



STUDI AWAL PEMANFAATAN LIMBAH BANGUNAN SEBAGAI ALTERNATIF PENGANTI BENTONITE MENTAH

Dialina Putri^{1*}, Vina Rosalina Rahma², Muhammad Fariz Cahoyo³, Agus Wahyu Sejati⁴, Gayuh Aji Prasetyaningtiyas⁵

^{1,2,3,4,5} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan, Kartasura, Surakarta, Indonesia, Kode Pos 57102

*Email: d100190270@student.ums.ac.id

Diajukan: 07/11/2023 Direvisi: 05/12/2023 Diterima: 22/12/2023

Abstrak

Pengeboran tanah untuk pekerjaan fondasi pada tanah berpasir menyebabkan sebagian dinding bor runtuh sehingga membutuhkan perekat butiran seperti bentonite yang dapat mengembang sendiri. Di sisi lain, bentonite diperoleh melalui proses penambangan yang berdampak negatif terhadap lingkungan. Pembuangan limbah bentonite harus melalui proses netralisasi zat berbahaya (Fe, 3,8% dan NaHCO_3 , 12%) agar tidak merusak lingkungan. Kegiatan filterisasi berpotensi mengakibatkan keterlambatan proyek dan pembengkakan biaya. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan alternatif pengganti bentonite. Limbah bata merah dan plesteran memiliki potensi untuk menggantikannya jika digunakan dalam gradasi yang halus ($\leq 0,075$ mm). Gradasi halus pada kedua limbah sangat berkaitan dengan kemampuan untuk mengembang. Limbah bangunan tersebut dihancurkan menjadi serbuk kemudian dibuat larutan dengan beberapa percobaan komposisi antara air, bata merah, plesteran, dan NaHCO_3 dalam jumlah yang kecil (1%-8%). Kemudian larutan diaplikasikan pada sampel tanah kecil dari lubang bor yang mengalami keguguran di lapangan dan diuji swelling satu arah. Pengamatan secara mikroskop dengan menggunakan SEM (Scanning Electron Microscope) diperlukan untuk melihat kandungan larutan tersebut. Hasil penelitian laboratorium menunjukkan adanya peningkatan swelling seiring dengan penambahan NaHCO_3 serta kemiripan kandungan larutan limbah dengan bentonite. Penelitian ini sangat bermanfaat bagi dunia industri terutama hal yang berkaitan dengan ecogreen dalam hal pengeboran baik fondasi maupun pengeboran dalam tanah lainnya.

Kata kunci: Bentonite, Limbah Bangunan, NaHCO_3 , Swelling

Abstract

The collapse due to the foundation drilling in sand soil, requires material that swell highly such as bentonite. On the other hand, bentonite is obtained through a mining process. Bentonite waste disposal must be neutralized to reduce poisonous substances (Fe, 3.8% and Na_2CO_3 , 12%). This activity potentially delay and causes financial loss to a construction project. This study aims to obtain alternatives of bentonite material. Red brick and stucco waste have potency to replace bentonite using fine gradation (≤ 0.075 mm). The fine gradation has high pores swelling potency. The construction wasted material grinding by Los Angeles device to be fine gradation, to make a mixture consist of water, red brick, stucco, and NaHCO_3 (1%-8%). It was applied to a mini sample soil for consolidation test (one direction test) and microscopic monitoring (two direction test). Microscopic observation using SEM (Scanning Electron Microscope) was carried out to see the chemical component of the solvent. The results show an increase in swelling and solidity along with the addition of NaHCO_3 . This research is necessary for the industrial foundation drilling construction.

Keywords: Bentonite, Construction Waste, NaHCO_3 , Swelling

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan *bentonite* terus meningkat di dunia konstruksi khususnya pada pekerjaan pengeboran dinding fondasi. Kebutuhan tersebut dapat dipenuhi dengan penambahan *bentonite* yang dilakukan di berbagai daerah di Indonesia seperti Riau, Pacitan, Ponorogo, Trenggalek, Blitar, dan daerah-daerah lain di Jawa Barat (Ambarsari dan Herusantoso, 2018). Namun, Penambahan *bentonite* yang dilakukan secara berkelanjutan dapat mengakibatkan degradasi kesuburan pada tanah dan kerusakan pada lingkungan (Abusama, Usman dan Zaenal, 2020). Untuk mengatasi hal tersebut, dibutuhkan material pengganti yang menyerupai *bentonite*.

Di sisi lain, *bentonite* perlu melalui proses aktivasi (Muhammad dan Siddiqua, 2022) dengan penambahan bahan kimia Na_2CO_3 sebesar >12 % agar dapat mengembang. Namun, hal tersebut dapat meningkatkan pH tanah (8.9 - 9.5) sehingga melebihi pH netral tanah (6.5) (McLay, Rajan dan Liu, 2000). *Bentonite* juga mengandung unsur besi (Fe) yang bersifat karsinogenik. Oleh karena itu, limbah *bentonite* dari sisa penggunaan perlu dinetralkan sebelum dibuang (Siti, 2023). Akan tetapi, proses netralisir membutuhkan waktu yang lama. Hal tersebut berpotensi menimbulkan keterlambatan pada pelaksanaan proyek dan pembengkakan biaya. Oleh karena itu, untuk mengurangi potensi zat berbahaya pada *bentonite*, dilakukan inovasi penggantian zat aktivasi dari Na_2CO_3 menjadi NaHCO_3 dengan kadar Fe yang sangat kecil (Rahman, Supriyadi dan Mulyawan, 2022).

Dalam penelitian ini dipilih limbah bangunan sebagai pengganti *bentonite*. Pemilihan limbah bangunan dikarenakan adanya kandungan yang sama seperti *bentonite* yakni *montmorillonite*. Kandungan tersebut mengakibatkan pengembangan pada material dengan butiran yang halus menyerupai serbuk. Limbah bangunan juga dipilih untuk mengurangi potensi karsinogenik apabila berdampingan dengan manusia. Larutan serbuk limbah bangunan dengan penambahan NaHCO_3 akan diuji

laboratorium untuk mengetahui pengembangan partikel baik secara satu arah (Uji Konsolidasi satu arah) dan dua arah (Pengamatan Mikroskop). Hasil tersebut, akan divalidasi dengan Uji *Scanning Electron Microscope (SEM)*.

Riset mengenai *bentonite* dan limbah bangunan telah dilakukan sebelumnya. Namun, mayoritas riset mengenai *bentonite* fokus pada *filler* campuran aspal dan beton (Ahmad dkk., 2022), stabilisasi tanah dasar (Wandana dan Amalia, 2022) dan alternatif campuran beton (Permatasari, Kartini dan Sumaidi, 2020). Oleh karena itu, pemanfaatan limbah bangunan sebagai bahan stabilisasi tanah berpasir termasuk hal yang baru.

2. METODOLOGI

2.1 Pengujian Properties Material

Limbah bangunan diambil di lingkungan sekitar Universitas Muhammadiyah Surakarta. Kemudian dilakukan pemisahan antara limbah bata merah dan limbah plesteran. Pemisahan limbah dibantu dengan alat tatah besi dan palu.

Selanjutnya limbah dihancurkan dengan mesin *los angeles* dengan beberapa kali percobaan kombinasi antara lama durasi, jumlah bola baja dan berat *massa*. Pembersihan serbuk limbah dilakukan dengan merendam serbuk limbah selama 24 jam, kemudian serbuk yang terendap diambil sebagai sampel uji. Serbuk limbah selanjutnya disaring hingga lolos saringan No.200 atau $\phi \leq 0,075$ mm, dan dilanjutkan uji sifat fisis limbah bangunan.

Pengambilan sampel pada tanah yang mengalami keguguran pada dinding lubang bor untuk selanjutnya di Desa Sambon, Kecamatan Banyudono, Kabupaten Boyolali. Pengambilan sampel tanah dilakukan pada kedalaman -1 m menggunakan *hand auger* dan -1,5 m menggunakan mold dan ring (*undisturbed*). Kemudian, sampel tanah dibungkus dengan rapat menggunakan bantuan perekat agar tidak ada ruang untuk udara. Kemudian dilanjutkan uji sifat fisis sampel tanah.

2.2 Pembuatan komposisi larutan

Pembuatan komposisi larutan berdasarkan aspek kekentalan larutan dari angka pori (Persamaan 1) (Hardiyatmo, 2003) dan batas Atterberg (ASTM D4318, 2005) (Persamaan 2 dan 3) (Wetzel, 1990).

$$e = w \cdot G_s \quad (1)$$

$$LL = 1.01S_g + 46.5, PL > 5 \quad (2)$$

$$PL = 0.43S_g + 13.5, PL > 20 \quad (3)$$

Komposisi yang telah jadi kemudian dibuat, yakni dengan memanaskan air hingga suhu 100 °C. Setelah itu NaHCO₃ dan air berdasarkan komposisi yang dipilih dicampur dengan menggunakan *mixer* diatas air yg sudah dipanaskan tadi selama ±4 menit hingga suhu larutan NaHCO₃ mencapai 45-65 °C (Magzoub *dkk.*, 2020). Selanjutnya, serbuk limbah bata merah dan plesteran dimasukkan kedalam larutan NaHCO₃ tadi dan di campur menggunakan *mixer* hingga larutan menjadi homogen.

2.3 Uji efisiensi larutan

Uji ini diperlukan untuk mengetahui kemampuan larutan dalam mengisi pori-pori tanah berpasir. Pengujian dilakukan dengan mengaplikasikan larutan ke tanah berpasir. Efisiensi larutan nantinya dilihat dari hasil pengujian berat volume basah (γ_b) (ASTM C29/C29M, 2009) dan kadar air (w) (ASTM-D-2216-98, 1998). Hasil tersebut digunakan untuk membuktikan bahwa yang masuk ke dalam partikel tanah berpasir tidak hanya air, melainkan serbuk limbah dari larutan pun ikut masuk ke dalam partikel tanah.

2.4 Pengujian *swelling*

Pengujian *swelling* dilakukan dengan uji konsolidasi untuk mengetahui pengembangan sampel uji pada satu arah. Uji konsolidasi satu arah menggunakan alat konsolidometer (ASTM-D-2435, 2016) dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta. Uji konsolidasi kedua untuk mengetahui *swelling* pada dua arah (ukuran mikro) dengan mikroskop di Laboratorium Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Surakarta.

2.5 Uji SEM

Pengujian selanjutnya yaitu Uji SEM (*Scanning Electron Microscope*) untuk mengamati *swelling* dua arah dalam ukuran nanometer. Kegiatan ini dilakukan untuk mengetahui kandungan didalam larutan serbuk limbah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Properties material

Hasil uji sifat fisis sampel tanah dan limbah bangunan disajikan pada Tabel 4.1, terlihat bahwa dari berat jenis (G_s) adalah 2,6 menunjukkan bahwa tanah yang diambil di lapangan adalah tanah berpasir yang mengalami keguguran saat pengeboran fondasi. Hal tersebut didukung dengan rendahnya batas cair (LL) dan batas plastis (PL). Meskipun tanah diambil tidak pada titik yang mengalami keguguran saat pengeboran tanah. Disisi lain, plesteran dan bata merah juga memiliki $G_s > 2,4$ yang menunjukkan adanya kemiripan satu sama lain.

3.2 Komposisi larutan

Serbuk limbah yang akan dibuat komposisi larutan harus memenuhi 40% butiran halus yaitu $\leq 0,075$ mm (Magzoub *dkk.*, 2020). Dengan formula penghancuran bata merah 2,5 m + 35t + 11n dan plesteran 2,5m + 40t + 11n didapatkan 53% butiran halus. Dimana m adalah massa limbah dalam sekali penghancuran (kg), t adalah durasi sekali penghancuran dengan mesin *los angeles* (menit), dan n adalah jumlah bola baja didalam mesin *los angeles* (buah).

Untuk menentukan jumlah air awal dalam komposisi larutan, terlebih dahulu dihitung angka pori (1,046) dengan Persamaan 1 selanjutnya angka pori tersebut dikalikan dengan 0,7 dengan mempertimbangkan kekentalan larutan. Oleh karena itu, didapatkan penambahan air optimum larutan 17,5 mL dari 25 mL. Selanjutnya dengan mempertimbangkan kekentalan laurtan, dibuat variasi penambahan air dan berat total larutan sebesar 55%, 65%, dan 70% dan 50gram, 100gram masing-masing dari berat total larutan.

Berdasarkan hasil uji batas Atterberg, didapatkan luas permukaan (Persamaan 3) bata merah lebih besar dari plesteran sehingga digunakan perbandingan antara bata merah dan plester sebesar 2:1. Perbandingan yang telah diperoleh kemudian

dijadikan acuan untuk menghitung jumlah komposisi bata merah dan plester. Untuk lebih detail, komposisi larutan ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel1. Hasil uji fisis material limbah dan tanah

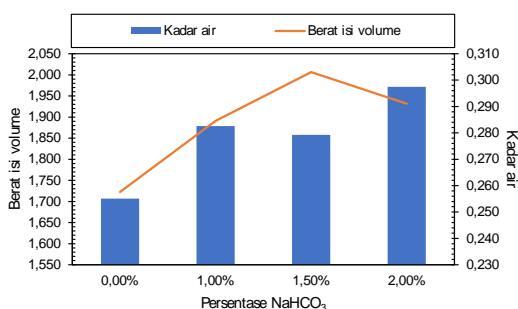
Jenis Pengujian	Tanah Lapangan	Bata Merah	Plesteran	Standar Pengujian
w (%)	25,51	2,308	3,518	ASTM-D-2216-98
G_s	2,609	2,447	2,638	ASTM D854, 2000
LL	29,59	35,73	24,81	ASTM D4138, 2005
PL	26,67	29,52	27,03	ASTM D4138, 2005

Tabel 2. Komposisi larutan

Nama Larutan	Air		NaHCO ₃		Bata Merah		Plesteran		Berat Total
	%	Jumlah (mL)	%	Jumlah (gr)	Rasio	Jumlah (gr)	Rasio	Jumlah (gr)	
Larutan A	70	17,5	1,0	0,50	2	21,33	1	10,67	50 gr
Larutan B	70	17,5	1,5	0,75	2	21,17	1	10,58	50 gr
Larutan C	70	17,5	2,0	1,00	2	21	1	10,5	50 gr

3.3 Efisiensi larutan dalam mengisi pori-pori pasir

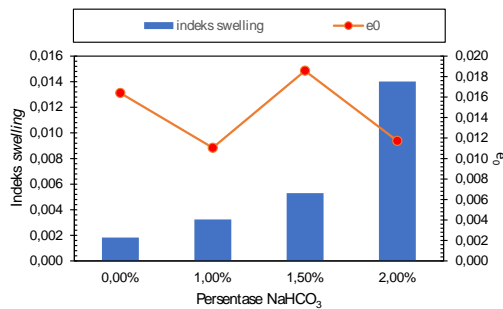
Efisiensi larutan salah satunya diukur dari seberapa banyak serbuk limbah mengisi pori-pori pasir dibandingkan dengan air yang masuk. Hal tersebut diketahui dengan cara membandingkan berat volume (γ_b) dengan penambahan air pada sampel setelah diberi larutan limbah yang diwakili oleh kadar air sampel (w). Gambar 1 menunjukkan bahwa berat volume lebih besar daripada kadar airnya. Artinya, banyak butiran yang masuk dibandingkan air yaitu 7 kali lebih besar, maka butiran tersebut mengalami *swelling* bukan hanya *swelling* karena penambahan air.



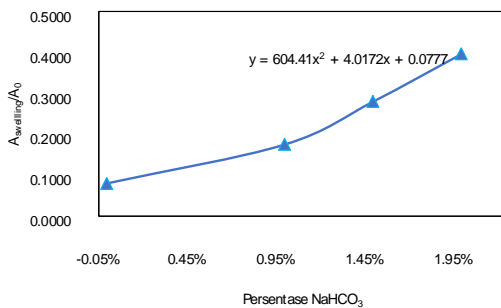
Gambar 1. Grafik perbandingan berat volume (γ_b) dan kadar air (w)

3.4 Hasil uji *swelling*

- Hasil uji *swelling* satu arah didapatkan dari pengujian konsolidasi pada Gambar 3.2. Dari Gambar 3.2 terlihat bahwa tanah mengalami peningkatan ukuran pengembangan partikel yang diilustrasikan dengan peningkatan indeks *swelling* (NaHCO₃ 2%) sebesar 6 kali lipat dari kondisi awal (0,0018) jika dibandingkan dengan kondisi akhir (0,014). Selain itu, berdasarkan perbandingan antara luas butiran yang mengalami pengembangan (*swelling*) dan tidak mengalami *swelling* didapatkan hasil yang mendekati *bentonite* mentah berdasarkan Magzoub (2020) sebesar 90,7%. Hasil tersebut sangat memuaskan untuk tingkat studi awal (Gambar.3). Pada Magzoub (2020) pengembangan partikel dengan NaHCO₃ 2% mencapai 40,7% sedangkan pada penelitian ini mencapai 40% (NaHCO₃ 2%, w 70%) (Gambar 3) dan hanya berbeda 7% dibandingkan dengan *bentonite* mentah yang diberi *treatment* khusus dan diaktivasi dengan NaHCO₃.



Gambar 2. Grafik perbandingan antara angka pori yang mengalami swelling ($e_{swelling}$) dan angka pori awal (e_0)



Gambar 3. Grafik hubungan perbandingan luas permukaan swelling tanah asli (0% NaHCO₃) dan tanah dengan larutan (2% NaHCO₃)

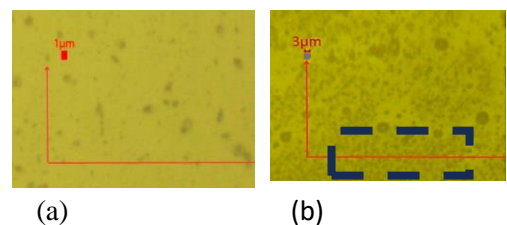
Swelling dua arah diukur dengan membandingkan ukuran tanah asli dari lapangan dengan tanah yang telah dilumuri larutan. Gambar 4.4a menunjukkan bahwa rata-rata ukuran minimum partikel tanah sampel sebelum diberi larutan serbuk limbah sebesar 1 μm atau 0,001 mm.

Selanjutnya, hasil pengamatan mikroskop pada sampel tanah yang diberikan larutan

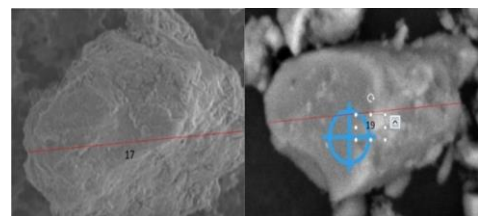
3.5 SEM (Scanning Electron Microscope)

Berdasarkan hasil SEM, diperoleh kandungan unsur dalam material limbah bangunan. Pada material limbah bangunan terdapat kandungan Silika (Si) sebesar 23,8% dalam plesteran dan 29,5% dalam bata merah. Kandungan Silika (Si) ini berfungsi sebagai perekat atau pengikat pada butiran tanah. Selain itu, diketahui kandungan Magnesium (Mg) dalam plesteran dan bata merah berturut-turut sebesar 1,3% dan 1,2%.

serbuk limbah (1% NaHCO₃) (Gambar 4b) menunjukkan rata-rata minimum ukuran partikel tanah sampel meningkat menjadi 3 μm . Penambahan larutan yang diaplikasikan ke sampel tanah tersebut dapat memberikan peningkatan nilai swelling butiran. Untuk area A (Gambar 4b), area tersebut merupakan area yang belum basah sempurna sehingga tidak seragam dengan yang lain butirannya. Hasil pengujian swelling dua arah ini dapat mendukung hasil uji swelling satu arah (uji konsolidasi).



Gambar 4. (a) Ukuran partikel sampel sebelum diberi larutan serbuk limbah. (b) setelah diberi larutan serbuk limbah mengembang menjadi 3x lipat (dengan perbesaran gambar 300x)



Gambar 5 (a) Hasil SEM butiran bentonite mentah (Ruskandi, Siswanto dan Widodo, 2020), (b) butiran bata merah

Hasil tersebut sesuai dengan kandungan dalam bentonite mentah. Magnesium berfungsi untuk membantu proses penyerapan partikel serbuk limbah kedalam pori-pori pasir. Gambar 6 menunjukkan kemiripan soliditas pada satu partikel bentonite (Gambar 5a) dan bata merah (5b). Jika diperhatikan lebih jauh pada satu partikel tersebut tidak ada partikel-partikel kecil yang menempel. Sedangkan dari segi ukuran, satu partikel limbah berukuran

rata-rata $19\mu\text{m}$ mirip dengan ukuran bentonite mentah ($\pm 17\mu\text{m}$) (lihat Gambar 5).

Apabila ditinjau dari kandungan unsur, terlihat adanya penurunan kadar Fe yang bersifat karsinogenik pada partikel larutan jika dibandingkan dengan kondisi awal (partikel bentonite, bata merah, dan plesteran). Disisi lain, kandungan oksigen (O_2) pada larutan mengalami peningkatan yang menandakan terjadi penambahan pori untuk mengembang (swelling).

4. KESIMPULAN

Pemanfaatan limbah bangunan sebagai stabilisasi konstruksi fondasi tanah berpasir telah di analisis dengan baik. Berdasarkan serangkaian uji yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan berikut,

1. Peningkatan *swelling* satu arah tervalidasi dengan peningkatan indeks *swelling* dan peningkatan *swelling* dua arah. Hal tersebut dibuktikan dengan adanya peningkatan indeks *swelling* sebesar 6 kali lipat dari kondisi awal. Sedangkan pada swelling dua arah, butiran membesar ± 3 kali lipat dari kondisi semula. Selain itu, validasi lain yaitu dari luas permukaan yang mengalami *swelling* dan yang tidak *swelling* hanya berbeda 7% dibandingkan dengan *bentonite* mentah.
2. Berdasarkan hasil uji SEM terdapat peningkatan kandungan kimia Si sebesar 2x lipat pada larutan serbuk limbah akibat penambahan NaHCO_3 dibandingkan dengan *bentonite* mentah. Hal tersebut menunjukkan adanya peningkatan soliditas serbuk limbah bangunan dibanding *bentonite* mentah. Sedangkan untuk kandungan yang bersifat karsinogenik (Fe) mengalami penurunan sebesar 58%.
3. Hasil uji perbandingan antara berat volume (γ_b) dan kadar air menunjukkan adanya efisiensi penyerapan butiran serbuk limbah oleh pori-pori tanah pasir. Hal tersebut menghasilkan nilai berat volume (γ_b) yang lebih besar 6x lipat dari kadar air (NaHCO_3 1,5%, w 70%).
4. Komposisi kadar air 55% pada serbuk limbah memiliki kualitas paling baik dari hasil pengujian SEM. Di sisi lain, perbandingan antara bata merah dengan plester (2:1) dapat menurunkan unsur kimia bersifat karsinogenik (Fe). Maka komposisi diatas dianggap dapat menggantikan peran *bentonite* terutama *bentonite* mentah.

DAFTAR PUSTAKA

- Abusama, Z., Usman, D.N. dan Zaenal, Z. (2020). Kajian Teknis Reklamasi Lahan Bekas Penambangan Bentonit di PT Sariak Minera Utami Desa Jampang Tengah, Kabupaten Sukabumi Provinsi Jawa Barat. Prosiding Teknik Pertambangan, hal. 344–355.
- Ahmad, J. dkk. (2022). Partial Substitution of Binding Material by Bentonite Clay (BC) in Concrete: A Review. Buildings, 12(5), hal. 634.
- Ambarsari, E.W. dan Herusantoso, K. (2018). Analisa Penentuan Layak Tambang Bentonit Provinsi Jawa Timur Dengan ANP.
- ASTM-D-2216-98. (1998). Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass. ASTM International, 552(January), hal. 1–5.
- ASTM-D-2435. (2016). Standard Method of Test For One-Dimensional Consolidation Properties of Soils. American Association of State Highway and Transportation Officials, hal. 1–21.
- ASTM C29/C29M. (2009). Astm C29/C29M-07. Standard Test Method For Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate [Preprint].
- ASTM D4318. (2005). Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. Report, 04(March 2010), hal. 1–14. Tersedia pada:

- <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Standard+Test+Methods+for+Liquid+Limit+,+Plastic+Limit+,+and+Plasticity+Index+of+Soils#1>.
- Hardiyatmo, H.C. (2003). Mekanika tanah II.
- Magzoub, M.I. dkk. (2020). An Investigation of the Swelling Kinetics of Bentonite Systems Using Particle Size Analysis. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 41(6), hal. 817–827. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1080/01932691.2019.1612758>.
- McLay, C.D.A., Rajan, S.S.S. dan Liu, Q. (2000). Agronomic Effectiveness of Partially Acidulated Phosphate Rock Fertilizers in An Allophanic Soil At Near-Neutral pH. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 31(3–4), hal. 423–435. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1080/00103620009370447>.
- Muhammad, N. dan Siddiqua, S. (2022). Calcium Bentonite VS Sodium Bentonite: The Potential of Calcium Bentonite For Soil Foundation. *Materials Today: Proceedings*, 48, hal. 822–827.
- Permatasari, P.S., Kartini, W. dan Sumaidi, S. (2020). Penggunaan Limbah Zeolite dan Bentonite pada Campuran Beton Ditinjau Terhadap Sifat Mekanik Beton. *KERN: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 6(2), hal. 77–84. Tersedia pada: <https://doi.org/10.33005/kern.v6i2.3>
- 5.
- Rahman, F.A., Supriyadi, S. dan Mulyawan, R. (2022). Pengaruh Biochar dan Bentonit-eraktivasi Asam terhadap Sifat Kimia Tanah Lempung Liat Berpasir Bangkalan. *Jurnal Agroekotek*, 14(1), hal. 80–92.
- Ruskandi, C., Siswanto, A. dan Widodo, R. (2020). Karakterisasi Fisik dan Kimiawi Bentonite untuk Membedakan Natural Sodium Bentonite dengan Sodium Bentonite Hasil Aktivasi. *Jurnal Polimesin*, 18(1), hal. 53–60.
- Siti, S. (2023). Sebaran Nilai Kapasitas Tukar Kation (KTK) dan (Kemasaman (pH) Tanah Di Tanah Vertisol Kecamatan Sakra Kabupaten Lombok Timur. Universitas Mataram.
- Wandana, A. dan Amalia, N. (2022). Stabilisasi Tanah Rawa Dengan Bentonit Untuk Lapis Pondasi Tanah Dasar (Subgrade). *Politeknik Negeri Ujung Pandang*.
- Wetzel, A. (1990). Interrelationships Between Porosity and Other Geotechnical Properties of Slowly Deposited, Fine-Grained Marine Surface Sediments. *Marine Geology*, 92(1), hal. 105–113. Tersedia pada: [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0025-3227\(90\)90029-J](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0025-3227(90)90029-J).