Swelling-shrinkage behavior analysis of marl and its residual soil at Sentolo Formation, Nanggulan, Kulon Progo

Hakim Erlangga Bernado Sakti ¹ 🙉

- ¹ Teknik Pertambangan, Institut Teknologi Yogyakarta
- hakimerlangga@ity.ac.id (Penulis Korespondensi)

Received 06-10-2023; revision 24-10-2023; accepted date 25-10-2023

Abstract

At the research location in Nanggulan District, Kulon Progo Regency, many outcrop of Sentolo Formation that composed by marl at the top. The toll road and DIY outer ring road will be built in this area to support connectivity with YIA Airport. There has not been much research on engineering geological conditions, especially related to the swelling and shrinking behavior at the research location. The type of rock which is composed of marl and marl residual soil makes this area potentially at risk of swelling-shrinkage. This research aims to reveal the potential for swelling-shringkage in marl and its residual soil in the Nanggulan area, Kulon Progo. The method used is the free swell test developed by (Mohan & Goel, 1959). The research method uses qualitative and quantitative approaches. The FSR value for samples of marl and its residual is 1.21 and the FSI value is 21% Classified as a clayey material with a low rate of swelling and shrinkage.

Keywords: Marl; Residual Soil; Sentolo Formation; Free Swell Ratio

Analisis potensi kembang-susut napal dan tanah lapukan napal Formasi Sentolo, Nanggulan, Kulon Progo

Abstrak

Pada lokasi penelitian di Kecamatan Nanggulan, Kabupaten Kulon Progo banyak tersingkap Formasi Sentolo yang tersusun atas napal di bagian atas. Wilayah ini direncakan akan dibangun jalan tol dan jalan lingkar luar DIY untuk menunjang konektivitas dengan Bandara YIA. Penelitian kondisi geologi teknik khususnya terkait perilaku kembang-susut di lokasi penelitian belum banyak dilakukan. Padahal, jenis batuannya yang tersusun atas napal dan tanah lapukan napal menjadikan wilayah ini berpotensi memiliki resiko kembang susut. penelitian ini bertujuan untuk mengungkapkan potensi kembang susut pada batuan napal dan tanah lapukannya yang berada di wilayah Nanggulan, Kulon Progo. Metode yang digunakan adalah menggunakan pengujian kembang bebas yang dikembangkan oleh (Mohan & Goel, 1959). Metode penelitian menggunakan pendekatan kualitatif dan kuantitatif. Nilai FSR untuk sampel napal dan tanah lapukan napal di Formasi Sentolo, Nanggulan adalah sebesar 1,21 dan nilai FSI sebesar 21%. Tergolong sebagai material lempungan dengan tingkat kembang susut yang rendah.

Kata Kunci: Napal; Tanah Lapukan Napal; Formasi Sentolo; Rasio Kembang Susut

1. Pendahuluan

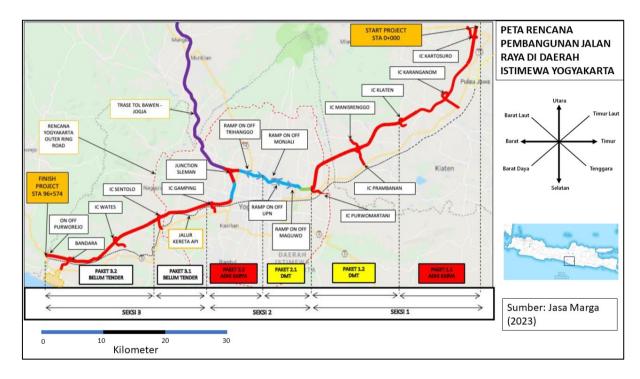
Napal merupakan batuan sedimen yang tersusun atas lempung dan mineral karbonat dengan persentase mineral karbonat antara 35% - 65% (Pettijohn, 1957). Umumnya memili tekstur butiran yang halus. Batuan sedimen berbutir halus (*fine grained sedimentary rock*) sendiri sering

disebut sebagai batuan sedimen argillaceous (Surjono & Amijaya, 2021) atau mudrock (Czerewko & Cripps, 2012; Ingram, 1953; Jeremias et al., 2020; Stow, 1981) merupakan salah satu jenis dari batuan sedimen silisiklastik. Batuan sedimen berbutir halus umumnya memiliki ukuran butir dominan berukuran mud yang dapat terdiri atas lanau atau lempung. Jika mengacu kepada skala wenthworth (Wentworth, 1922), mud memiliki ukuran butir kurang dari 62,5 mikron atau 230 mesh. (Ingram, 1953) lebih jauh membagi lagi mudrock menjadi dua berdasarkan strukturnya yaitu: (a) mudstone yang memiliki struktur menyerpih dan (b) mudshale jika memiliki struktur masif. Secara mineralogi, mudrock umumnya tersusun oleh mineral dominan mineral lempung (Surjono & Amijaya, 2021) meskipun tidak semua mudrock memiliki mineral dominan mineral lempung sebagaiman yang telah diungkapkan pada penelitian (Sidharta & Hasibuan, 2022).

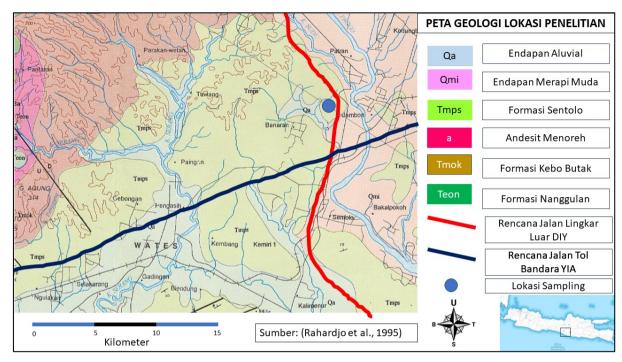
Secara geologi teknik, sedimen berbutir halus dapat berbentuk batuan atau tanah. Jika berbentuk tanah maka disebut sebagai mud sedangkan jika berbentuk batuan maka disebut sebagai mudrock (Jeremias et al., 2020). Tanah dan batuan dapat dibedakan berdasarkan kekuatannya. Salah satu parameter yang digunakan untuk membedakannya adalah menggunakan nilai kuat tekan uniaksial (UCS). Tetapi, terdapat banyak sekali batasan nilai UCS yang telah ditetapkan untuk membedakan tanah dan batuan. Salah satu batasan terbaru yang digunakan adalah menggunakan kriteria (Czerewko & Cripps, 2012) yaitu sebesar 0,6 MPa. Baik mud atau mudrock, secara geologi teknik memiliki karakteristik khas yaitu sifat plastis yang tinggi dibandingkan material lainnya yang disebabkan oleh keberadaan mineral lempung (Hillel, 2013; Mitchell & Soga, 1993). Selain itu, jika memiliki kandungan mineral lempung smektit yang tinggi, maka material *mud* tersebut akan mudah mengalami kembang susut akibat fluktuasi kadar air (Deer et al., 2013; Lutenegger, 2022; Surjandari et al., 2021). Material mud dengan tingkat kembang-susut yang tinggi tersebut secara teknis sering disebut sebagai material lempungan ekspansif. Adapun pada napal jika terdapat kandungan mineral karbonat dalam jumlah yang tinggi maka napal akan mudah mengalami proses pelarutan oleh air menghasilkan struktur rongga-rongga yang dapat menurunkan nilai UCS nya (Wijaya, 2016). Karakteristik tersebut akan menimbulkan berbagai permasalah keteknikan jika material *mud* tersebut dilakukan kegiatan rekayasa keteknikan seperti penggalian dan pembangunan fondasi. Material lempungan ekspansif telah banyak menimbulkan kerugian hingga triliyunan rupiah di berbagai negara sebagaimana yang telah diteliti oleh (Gourley et al., 1994; Nelson & Miller, 1997). Kerugian tersebut disebabkan oleh kerusakan struktur rekayasa sipil yang diakibatkan oleh proses kembang susut material lempungan ekspansif tersebut. Indonesia termasuk negara yang memiliki sebaran material lempungan ekspansif yang cukup luas terutama di pulau Jawa dan salah satu diantaranya terdapat di lokasi penelitian di Kabupaten Kulon Progo (Sudjianto, 2015). Hal ini menjadi menarik untuk diperhatikan dan diteliti bagaimana karakteristik kembang susut tanah dan batuan induk serta keberadaan struktur rongga batuan di wilayah tesebut.

Kabupaten Kulon Progo merupakan salah satu kabupaten yang terletak di Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) dengan cukup banyak fasilitas strategis nasional seperti Bandara Intersional Yogyakarta (YIA). Keberadaan bandara internasional di wilayah ini telah memunculkan berbagai mobilitas dan aktivitas ekonomi baru yang meningkat pesat sehingga mendorong direncanakannnya pembangunan untuk mendukung aktivitas perekonomian baru tersebut salah satunya jalan tol dan jalan lingkar luar DIY (Gambar 1). Pada Gambar 1 terlihat jalan tol bandara YIA dan jalan lingkar luar DIY akan dibangun di bagian timur kabupaten Kulon Progo tepatnya di kecamatan Nanggulan. Mengacu pada peta geologi (Gambar 2), kedua ruas jalan tersebut dibangun melewati Formasi Sentolo. Formasi ini tersusun oleh napal di bagian atas dan batugamping (Rahardjo et al., 1995). Tanah lapukan merupakan hasil lapukan dari napal.

Penelitian kondisi geologi teknik khususnya terkait perilaku kembang-susut di lokasi penelitian belum banyak dilakukan. Padahal, jenis batuannya yang tersusun atas napal dan tanah lapukan napal menjadikan wilayah ini berpotensi memiliki resiko kembang susut. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengungkapkan potensi kembang susut pada batuan napal dan tanah lapukannya yang berada di wilayah Nanggulan, Kulon Progo. Metode yang digunakan adalah menggunakan pengujian kembang bebas/free swell vang dikembangkan oleh (Mohan & Goel, 1959). Metode kembang bebas merupakan salah satu metode penentuan tingkat kembang susut yang relatif sederhana tetapi memiliki tingkat keakuratan yang cukup tinggi serta dapat digunakan untuk memperkirakan jenis mineral lempung yang dominan pada material lempungan (Asuri & Keshavamurthy, 2016) Diharapkan penelitian ini dapat memberikan informasi tentang tingkat kembang susut pada batuan napal dan tanah lapukannya di wilayah Nanggulan. Hal ini dapat menjadi salah satu informasi penting terkait geologi teknik wilayah Nanggulan khususnya terkait perilaku kembang susut yang dapat menjadi pertimbangan terkait rencana pembangunan jalan tol dan jalan lingkar luar DIY di wilayah Nanggunalan serta rencana mitigasi potensi kerusakan struktur akibat adanya kembang susut batuan napal dan tanah lapukan di wilayah ini.



Gambar 1. Peta Rencana Pembangunan Jalan Tol dan Jalan Lingkar Luar di DIY (Jasa Marga, 2023



Gambar 2. Geologi Lokasi Penelitian yang Dimodifikasi dari Peta Geologi Lembar Yogyakarta Oleh (Rahardjo et al., 1995)

2. Metode

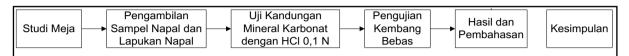
Metode penelitian menggunakan pendekatan kualitatif dan kuantitatif dengan bagan alir penelitian dapat dilihat pada (Gambar 3). Sampel napal dan tanah lapukan napal diambil pada salah satu lokasi singkapan di wilayah Nanggulan dengan koordinat 49 M 414804,84 mE 9137620,41 mS. Alat sampling menggunakan palu geologi sedimen (*chisel*). Napal dan tanah lapukan napal ditetesi menggunakan larutan asam klorida (HCl) 0,1 N untuk memastikan keberadaan mineral karbonat. Sampel kemudian dibawa ke laboratorium untuk dilakukan pengujian kembang bebas sesuai metode (Mohan & Goel, 1959) yang distandarisasi oleh *Indian Standard no* 2720-XL (1977). Adapun tahapan pengujian kembang bebasr yaitu (Indian Standard, 1977):

- a. Gerus sampel tanah dan batuan hingga terdisintegrasi seluruhnya.
- b. Keringkan sampel menggunakan oven hingga diperkiran seluruh air tanahnya telah menguap (sekitar 2 jam).
- c. Saring sampel tanah dan batuan menggunakan ayakan no. 40, sampel yang lolos yang akan digunakan untuk pengujian. Siapkan sampel sebanyak 20 ml.
- d. Siapkan dua gelas ukur yang masing-masing diisi oleh air dan minyak tanah sebanyak 50 ml
- e. Masukkan perlahan-lahan 10 ml sampel pada poin (b) ke dalam gelas ukur yang berisi minyak tanah. Aduk campuran hingga merata. Kemudian tambahkan minyak tanah ke dalam campuran hingga total volume campuran menjadi 100 ml.
- f. Lakukan kembali poin (d) ke dalam gelas ukur air.
- g. Amati perubahan dari kedua campuran tersebut. Pengujian dilaksanakan hingga mencapai 24 jam. Setelah itu, hitung nilai kembang bebas dengan menggunakan persamaan:

$$FSR = \frac{v_W}{v_K}....(1)$$

$$FSI = \left(\frac{V_W - V_K}{V_K}\right) \times 100\% \dots (2)$$

Dimana FSR adalah *free swell ratio*, FSI adalah *free swell index*, V_W adalah volume suspensi sampel di dalam air dan V_K adalah volume suspensi sampel di dalam minyak tanah.



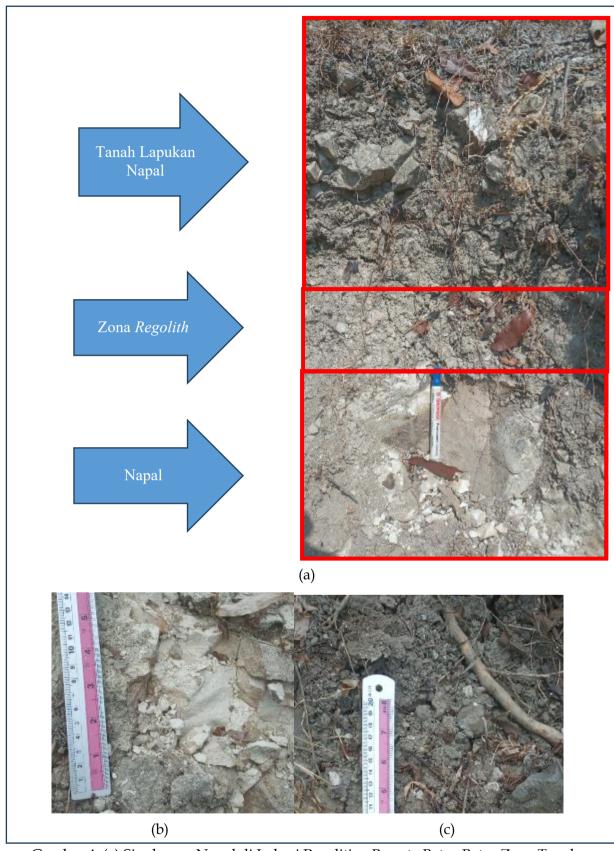
Gambar 3. Bagan Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

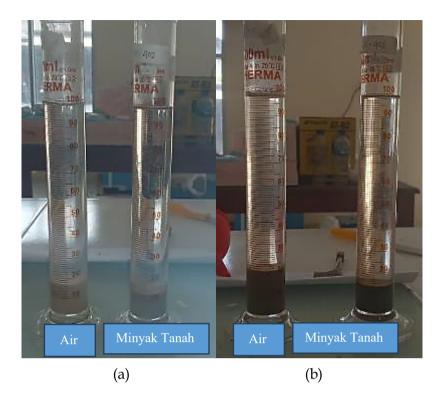
Sampel napal pada lokasi penelitian memiliki warna putih. Adapun tanah lapukan napal memiliki warna coklat muda. Sampel tanah yang diambil terletak tepat di atas zona *regolith* napal dan menunjukkan ciri horizon C dikarenakan terdapat fragmen-fragmen napal pada tanah tersebut. Menunjukkan keberadaan mineral karbonat dikarenakan memberikan reaksi ketika ditetesi oleh HCl 0,1 N. Struktur rongga tidak ditemukan pada napal di lokasi penelitian. Untuk menentukan persentase mineral karbonat diperlukan penelitian lanjutan menggunakan analisis petrografi. Foto singkapan dapat dilihat pada (Gambar 4).

Berdasarkan hasil uji kembang bebas, diperoleh bahwa sampel napal dan tanah lapukan napal di lokasi penelitian memperlihatkan perilaku kembang berdasarkan gambar hasil pengujian FSR setelah 24 jam yang dapat dilihat pada (Gambar 5). Adapun nilai FSI dan FSR hasil pengujian untuk kedua sampel tersebut dapat dilihat pada (Tabel 1). Berdasarkan (Tabel 1) diperoleh bahwa kedua sampel tersebut memiliki nilai FSR yang sama yaitu sebesar 1,21 serta nila FSI yang sama yaitu 21%.

Metode kembang bebas merupakan salah satu dari sekian banyak metode untuk menentukan tingkat kembang susut pada tanah atau batuan yang memiliki butiran *mud*. Mengacu pada klasifikasi (Sridharan & Prakash, 2000) pada (Tabel 2) kedua sampel uji tersebut tergolong memiliki aktivitas kembang susut yang rendah. Jika dikaitkan dengan komposisi mineral lempungnya, maka diperkirakan sampel napal dan tanah lapukan napal tersebut terdiri atas campuran mineral lempung yang tidak dapat mengalami kembang susut dan dapat mengalami kembang susut. Adapun jika dikorelasikan dengan metode kembang susut yang lain seperti metode oedometer maka perkiraan nilai persen mengembangnya adalah antara 1% - 5%. Adapun jika mengacu pada nilai FSI (Tabel 3), kedua sampel uji tersebut tergolong memiliki tingkat kembang susut yang rendah. Mengacu pada (Indian Standard, 1972), nilai FSI juga dapat digunakan untuk menentukan tingkat resiko kerusakan struktur akibat kembang susut tanah. Nilai FSI dari kedua sampel tersebut mengindikasikan bahwa resiko kerusakan struktur untuk kedua sampel tersebut termasuk pada kategori tidak kritis.



Gambar 4. (a) Singkapan Napal di Lokasi Penelitian Beserta Batas-Batas Zona Tanah, *Regolith*, dan Batuan Induk Napal, (b) Singkapan Napal, dan (c) Tanah Lapukan Napal



Gambar 5. Hasil Pengujian FSR Setelah 24 Jam Pada Sampel (a) Napal dan (b) Tanah Lapukan Napal

Tabel 1. Perhitungan Nilai FSR Pada Sampel Uji

No	Sampel	$\mathbf{V}_{\mathbf{W}}$	$\mathbf{V}_{\mathbf{K}}$	FSR	Tingkat Kembang	FSI	Tingkat Kembang
		(ml)	(ml)		Susut ¹⁾		Susut ²⁾
1	Napal	17	14	1,2	Rendah	21%	Rendah
2	Tanah Lapukan Napal	17	14	1,2	Rendah	21%	Rendah

Keterangan: 1) Menurut (Sridharan & Prakash, 2000); 2) Menurut (Indian Standard, 1972)

Tabel 2. Klasifikasi Tingkat Kembang-Susut Material Lempungan Berdasarkan Nilai FSR (Sridharan & Prakash, 2000)

Rentang FSR	Perkiraan Persen	Jenis Material	Tingkat Kembang Susut	
	Mengembang Oedometer	Lempungan		
< 1,0	< 1%	Tidak Mengembang	Dapat Diabaikan	
1,0 - 1,5	1% - 5%	Campuran Tidak	Rendah	
		Mengembang dan		
		Mengembang		
1,5 – 2,0	5% – 15%	Mengembang	Sedang	
2,0 - 4,0	15% – 25%	Mengembang	Tinggi	
> 4,0	> 25%	Mengembang	Sangat Tinggi	

Tabel 2. Klasifikasi Tingkat Kembang-Susut Material Lempungan Berdasarkan Nilai FSI
(Indian Standard, 1972)

Rentang FSI	Tingkat Kembang Susut	Tingkat Resiko Kerusakan Struktur	
< 50%	Rendah	Tidak Kritis	
50% - 100%	Menengah	Marjinal	
100% - 200%	Tinggi	Kritis	
> 200%	Sangat Tinggi	Bahaya	

Ditinjau dari komposisi mineral, sampel napal di lokasi penelitian memiliki mineral lempung yang dominan berupa illite-smectite mixed layer (I/S) dan illite. Smektit yang dijumpai umumnya hanya dijumpai dalam bentuk mixed layer dengan illite (Nurcholis et al., 2020). (Prakash & Sridharan, 2004) mengungkapkan, penggunaan minyak tanah dan air dalam pengujian kembang bebas dikarenakan keduanya memiliki sifat polaritas yang berbeda sebagai pelarut dimana minyak tanah adalah pelarut non polar sementara air adalah pelarut polar. Kembang susut tanah terjadi karena interaksi mineral lempung smektit dengan pelarut polar (air). Interaksi ini berupa masuknya air ke dalam ruang antar layer pada struktur kristal smektit yang kemudian menyebabkan bertambanhnya spasi basal dari smektit. Penambaahan spasi basal smektit inilah yang kemudian menyebabkan material lempungan mampu mengalami proses kembang susut akibat perubahan kadar air. Adapun pelarut non polar (minyak tanah) tidak akan mampu untuk mengisi ruang antar layer pada struktur kristal smektit sehingga minyak tanah tidak akan menyebabkan kembang susut pada material lempungan ekspansif. Bukti dari fenomena tersebut adalah pada pengujian kembang bebas material lempungan ekspansif, volume suspensi pada air akan selalu lebih tinggi dibandingkan volume suspensi pada minyak tanah.

Mineral lempung non *mixed layer* yang dominan pada sampel napal di wilayah Nanggulan adalah illite dan memiliki nilai FSR 1,2. Hal ini menjadikan korelasi nilai FSR dengan mineral lempung dominan pada penelitian ini memiliki kemiripan dengan penelitian (Lutenegger, 2022). (Lutenegger, 2022) telah meneliti beberapa jenis material lempungan dengan berbagai macam mineral lempung dominan yang berbeda yaitu kaolinit, montmorillonit (salah satu jenis mineral smektit), dan illite. Berdasarkan penelitian tersebut, diperoleh rentang nilai umum FSR untuk berbagai jenis mineral lempung yaitu kaolinit sebesar 0,6 – 1,0; montmorillonit sebesar 5 – 8; dan illite sebesar 1,0 – 1,5. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menetukan komposisi mineral non lempung menggunakan analisis petrografi. Analsis petrografi selain dapat menentukan komposisi mineral non lempung, juga dapat digunakan untuk memperikaran karakteristik geologi teknik lainnya seperti UCS menggunakan pendekatan empiris (Khanlari et al., 2015; Shinawi et al., 2020) dan pendekatan empiris tersebut memiliki kemiripan dengan hasil pengujian UCS langsung (Sakti et al., 2023)

Berdasarkan uraian-uraian di atas, metode kembang FSR selain dapat mengidentifikasi perilaku kembang susut juga dapat memperkirakan jenis mineral lempung yang terkandung pada material lempungan. Metode FSR relatif sederhana dan murah sehingga diperlukan penelitian lanjutan terkait pengaruh nilai FSR terhadap komposisi dan jenis mineral lempung termasuk mineral lempung *mixed layer*. Dengan penelitian lanjutan tersebut, diharapkan dapat dikembangkan persamaan-persamaan empiris baru terkait nilai FSR dan komposisi mineral lempung sehingga diharapkan FSR dapat menjadi salah satu alternatif untuk menetukan komposisi mineral lempung pada material lempungan.

4. Kesimpulan

Hasil pengujian kembang bebas diperoleh nilai FSR untuk sampel napal dan tanah lapukan napal Formasi Sentolo, Nanggulan adalah sebesar 1,21 dan nilai FSI sebesar 21%. Tergolong sebagai material lempungan dengan tingkat kembang susut yang rendah. Diperkirakan perilaku kembang di lokasi pengambilan sampel tidak akan memberikan dampak yang membahayakan pada struktur jalan yang akan dibangun.

Ucapan Terimakasih

Terimakasih kepada Institut Teknologi Yogyakarta atas dukungannya pada penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Asuri, S., & Keshavamurthy, P. (2016). Expansive Soil Characterisation: an Appraisal. *INAE Letters*, *I*(1), 29–33. https://doi.org/10.1007/s41403-016-0001-9
- Czerewko, M. A., & Cripps, J. C. (2012). Mudrocks, clays and pyrite. In *ICE Manual of Geotechnical Engineering* (pp. 481–516). ICE Publisher.
- Deer, W. A., Howie, R. A., & Zussman, J. (2013). *An Introduction to the Rock-Forming Minerals*. Mineralogical Society of Great Britain and Ireland. https://doi.org/10.1180/DHZ
- Gourley, C. S., Newill, D., & Schreiner, H. D. (1994). Expansive soils: TRL's research strategy. In P. G. Fookes & R. H. G. Parry (Eds.), *Engineering Characteristics of Arid Soils* (1st ed., pp. 247–260). CRC Press.
- Hillel, D. (2013). Fundamentals of soil physics. Academic press.
- Indian Standard. (1972). Classification and Identification of Soils For Engineering Purposes (Patent 1498–1970). Soil Engineering Sectional Committee.
- Indian Standard. (1977). Determination of Free Swell Index of Soils (Patent 2720–XL). In *Methods of Test for Soils* (2720–XL). Bureau of Indian Standard.
- Ingram, R. L. (1953). Fissility of mudrocks. *Geological Society of America Bulletin*, 64(8), 869–877.
- Jeremias, F. T., Olarte, J. M., Pinho, A. B., Duarte, I. M. R., Saroglou, H., & Torres Suárez, M. C. (2020). Mudrocks as Soft Rocks: Properties and Characteristics. In *Soft Rock Mechanics and Engineering* (pp. 37–107). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29477-9_4
- Khanlari, G., Naseri, F., & Osman Pour, A. (2015). Introducing a new aggregates index (AI) using petrographical and geomechanical properties (Case study: Hamedan province limestones). *Scientific Quarterly Journal of Iranian Association of Engineering Geology*, 8(Number 1 & amp; 2), 51–66. http://www.jiraeg.ir/article_68358.html
- Lutenegger, Alan. J. (2022). Specific surface, clay mineralogy, water adsorption and free-swell behavior of fine grained soils. In Rahman & Jaksa (Eds.), 20th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (pp. 2955–2960). International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.
- Mitchell, J. K., & Soga, K. (1993). Fundamental of soil behaviour (2nd ed.). John Wiley & Sons Inc.
- Mohan, D., & Goel, R. K. (1959). Swelling pressures and volume expansion in Indian black cotton soils. *Journal of the Institution of Engineers (India): Series A*, 40(2), 58–62.

- Nelson, J., & Miller, D. J. (1997). *Expansive soils: problems and practice in foundation and pavement engineering*. John Wiley & Sons.
- Nurcholis, M., Nursanto, E., Sakti, H. E. B., Yudiantoro, D. F., & Haryanto, D. (2020). Coagulation and adsorption techniques for purification of the amalgamation slurry waste. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 7(2), 2001–2010. https://doi.org/10.15243/jdmlm.2020.072.2001
- Pettijohn, F. J. (1957). Sedimentary Rocks: 2d Ed. Harper & Row.
- Prakash, K., & Sridharan, A. (2004). Free swell ratio and clay mineralogy of fine-grained soils. *Geotechnical Testing Journal*, 27(2), 220–225.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi, & Rosidi, H. M. D. (1995). *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Sakti, H. E. B., Sutoyo, H. D., Lapuna, H., & Herniti, D. (2023). Analisis Nilai Kuat Tekan Uniaksial Batugamping Menggunakan Sayatan Tipis. *Jurnal Ilmiah Geologi PANGEA*, 10(1), 66–73.
- Shinawi, A. El, Mésároš, P., & Zeleňáková, M. (2020). The Implication of Petrographic Characteristics on the Mechanical Behavior of Middle Eocene Limestone, 15th May City, Egypt. *Sustainability*, 12(22), 9710. https://doi.org/10.3390/su12229710
- Sidharta, B., & Hasibuan, G. (2022, October). Mudrock Durability Analysis of Pamaluan Formation In The Region Of BWP 1–IKN (Capital Of The Country), Sepaku Region And Surroundings, Penajam Paser Utara Regency, East Kalimantan Province, Indonesia. *Proceedings PIT IAGI 51th*.
- Sridharan, A., & Prakash, K. (2000). Classification procedures for expansive soils. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Geotechnical Engineering*, 235–240. https://doi.org/10.1680/geng.2000.143.4.235
- Stow, D. A. V. (1981). Fine-grained sediments: Terminology. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 14(4), 243–244. https://doi.org/10.1144/GSL.QJEG.1981.014.04.02
- Sudjianto, A. T. (2015). Tanah Ekspansif karakteristik dan Pengukuran Perubahan Volume. In *Yogyakarta, Graha Ilmu*. Graha Ilmu.
- Surjandari, N. S., Fitri, S. N., Djarwanti, N., Purwana, Y. M., Setiawan, B., Indrabaskara, R. H. D. H., & Prakosa, B. B. (2021). Kajian Potensi Kembang Susut Tanah Ekspansif Di Beberapa Wilayah Solo Raya. In N. S. Wahyuni (Ed.), *CV WIDINA MEDIA UTAMA*. CV Windina Media Utama.
- Surjono, S. S., & Amijaya, D. H. (2021). *Sedimentologi* (4th ed.). Penerbit Unoversitas Gadjah Mada.
- Wentworth, C. K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *The Journal of Geology*, 30(5), 377–392.
- Wijaya, R. A. E. (2016). Pengembangan Metode Klasifikasi Massa Batuan Untuk Desain Tambang Batugamping Berongga [Dissertation]. Universitas Gadjah Mada .



This work is licensed under a Creative Commons Attribution Non-Commercial 4.0 International License