

PENINGKATAN DAYA DUKUNG TANAH EKSPANSIF MENGGUNAKAN LIMBAH GYPSUM DAN SERBUK KACA

Ibnu Mudhakhir¹, Aryanti Nurhidayati², Eko Supri Murtiono²

Email: ibnu.mono13@gmail.com

Abstrak: Tanah lempung ekspansif merupakan tanah yang banyak mengandung mineral *montmorillonite* dan *illite*. Tanah ini memiliki sifat plastisitas yang tinggi, daya dukung yang rendah, dan juga kuat geser yang rendah. Salah satu daerah di Indonesia yang memiliki kondisi tanah ekspansif adalah di daerah Soko, Ngawi, Jawa Timur. Kepekaan mineral ini terhadap air berpengaruh terhadap rendahnya daya dukung tanah. Parameter tanah yang diperlukan untuk mengetahui daya dukung tanah pada umumnya dinyatakan dengan besarnya nilai kuat tekan dan CBR (*California Bearing Ratio*). Daya dukung tanah yang rendah membuat beban yang dipikul oleh tanah juga rendah, sehingga ketika terjadi penambahan beban akan terjadi penurunan tanah. Dalam memperbaiki struktur tanah harus memperhatikan aspek lingkungan, salah satunya adalah mengenai pemanfaatan limbah yang tidak terpakai, yaitu limbah *gypsum* dan limbah kaca yang banyak mengandung mineral yang dapat digunakan untuk menstabilkan tanah. Dari hasil penelitian didapatkan Nilai CBR maksimum pada variasi 10% limbah *gypsum* dengan 8% serbuk kaca. Dimana nilai CBR *unsoaked* pada tanah asli sebesar 7,875% sedangkan pada CBR *soaked* sebesar 1,975%, setelah dilakukan stabilisasi dengan limbah *gypsum* dan serbuk kaca mengalami perubahan nilai CBR *unsoaked* menjadi 38,327% dan CBR *soaked* menjadi 6,252%.

Kata Kunci: tanah ekspansif, limbah *gypsum*, serbuk kaca, stabilisasi tanah, dan CBR.

Abstract: *Expansive clay soil contains many minerals of montmorillonite and illite. This soils have a high plasticity, low soil bearing capacity, and low direct shear. Indonesia has that kind of soil, placed in Soko, Ngawi, East Java. The sensitivity of this minerals to water affect the soil bearing capacity. Parameters of the soil necessary to determine the soil bearing capacity. In general mentioned by the value of the compressive strength and CBR. Low soil bearing capacity make the load that hold by the soil is low, so that when the load addition added it will make the soil settlement. In improving soil structure should pay attention to environment aspects. One of them is utilization of unused waste. There are gypsum and glass waster which curtain minerals that can be used for stabilizing soil bearing capcity. The results of the study obtained a maximum CBR value in the variation of 10% gypsum waste with 8% glass powder. Where the unsoaked CBR value of the original was 7,875% while the soaked CBR value was 1,975%, after stabilization with gypsum waste and glass powder changes the unsoaked CBR value be 38,327% and the soaked CBR soaked be 6,252.*

Keywords: *expansive soils, gypsum waste, glass waste, soil stabilization, and CBR.*

¹ Mahasiswa Pendidikan Teknik Bangunan FKIP Universitas Sebelas Maret

² Pengajar Pendidikan Teknik Bangunan FKIP Universitas Sebelas Maret

PENDAHULUAN

Tanah lempung ekspansif merupakan tanah yang banyak mengandung mineral *montmorillonite* dan *illite*. Tanah ini memiliki sifat plastisitas yang tinggi, daya dukung yang rendah, dan juga kuat geser yang rendah. Salah satu daerah di Indonesia yang memiliki kondisi tanah ekspansif adalah di daerah Soko, Ngawi, Jawa Timur. Hasil uji mineral di daerah ini menunjukkan bahwa kandungan *montmorillonite* sebesar 49,74% dibandingkan mineral lain (Sudjianto, 2014: 90). Mineral *montmorillonite* ini mempunyai luas permukaan yang lebih besar dan mudah menyerap air dalam jumlah banyak. Kepekaan mineral ini terhadap air berpengaruh terhadap rendahnya daya dukung tanah.

Rendahnya daya dukung tanah seringkali berakibat pada kerusakan struktur (Kemal, 2013). Parameter tanah yang diperlukan untuk mengetahui daya dukung tanah pada umumnya dinyatakan dengan besarnya nilai kuat tekan dan CBR (*California Bearing Ratio*). Buruknya sifat tanah lempung ekspansif dapat berakibat fatal pada bangunan, maka perlu diadakan upaya perbaikan struktur tanah untuk mengatasi sifat tanah lempung ekspansif yang merugikan.

Upaya perbaikan struktur tanah merupakan suatu cara untuk memperbaiki sifat-sifat tanah agar memenuhi syarat-syarat teknis tertentu. Secara umum perbaikan tanah yang digunakan adalah memodifikasi atau melakukan penanganan khusus untuk menghasilkan tanah yang baik (Ibrahim, 2014). Dalam memperbaiki struktur tanah harus memperhatikan aspek lingkungan, salah satunya adalah mengenai pemanfaatan limbah yang tidak terpakai. Salah satu limbah yang akan digunakan dalam stabilisasi tanah ekspansif adalah limbah kaca.

Limbah kaca merupakan salah satu limbah yang sulit untuk diolah, karena merupakan salah satu limbah padat yang tidak dapat terurai, terbakar, dan membusuk. Limbah ini biasanya dihasilkan oleh pabrik, rumah tangga, dan industri kecil. Berdasarkan data statistik Kementerian Lingkungan Hidup (KLH) tahun 2013 jumlah presentase limbah kaca sebesar 1,7% dari total limbah secara keseluruhan 64 juta ton per tahun. Akibatnya

limbah ini dapat mencemari air, tanah, dan udara. Akan tetapi didalam serbuk kaca terdapat kandungan silika 90,06% yang bersifat pozzolanik (Hutagalung, 2016). Kandungan silika ini dapat mengisi rongga rongga pada tanah sehingga membuat daya dukung tanah meningkat.

Menurut penelitian yang dilakukan Sri Wahyuni Hutagalung dengan judul “Kajian Kuat Tekan Bebas Stabilisasi tanah Lempung dengan *Stabilizing Agents* Serbuk Kaca dan Semen” didapat adanya penambahan campuran semen dan serbuk kaca nilai kuat tekan semakin meningkat tetapi hanya sampai variasi campuran 2% PC + 9% SK, pada variasi campuran tersebutlah nilai kuat tekan tanah yang paling maksimum, pada waktu pemeraman 1 hari yaitu sebesar 2,72 kg/cm² dan pada waktu pemeraman 14 hari yaitu sebesar 2,79 kg/cm². Terjadinya kenaikan kuat tekan tanah ini dikarenakan adanya absorbs air oleh semen dan reaksi pertukaran ion dan membentuk kalsium silikat dan kalsium aluminat yang mengakibatkan kekuatan tanah meningkat. Adanya reaksi *pozzolan* membuat partikel-partikel lempung menggumpal sehingga mengakibatkan konsistensi tanah menjadi lebih baik.

Menurut penelitian yang dilakukan Indah Handayasari (2014) dengan judul “Stabilisasi Tanah Pada Lahan Bekas Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Dengan Pemanfaatan Serbuk Limbah Botol Kaca Sebagai Bahan Campuran” didapatkan hasil pengolahan data yang dilakukan menunjukkan semakin besar persentase penambahan serbuk kaca dan semakin lama waktu pemeramannya, maka kadar air dari tanah tersebut akan semakin turun. Selain itu penambahan serbuk kaca dapat menurunkan batas cair tanah. Nilai batas cair tanah tertinggi terdapat pada sampel tanah dengan campuran 0% serbuk kaca dan dengan lama waktu pemeraman 0 hari, 7 hari, 10 hari dan 14 hari (tanah asli TPA) sebesar 60,9135%. Sedangkan nilai batas cair tanah terendah terdapat pada sampel tanah dengan campuran 20% serbuk kaca dan dengan lama waktu pemeraman 14 hari sebesar 39,4650%. Batas cair dan batas plastis tanah berguna untuk menentukan angka indeks plastisitas. Angka indeks plastisitas merupakan

pengurangan nilai batas cair tanah dengan nilai batas plastis tanah. Nilai indeks plastisitas menjadi semakin kecil seiring dengan bertambahnya kadar serbuk kaca yang dicampur.

Selain limbah kaca, limbah *gypsum* juga merupakan salah satu material yang termasuk dalam kategori limbah B3 (Bahan Beracun dan Berbahaya) sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 18 Tahun 1999. Gypsum biasa digunakan sebagai bahan campuran untuk semen portland ataupun pupuk. Selain itu *gypsum* juga banyak dimanfaatkan dalam bahan bangunan sebagai lis plafon, plester, cetakan keramik, dan lain sebagainya. Akan tetapi dalam penggunaannya seringkali menimbulkan limbah buangan yang kurang bisa dimanfaatkan. Terlebih lagi dalam, *gypsum* didominasi oleh mineral kalsium. Salah satu kelebihan *gypsum* adalah salah satu material yang memiliki siklus tertutup atau dapat digunakan terus menerus. Dengan kelebihan sifat ini, limbah buangan *gypsum* ini bisa dimanfaatkan dalam menstabilkan tanah.

Menurut penilitan Fera Ndaru W, dkk yang berjudul Perbaikan Tanah Ekspansif Dengan Penambahan Serbuk *Gypsum* Dan Abu Sekam Padi Untuk Mengurangi Kerusakan Struktur Perkerasan didapatkan hasil CBR di atas didapatkan hasil bahwa nilai CBR terbesar terdapat pada CBR *curing* 14 hari pada variasi kedua yaitu 21,873%. Dan dari hasil penambahan bahan stabilisasi campuran serbuk *gypsum* dan abu sekam padi dapat meningkatkan hasil CBR tidak terendam, meningkatnya nilai CBR sebagaimana adanya proses dari sementasi antar partikel tanah, serbuk *gypsum*, air, dan abu sekam padi selama proses perawatan (*curing*).

Sementasi ini menyebabkan penggumpalan tanah yang menyebabkan meningkatnya daya ikat antar butiran, hal ini juga akan meningkatkan kemampuan saling mengunci antar butiran dan selain itu rongga-rongga pori yang ada akan terisi oleh bahan campuran sebagaimana salah satu fungsi abu sekam padi sebagai bahan filler atau bahan pengisi.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Siregar, dkk dengan judul "Limbah *Gypsum* Lis Plafon Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah

Lempung" didapatkan hasil indeks plastisitas tanah asli yaitu sebesar 31,27% sedangkan pada tanah dengan limbah *gypsum* 12% diperoleh nilai IP sebesar 25,69%. Terjadi penurunan Indeks plastisitas sebesar 17,84% terhadap tanah asli. Hal ini disebabkan karena bahan tambah limbah *gypsum* menjadikan tanah mudah mengalami keretakan yang diakibatkan daya lekat yang rendah pada tanah yang dicampurkan dengan limbah *gypsum* 12%.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui: (1) perubahan nilai daya dukung tanah bila distabilkan menggunakan limbah kaca dan limbah *gypsum*, (2) presentase optimum penggunaan limbah kaca dan limbah *gypsum* terhadap nilai daya dukung tanah.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian dengan menggunakan metode eksperimen.

Subjek penelitian ini adalah campuran tanah desa Soko, Ngawi dengan limbah *gypsum* dan serbuk kaca dengan persentase penambahan 0%, 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% dari berat tanah.

Sampel tanah akan dilakukan pengujian indeks properties tanah untuk mengetahui karakteristik tanah berupa uji kadar air (SNI 1965:2008), uji batas cair (SNI 1967:2008), uji batas plastis (SNI 1966:2008), uji berat jenis (SNI 1964:2008), uji distribusi ukuran butiran (SNI 3423:2008) dan uji pemadatan (SNI 1742:2008).

Parameter yang digunakan untuk mengetahui daya dukung tanah digunakan pengujian CBR laboratorium, yaitu berupa CBR *soaked* (terendam) dan CBR *unsoaked* (tak terendam) yang berdasarkan metode standart menurut SNI-03-1744-2012.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, sampel tanah yang diambil dari desa Soko, Ngawi. Sampel tanah yang diambil pada kedalaman 1 meter.

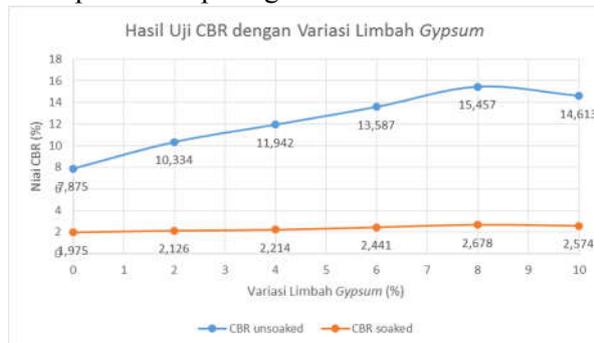
Hasil penelitian yang dilakukan oleh Sudjianto (2015) mengenai kandungan mineral pada tanah desa Soko, Ngawi didominasi oleh mineral *montmorillonite* sebesar 49,74% dan mineral *halloysite* sebesar 45,10%. Kedua mineral inilah yang mendominasi susunan

mineral tanah desa Soko, Ngawi. Oleh karena itu, tanah desa Soko, Ngawi dikategorikan sebagai tanah lempung ekspansif. Hal ini sejalan dengan pernyataan Chen (1975) yang menyatakan bahwa tanah ekspansif sebagai salah satu jenis tanah berbutir halus berukuran kolodial yang terbentuk dari mineral-mineral ekspansif yaitu: *montmorillonite*, *illite*, *kaolinite*, *halloysite*, *chlorite*, *vermiculite*, dan *attapulgite*.

Pada tanah lempung ekspansif, Chen mengklasifikasikan tanah ekspansif berdasarkan indeks plastisitasnya. Dimana dari hasil penelitian didapatkan bahwa nilai indeks plastisitas sampel tanah desa Soko, Ngawi didapatkan nilai sebesar 90,8755 %. Hal ini menurut pendapat Chen (1988), tanah ini diklasifikasikan kedalam tanah ekspansif dengan potensial ekspansif yang sangat tinggi.

a. Pengujian CBR pada Variasi Limbah Gypsum

Pada pengujian CBR dengan variasi limbah *gypsum* menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan nilai CBR seiring dengan penambahan limbah *gypsum* dan mencapai titik puncak pada variasi 8% dan mengalami penurunan pada penambahan variasi 10%. Selengkapnya dapat dilihat pada grafik berikut ini:



Gambar 1. Grafik CBR dengan Variasi Limbah *Gypsum*

Peningkatan nilai CBR *unsoaked* maupun CBR *soaked* disebabkan karena terjadinya sementasi akibat penambahan limbah *gypsum*. Menurut Syawal (2016) sementasi menyebabkan pengumpulan yang dapat meningkatkan daya ikat antara butiran. Meningkatnya ikatan antar butiran, maka akan meningkatnya kemampuan saling mengunci antar butiran. Selain itu, rongga pori yang telah ada sebagian akan

dikelilingi bahan sementasi yang lebih keras, sehingga butiran tidak mudah hancur atau berubah bentuk karena pengaruh air.

Menurut Maritha Nilam Kusuma dan Yulfiah (2018) tanah dengan tekstur halus, seperti tanah liat memiliki ruang pori lebih banyak, sehingga berkemampuan menahan air lebih banyak. Pada *clay*, ruang antar pori tidak berhubungan, sehingga air tidak bisa lewat.

Menurut Krebs dan Walker (1971) reaksi yang menyebabkan meningkatnya pengaruh kekuatan tanah ini diperkirakan karena terciptanya lingkungan partikel tanah yang beralkaline tinggi sehingga mendesak ion kalsium sehingga terjadi flokulasi yang hebat.

Penelitian yang dilakukan Siregar, dkk (2018) dengan judul “Limbah *Gypsum* Lis Plafon Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Lempung” menunjukkan terjadinya penurunan Indeks plastisitas sebesar 17,84% terhadap tanah asli. Hal ini disebabkan karena bahan tambah limbah *gypsum* menjadikan tanah mudah mengalami keretakan yang diakibatkan daya lekat yang rendah pada tanah yang dicampurkan dengan limbah *gypsum* 12%. Dengan berkurangnya nilai Indeks Plastisitas akan mengurangi pula sifat mengembang dan menyusutnya tanah yang terlalu besar, sehingga tanah dalam keadaan stabil (Purnomo, 2011).

b. Pengujian CBR pada Variasi Serbuk Kaca

Pada pengujian CBR dengan variasi serbuk kaca menunjukkan bahwa nilai CBR cenderung naik pada penambahan serbuk kaca 2%,4%, dan mencapai titik puncak pada penambahan serbuk kaca 6%. Akan tetapi pada penambahan serbuk kaca 8%, dan 10% nilai CBR mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena pada penambahan serbuk kaca sebesar 6%, serbuk kaca bekerja efektif menyelimuti pori-pori tanah sehingga menambah kekuatan tanah tersebut. Selengkapnya dapat dilihat pada grafik berikut ini:



Gambar 2. Grafik CBR dengan Variasi Serbuk Kaca

Reaksi antara SiO_2 bukan merupakan reaksi kimia, SiO_2 terhadap air menyebabkan adsorpsi fisika dimana molekul air akan terperangkap pada pori-pori SiO_2 . Dimana setelah molekul air terperangkap di dalam pori-pori SiO_2 , pori-pori SiO_2 akan tertutup rapat dan molekul air akan terikat didalamnya, hal ini mengakibatkan tanah lempung akan menjadi kering dan keras.

Pada pengujian, tanah dipadatkan untuk mempertinggi kerapatan tanah yaitu dengan mengeluarkan udara pada pori-pori tanah yang biasanya menggunakan energi mekanis. Tujuan pemadatan adalah memperkecil rongga-rongga udara, karena dalam tanah terdiri atas tiga bagian yaitu : butiran tanah, air dan udara. Bila air ditambahkan kepada tanah yang dipadatkan, partikel-partikel tanah lebih mudah bergeser merapat dan padat, bila kadar air tanah mencapai harga tertentu, adanya penambahan kadar air justru menurunkan kepadatan tanah. Hal ini karena air mengisi rongga pori yang sebelumnya diisi oleh butiran tanah. Kadar air pada saat berat volume kering mencapai maksimum disebut kadar air optimum (Wopt) (Herman, 2013).

Pada penelitian yang dilakukan Indah Handayasari (2016) dengan judul "Stabilisasi Tanah Pada Lahan Bekas Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Dengan Pemanfaatan Serbuk Limbah Botol Kaca Sebagai Bahan Campuran" menjelaskan jika penambahan serbuk kaca dapat menurunkan batas cair tanah. Batas cair dan batas plastis tanah berguna untuk menentukan angka indeks plastisitas. Nilai indeks plastisitas menjadi semakin kecil

seiring dengan bertambahnya kadar serbuk kaca yang dicampur.

c. Pengujian CBR pada Variasi Limbah Gypsum dan Serbuk Kaca

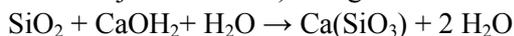
Pada pengujian CBR pada variasi limbah *gypsum* dan serbuk kaca didapatkan hasil bahwa adanya pengaruh penggunaan limbah *gypsum* dan juga serbuk kaca. Pada variasi limbah *gypsum* didapatkan penggunaan limbah *gypsum* maksimum pada variasi 10%, sedangkan pada variasi serbuk kaca didapatkan variasi maksimum pada variasi 6%. Setelah kedua bahan divariasikan, ternyata didapatkan kecenderungan kenaikan nilai CBR pada variasi tersebut, akan tetapi di beberapa variasi mengalami penurunan. Nilai CBR maksimum didapatkan pada variasi 10% limbah *gypsum* dengan 8% serbuk kaca.

Variasi antara limbah *gypsum* dengan serbuk kaca yang banyak mengakibatkan nilai CBR campuran tanah semakin menurun, hal ini dikarenakan pori-pori tanah terisi oleh bahan tambah (*additive*) dan menyebabkan hasil penetrasi pada pengujian CBR menurun. Menurut pendapat Ibrahim (2014), hal ini disebabkan karena *additive* bersifat mengikat/ menyelimuti pori-pori pada butiran, sehingga proses masuknya air pada tanah terhambat.

Selain itu, peningkatan nilai CBR dikarenakan percampuran antara limbah *gypsum* dan serbuk kaca yang menimbulkan reaksi *pozzolanic*. Apabila senyawa kapur dengan mineral lempung atau dengan mineral halus lainnya atau dengan komponen *pozzolan* seperti silika hidrat (*hydrous silica*) bereaksi, maka akan membentuk suatu gel yang kuat dan keras yaitu kalsium silikat yang mengikat butir-butir atau partikel tanah (Diamond & Kinter, 1965 dalam Ingles dan Metcalf, 1972). Gel silika bereaksi dengan segera melapisi dan mengikat partikel lempung dan menutup pori-pori tanah.

Reaksi *pozzolanisasi* menghasilkan kristal $\text{Ca}(\text{SiO}_3)$ yang bersifat mengikat butiran lempung dengan butiran lempung serta butiran lempung dengan $\text{Ca}(\text{SiO}_3)$. Untuk mencapai kekuatan penuh proses

pozzolanisasi dapat terjadi dalam beberapa tahun. Reaksi pozzolanisasi (Wijaya, 1994 dalam Sujatmaka 1998) sebagai:



Nilai CBR terendam lebih rendah dari CBR tak terendam karena pada CBR terendam keadaan tanah dikondisikan seperti halnya di lapangan dan dalam keadaan jenuh sehingga kadar airnya meningkat dan melebihi kadar air optimum pada masing-masing campuran yang berakibat pada menurunnya daya dukung dari sampel tersebut.

Makin tinggi kadar airnya makin kecil kekuatan nilai CBR dari tanah tersebut. Walaupun demikian, hal itu tidak berarti bahwa sebaiknya tanah dipadatkan dengan kadar air rendah untuk mendapatkan nilai CBR yang tinggi, karena kadar air tidak tahan konstan pada nilai rendah itu.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian pengaruh penambahan limbah *gypsum* dan serbuk kaca pada tanah lempung ekspansif di desa Soko, Ngawi, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai CBR *unsoaked* pada tanah asli sebesar 7,875% sedangkan pada CBR *soaked* sebesar 1,975%, setelah dilakukan stabilisasi dengan limbah *gypsum* dan serbuk kaca mengalami perubahan nilai CBR *unsoaked* menjadi 38,327% dan CBR *soaked* menjadi 6,252%.
2. Nilai CBR maksimum didapatkan pada variasi 10% limbah *gypsum* dengan 8% serbuk kaca.

SARAN

1. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh waktu pemeraman terhadap nilai daya dukung tanah.
2. Perlu diadakan penelitian pengaruh limbah *gypsum* dan serbuk kaca pada kuat geser tanah lempung ekspansif.
3. Perlu pengkajian yang mendalam mengenai senyawa-senyawa yang bereaksi didalam proses sementasi pada tanah lempung ekspansif.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, F.H. 1975,. **Foundation on Expansive Soil, Development in Geotechnical Engineering**12, Esevier Scientific Publishing Company, Amsterdam
- Chen, F.H. 1988. **Foundations on Expansive Soils. 2nd Edition**, Elsevier Science Publications, New York.
- Fedra Ndaru W, dkk. 2015. Perbaikan Tanah Ekspansif Dengan Penambahan Serbuk Gypsum Dan Abu Sekam Padi Untuk Mengurangi Kerusakan Struktur Perkerasan. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
- Handayasari, Indah. 2016. Stabilisasi Tanah Pada Lahan Bekas Tempat Pembuangan Akhir (Tpa) Sampah Dengan Pemanfaatan Serbuk Limbah Botol Kaca Sebagai Bahan Campuran. Jurnal Kajian Teknik Sipil Volume 1 Maret 2016
- Hutagalung, Sri Wahyuni. 2016. Kajian Kuat Tekan Bebas Stabilitas Tanah Lempung Dengan Stabilizing Agents Serbuk Kaca Dan Semen . Fakultas Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara.
- Ibrahim. 2014. Stabilisasi Tanah Lempung dengan Bahan Aditif Fly Ash Sebagai lapisan Pondasi Jalan (Subgrade). Jurnal Teknik Sipil Volume 10 No. 1 Maret 2014 ISSN; 1907-6975
- Kementrian Negara Lingkungan Hidup. 2013
- Krebs, R.D and R.D Walker, 1971, **Higway Materials**, McGraw-Hill Book Company, New York, N.Y.
- Kusuma, Maritha Nilam dan Yulfiah. 2018. Hubungan Porositas dengan Sifat Fisik Tanah Pada Infiltration Gallery. Prosiding Seminar Nasional Sains dan teknologi Terapan
- Peraturan Pemerintah No. 18 tahun 1999
- Siregar, dkk. 2018. Limbah Gypsum Lis Plafond Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Lempung. Progam Studi Teknik Sipil Universitas Islam 45 Bekasi.
- SNI 1965-2008. Cara Uji Penentuan Kadar Air Untuk Tanah Dan Batuan di

- Laboratorium. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 1964-2008. Cara Uji Berat Jenis Tanah. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 1967-2008. Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 1966-2008. Cara Uji Penentuan Batas Plastis dan Indeks Plastisitas Tanah. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 1966-2008. Cara Uji Penentuan Batas Plastis dan Indeks Plastisitas Tanah. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 3423-2008. Cara Uji Analisis Ukuran Butiran Tanah. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 1742-2008. Cara Uji Kepdatan Ringan Untuk Tanah. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 1744-2012. Metode Uji CBR laboratorium. Badan Standarisasi Nasional.
- Sudjianto, Agus Tugas. 2015. **Tanah Ekspansif**. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Syawal., Munirwansyah & Saleh, S.M. (2016). Dampak Penambahan Kapur Paada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai CBR Tanah Dasar Konstruksi Jalan. Jurnal Teknik Sipil. Universitas Syiah Kuala.