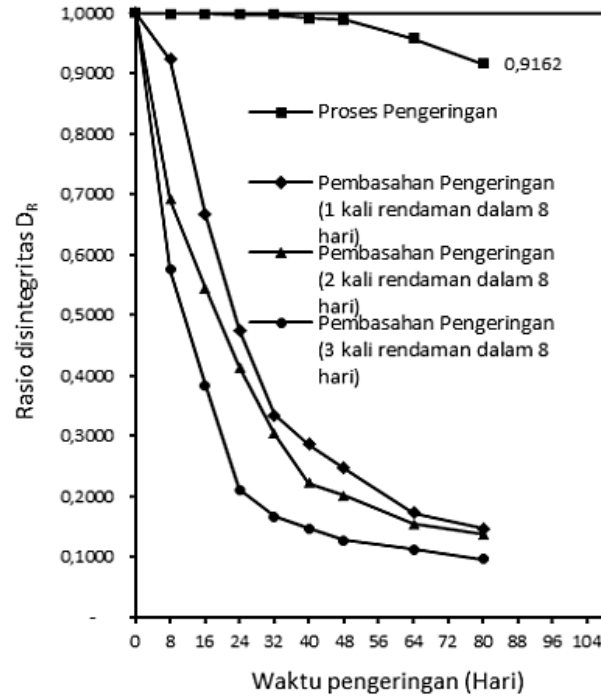


(c)

Perubahan distribusi ukuran butiran clay shale **HAMBALANG** akibat siklus pembasahan pengeringan (a) 1 kali pembasahan dalam 8 hari (b) 2 kali pembasahan dalam 8 hari Dan (c) 3 kali pembasahan dalam 8 hari (Alatas dan Simatupang, 2017)



(a)



(b)

Perbandingan perubahan DR clay shale akibat waktu pengeringan dan waktu siklus pembasahan pengeringan

(a) Semarang-Bawen

(b) Hambalang

(Alatas dan Simatupang, 2017)



# **SOLUSI KONSTRUKSI DIATAS LAHAN *CLAY SHALE***

# 1. BORED PILE

Untuk pondasi dalam dan meningkatkan stabilitas lereng dapat mempergunakan pondasi tiang bor (*Irsyam, dkk., 2010*)



(a)

KM 97+500 Cipularang Toll



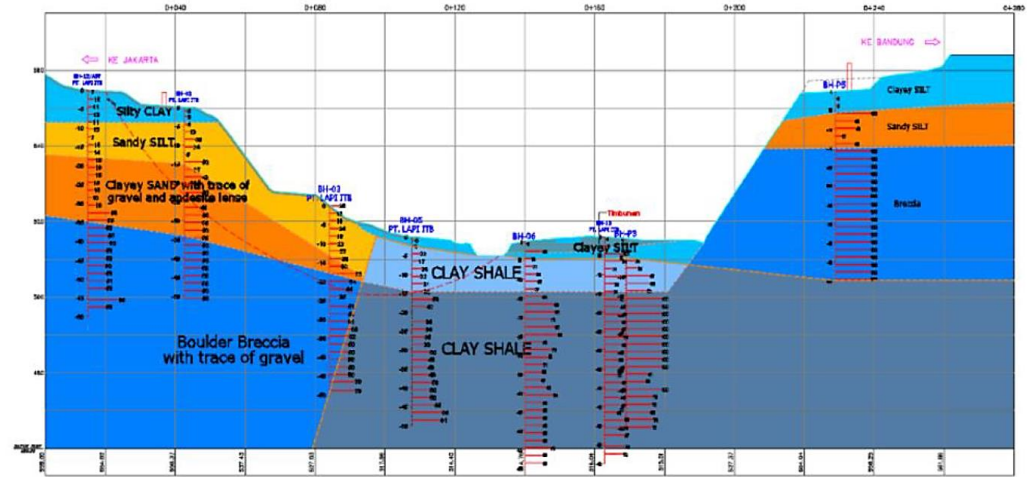
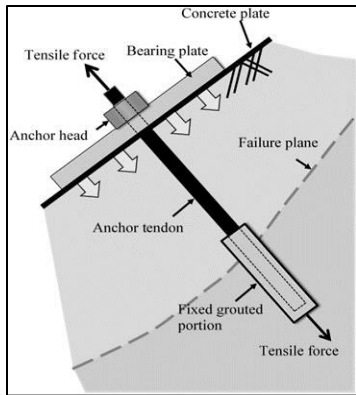
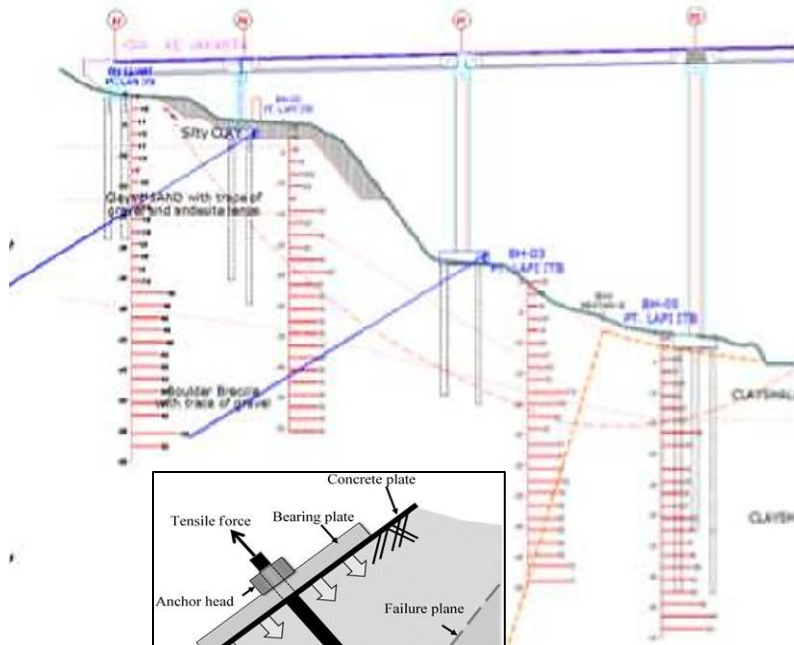
(b)

Figure 10 Slope conditions: (a) during construction of bored piles and (b) after construction completion of soldier-bored piles



Gedung DPRD, Gunung Seriang - Kaltara

# 2. GROUND ANCHOR



Ground Anchor Jembatan Cisomang (Cikampek – Padalarang)  
(Zarkasi, dkk., 2018)



### 3. SHOTCRET



Gambar 4. Pembuatan terowongan dengan perkuatan shotcrete  
(sumber : [http://www.gzconsultants.com/?attachment\\_id=3573](http://www.gzconsultants.com/?attachment_id=3573))



Gambar 2. Pelaksanaan penyemprotan beton shotcrete  
(sumber : <http://www.flickr.com/photos/tranbc/6386097393/>)

## 4. HYDROSEEDING ( VEGETATIF)

*Hydroseeding* adalah adalah suatu metode penanaman dengan mencampurkan biji benih tanaman dan nutrisi yang diformulasikan khusus dicampur dan diaduk sedemikian rupa didalam *tank hydroseeding* bersama dengan media air sehingga campuran menjadi homogen, selanjutnya campuran tersebut ditebarkan atau disemprotkan di permukaan lahan yang sebelumnya sudah dipasang semacam jaring/matras/blangket seperti *coco net* atau *geomat* yang berfungsi untuk menahan **Erosi Permukaan**.



# 5. STABILISASI





# KESIMPULAN

- 1) Penurunan kekuatan tanah pada *clay shale* ini bisa sangat bervariasi bergantung kepada lamanya *clay shale* terekspos terhadap cuaca (*weathering process*), durasi pengeboran tanah serta sensitifitas dari *clay shale* sendiri.
- 2) Semakin lama tanah *clay shale* terbuka kena hujan-panas, semakin mengecilkan ukuran butiran, semakin mengurangi kekuatan geser dan semakin besar potensi longsor.
- 3) Penggunaan tanah *clay shale* sebagai bahan timbunan (*fill*) dapat dilakukan tetapi harus melalui proses kimiawi (*stabilisasi*) untuk menghilangkan sifat *swelling* dan meningkatkan *durabilitas* yaitu dengan cara mencampurkan bahan kimia dengan tanah. Bahan yang digunakan bisa berupa semen (*soil cement*), kapur (*lime soil*), abu terbang batu bara (*fly ash*) dan *geopolimer*.

- 3) Perbaikan dan konstruksi pada lahan *clay shale* dapat berupa :
- a) Lapisan *clay shale* yang dangkal untuk lapisan tanah dasar konstruksi jalan (*subgrade*), dapat dibuang (*removal*) dan diganti (*replacement*) dengan tanah urugan pilihan dan dipadatkan sesuai prosedur.
  - b) Pada konstruksi bangunan pondasi dalam disarankan menggunakan pondasi *bored pile*, karena pemacangan tidak efektif ( $N-SPT > 60$ ).
  - c) Pada Konstruksi Kestabilan lereng, dapat menggunakan dinding penahan tanah dengan *bored piled* atau perkuatan *ground anchor* atau dibuat trap dengan sloping minimal 4H : 1V dengan permukaan tebing *diproteksi* dengan tanaman/rumput atau metode hydroseeding dan atau ditutup dengan mortar beton semprot (*shotcrete*).



**TERIMA KASIH**