

Identifikasi Karakteristik Teknik *Subgrade* Jalan (Studi Kasus Jalan Raya Tanak Awu-Pengembur, Lombok Tengah)

Heni Pujiastuti*

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Mataram
Pagesangan Mataram NTB, E-mail:pujiastutih@gmail.com

Adryan Fitrayudha

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Mataram,
Pagesangan Mataram NTB, E-mail:adryan@ummat.ac.id

Adiman Fariyadin

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Mataram,
Pagesangan Mataram NTB, E-mail:adimansipil@gmail.com

Hafiz Hamdani

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Mataram
Pagesangan Mataram NTB, E-mail:hafiz.hamdani@ummat.ac.id

Abstrak

Jalan yang menghubungkan Desa Tanak Awu menuju Desa Pengembur yang berada di Kecamatan Pujut, Lombok Tengah, sering rusak, retak-retak dan bergelombang. Tujuan penelitian ini adalah memaparkan hasil identifikasi karakteristik teknik subgrade Jalan Tanak Awu-Pengembur, meliputi mineralogi, karakteristik fisik, karakteristik mekanik dan karakteristik hidromekanik berdasarkan hasil uji eksperimen di laboratorium agar dapat menjadi masukan bagi institusi terkait. Hasil identifikasi mineralogi dengan metode XRD, sampel tanah mengandung mineral saponite, beidellite dan montmorillonite termasuk dalam kelompok mineral lempung jenis smectite bersifat ekspansif. Hasil Identifikasi karakteristik fisik menyatakan sampel tanah mempunyai indeks plastisitas (PI) sebesar 44,34%, batas cair (LL) sebesar 72,21 % menurut metode ASTM D-1883, Chen (1988), Raman (1967) Ladid dan Lambe (1961) dikategorikan tanah dengan derajat pengembangan sangat tinggi. Hasil Identifikasi karakteristik mekanik dan hidromekanik menyatakan nilai pengembangan tanah sampel 5,539 % (hasil uji CBR) digolongkan sebagai tanah ekspansif. Nilai CBR rendaman desain tanah sampel sebesar 2 % telah memenuhi persyaratan minimum sebagai subgrade jalan, namun untuk subgrade tanah ekspansif, nilai CBR perlu ditingkatkan menjadi lebih besar dari 6 % dengan perbaikan tanah dasar dapat berupa stabilisasi semen atau material timbunan pilihan dengan tebal minimum 600 mm (MDP 2017). Berdasarkan SWCC, sampel tanah lempung memiliki nilai AEV sebesar 600 kPa tetapi nilai residual suction (S_r) tidak dapat diidentifikasi.

Kata-kata Kunci : Lempung ekspansif, CBR, kembang susut, matric suction, AEV

Abstract

The purpose of this research is to describe the results of the identification of the technical characteristics of the Tanak Awu-Pengembur Road subgrade, including mineralogy, physical characteristics, mechanical characteristics, and hydromechanical characteristics, based on the results of experimental tests in the laboratory so that they can be input for related institutions. The results of mineralogical identification using the XRD method showed that the soil samples contained the minerals saponite, beidellite, and montmorillonite, which included in the expansive smectite-type clay mineral group. The results of physical characteristics identification stated that the soil sample had a plasticity index (PI) of 44.34%, a liquid limit (LL) of 72.21% according to the ASTM D-1883 method, Chen (1988), Raman (1967), Ladid and Lambe (1961) which categorized as soil with a very high degree of swelling. The results of mechanical and hydromechanical characteristics identification stated that the swelling value of the sample soil was 5.539% (CBR test results) was classified as expansive soils. The results of mechanical identification stated that the design value of the California Bearing Ratio (CBR) soaked soil sample was 2%. The design value of CBR soaked has met the minimum requirements as a road subgrade. However, for expansive soil subgrades, the CBR value needs to be increased to greater than 6% with subgrade improvement use cement or selected backfill material with a minimum thickness of 600 mm (MDP 2017). Based on SWCC, the clay soil sample has an AEV value of 600 kPa while the residual suction (S_r) value not be identified.

Keywords : Expansive clay, CBR, swelling-shrinkage, matric suction, AEV

* Penulis korespondensi: pujiastutih@gmail.com

1. Pendahuluan

Pemerintah sedang menggalakkan pembangunan infrastruktur jalan untuk menghidupkan perekonomian masyarakat. Salah satu jalan yang dibangun yaitu jalan yang menghubungkan desa Tanak Awu menuju Desa Pengembur yang berada di Kecamatan Pujut, Lombok Tengah. Jalan Tanak Awu-Pengembur merupakan jalan alternatif para wisatawan dari Bandar Udara Internasional Zainuddin Abdul Madjid menuju ke objek-objek wisata di wilayah selatan, antara lain Pantai Mawun dan Pantai Kuta Mandalika. Manfaat pembangunan Jalan Tanak Awu-Pengembur antara lain menunjang perekonomian daerah dan sebagai akses mobilitas masyarakat sehari-hari. Dibalik manfaat jalan yang besar bagi masyarakat, timbul satu permasalahan yang berkaitan dengan infrastruktur jalan yaitu struktur jalan sering rusak, retak-retak dan bergelombang.

Deteriorasi pada perkerasan jalan mulai berkembang akibat dari kombinasi beban lalu lintas dan kondisi lingkungan di sekitar lokasi jalan antara lain jenis tanah yang menyusun *subgrade* pada masa layan. Salah satu penyebab kegagalan perkerasan jalan adalah karakteristik tanah dasar yang buruk, seperti nilai CBR lapisan tanah yang rendah. Tanah dasar yang buruk mempunyai kapasitas dukung tanah yang rendah dan tidak akan mampu melawan penyebaran tegangan-tegangan yang terjadi pada struktur perkerasan selama bekerjanya beban lalu lintas dan selanjutnya akan mengakibatkan lapisan perkerasan amblas (Badaron dkk., 2018).

Tanah ekspansif seringkali menimbulkan kerusakan jalan. Retak-retak pada perkerasan adalah salah satu contoh kerusakan jalan yang dibangun pada tanah ekspansif. Perilaku tanah ekspansif yaitu mengembang jika dalam kondisi basah dan menyusut dalam kondisi kering adalah penyebab munculnya keretakan pada perkerasan jalan yang dibangun diatas tanah ekspansif.

Kerusakan jalan yang diakibatkan oleh perilaku tanah ekspansif dengan ciri antara lain retak pada perkerasan terjadi akibat penyusutan maupun pengembangan tanah, pengangkatan tanah atau cembungan perkerasan jalan dapat diakibatkan oleh mengembangnya tanah ekspansif yang berada di bawah perkerasan, penurunan permukaan perkerasan jalan dapat terjadi akibat berubahnya sifat tanah dasar menjadi tanah lunak atau terjadinya pengecilan volume akibat proses penyusutan, longsor akibat kegagalan kapasitas dukung tanah (Departemen Pekerjaan Umum, 2005). Pernyataan yang sama dikemukakan oleh Hardiyatmo (2014) yang menyatakan kerusakan jalan di atas tanah ekspansif antara lain, jalan retak-retak dan bergelombang yang disebabkan karena sifat kembang susut tanah lempung. Ketika musim penghujan tanah lempung menyerap air dan mengembang, terjadi kenaikan tanah sehingga jalan yang berada diatas tanah menjadi bergelombang tidak teratur. Ketika musim kemarau tanah lempung kering dan menyusut akibatnya jalan yang berada diatasnya menjadi retak retak.

Kondisi geologis Kabupaten Lombok Tengah tersusun dari batuan vulkanik hasil kegiatan gunung api pada masa Plio-Plistosen dan Oligo-Miosen yang termasuk dalam Formasi Kalibabak (TQb), Formasi Kalipalung (TQp) dan Formasi Pengulung (Tomp). Formasi Kalibabak (TQb) terdiri dari breksi dan lava. Tanah pelapukan berupa lempung lanauan, lempung pasir dan pasir lanauan-pasir. Formasi Kalipalung (TQp), terdiri dari perselingan antara breksi gampingan dan lava. Tanah pelapukan umumnya berupa lanau pasir-pasir lanauan dan lempung lanauan-lempung pasir. Formasi Pengulung (Tomp), terdiri dari breksi lahar, lava dan tufa. Tanah pelapukan berupa lempung lanauan- lempung pasir. Dari gambaran kondisi geologis daerah kecamatan Pujut Kabupaten Lombok Tengah tersusun dari batuan yang menghasilkan pelapukan tanah lempung (Warfid, 2014).

Penanganan kerusakan infrastruktur jalan di Indonesia dilakukan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Direktorat Jenderal Bina Marga. Sebagai pihak penyelenggara dan pengelola jalan, Ditjen Bina Marga memiliki wewenang dan tanggung jawab pokok dalam merencanakan desain jalan sesuai standar. Pemilihan desain struktur jalan yang tepat akan lebih efisien dibandingkan dengan perbaikan pada struktur. Oleh karena itu hal penting yang dilakukan untuk menghasilkan desain yang tepat dan efisien adalah identifikasi karakteristik teknik *subgrade* jalan. Identifikasi tersebut meliputi karakteristik fisik, mineralogi, karakteristik hidromekanik dan karakteristik mekanik. Tujuan penelitian ini adalah memaparkan hasil identifikasi karakteristik teknik *subgrade* jalan meliputi mineralogi, karakteristik fisik, karakteristik mekanik dan karakteristik hidromekanik, berdasarkan hasil uji eksperimen di laboratorium mekanika tanah Universitas Muhammadiyah Mataram dan Laboratorium Pusat Survey Geologi, Bandung agar dapat menjadi masukan bagi Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Direktorat Jenderal Bina Marga.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Kapasitas dukung *subgrade*

Tanah dasar (*subgrade*) adalah penopang utama pada konstruksi jalan, kondisi tanah dasar yang tidak stabil berakibat pada kerusakan jalan (Fahriani dkk., 2020). Fungsi *subgrade* adalah menerima tekanan akibat beban lalu lintas yang ada di atasnya tanpa mengalami perubahan dan kerusakan yang berarti (Hermawan dan Syahril, 2016). *Subgrade* atau tanah dasar menerima beban kendaraan yang dilimpahkan ke lapisan perkerasan melalui roda-roda kendaraan selanjutnya disebarkan ke lapisan-lapisan di bawahnya. Dengan demikian tingkat kerusakan konstruksi perkerasan selama masa pelayanan tidak saja ditentukan oleh kekuatan dari lapisan perkerasan tetapi juga tanah dasar. Integritas dari struktur perkerasan bergantung pada kapasitas dukung tanah dasar. Beberapa peneliti menggunakan uji *California Bearing Ratio (CBR)* untuk menentukan karakteristik kapasitas dukung *subgrade* jalan (Kurniawan dkk., 2020; Fahriani dkk., 2020; Ukirman, 2016; Hermawan dan syahril, 2016;

Tabel 1. Standar minimum material *subgrade*

Parameter	Standar Minimum	Satuan	Sumber
Plasticity Index (PI)	< 12	%	Pd T-10-2005-B
Tingkat Keaktifan	≤ 0,75	-	Pd T-10-2005-B
CBR <i>soak</i>	≥ 2	%	MDP 2017
CBR efektif	≥ 6	%	MDP 2017
Swelling Potensial	< 5	%	Pd T-10-2005-B dan MDP 2017
Penurunan	≤ 100	mm	MDP 2017
Perubahan kemiringan ijin	0,3	%	MDP 2017

Pujiastuti dan Ngudiyono, 2014). Uji *CBR* diperuntukkan untuk konstruksi jalan saja, dengan anggapan beban kendaraan merupakan beban sementara dan tidak untuk konstruksi gedung yang menahan beban tetap (Barnas dan Karopeboka, 2014). Mengingat peran pentingnya, maka *subgrade* memiliki persyaratan standar minimal sebagai material lapisan perkerasan jalan seperti dijelaskan pada Tabel 1.

Manual Desain Perkerasan jalan 2017 (MDP 2017), menyatakan tanah dasar perkerasan harus memenuhi kriteria sebagai berikut: (1) harus mempunyai nilai *CBR* rendaman rencana minimum sesuai dengan Bagan Desain-1 MDP 2017; (2) dibentuk dengan benar, sesuai dengan betuk geometrik jalan; (3) dipadatkan dengan baik pada ketebalan lapisan sesuai dengan persyaratan; (4) tidak peka terhadap perubahan air; (5) mampu mendukung beban lalu lintas pelaksanaan konstruksi.

Pedoman konstruksi dan bangunan khususnya yang mengatur penanganan tanah ekspansif untuk konstruksi jalan (Pd T-10-2005-B) menyatakan persyaratan tambahan untuk *subgrade* tanah ekspansif adalah sebagai berikut: (1) tebal minimum timbunan pilihan seperti dinyatakan di dalam Bagan Desain-2. Lapisan timbunan pilihan harus mempunyai permeabilitas rendah atau distabilisasi; (2) Variasi kadar air tanah dasar harus sekecil mungkin. Alternatif pengendaliannya antara lain dengan menutup bahu jalan (*sealed shoulder*), saluran samping diperkeras, pembuatan saluran melintang (*cut-off drain* dan pencegah aliran (*flow inhibitors*) seperti pemasangan lembar plastik secara vertikal pada tanah dasar; (3) dipasang *subdrain* jika penggunaan dapat mengurangi variasi kadar air.

2.2 Tanah ekspansif

Tanah ekspansif adalah tanah yang mempunyai potensi pengembangan atau penyusutan yang tinggi oleh pengaruh perubahan kadar air. Jika kadar air berkurang tanah ekspansif akan menyusut dan sebaliknya akan mengembang jika kadar air bertambah. Tanah yang mudah berubah volumenya ini adalah tanah yang banyak mengandung lempung, terutama yang mengandung mineral *montmorillonite*. Saat lempung mengembang, tekanan pengembangan yang dihasilkan dapat mengangkat bangunan yang berada di atasnya, sehingga

Tabel 2. Perkiraan derajat dan persen pengembangan berdasarkan indeks plastisitas (*PI*) (ASTM D-1883)

Indeks Plastisitas (ASTM D-424)	Derajat pengembangan	Persen pengembangan (ASTM D-1883)
0 - 10	Tidak ekspansif	2 atau kurang
10 - 20	Agak ekspansif	2 - 4
> 20	Ekspansif tinggi	> 4

Tabel 3. Perkiraan potensi pengembangan berdasarkan indeks plastisitas (*PI*) (Chen, 1988)

Indeks Plastisitas (<i>PI</i>)	Potensi pengembangan
> 35	Sangat tinggi
20 - 55	Tinggi
10 - 35	Sedang
0 - 15	Rendah

Tabel 4. Perkiraan derajat pengembangan berdasarkan batas Atteberg

Indeks Plastisitas (<i>PI</i>)	Batas cair (<i>LL</i>)	Derajat pengembangan
< 12	20 - 35	Rendah
12 - 23	35 - 50	Sedang
23 - 32	50 - 70	Tinggi
> 32	70 - 90	Sangat tinggi
	> 90	Ekstra tinggi
Raman (1967)	Ladd dan Lambe (1965)	Referensi

dapat menyebabkan bangunan gedung ringan dan perkerasan jalan rusak serius (Hardiyatmo, 2014). Manual Desain Perkerasan jalan 2017 (MDP 2017) menyatakan tanah ekspansif adalah tanah dengan potensi mengembang (*swelling*) lebih dari 5% (diukur dengan pengujian *CBR* rendaman SNI No. 03-1774-2912 pada kadar air optimum dan kepadatan kering 100%. Pada umumnya tanah dengan *IP* > 70% bersifat ekspansif.

2.3 Metode identifikasi tanah ekspansif

Pedoman konstruksi dan bangunan khususnya yang mengatur penanganan tanah ekspansif untuk konstruksi jalan (Pd T-10-2005-B) dan Hardiyatmo (2014) menyatakan metode identifikasi tanah lempung ekspansif dapat dilakukan secara langsung dan tidak langsung. Identifikasi secara langsung dilakukan melalui pengukuran pengembangan secara langsung, baik terhadap contoh tanah terganggu maupun tidak terganggu. Identifikasi secara tidak langsung dilakukan secara sederhana melalui uji laboratorium umumnya menggunakan nilai batas Atterberg dan prosentase kandungan lempung untuk menggambarkan potensi pengembangan suatu tanah secara kualitatif.

Tabel 5. Klasifikasi perubahan volume tanah-dasar untuk tanah timbunan (Look dkk., 1994)

Weighted Plasticity Index, WPI (%)	Pengembangan CBR terendam (%)	Klasifikasi perubahan volume tanah-dasar	Keterangan
< 1200	< 1	Sangat rendah	Bisa untuk <i>sub-base</i>
1200 - 2200	1 - 2	Rendah	Bisa untuk <i>capping layer</i>
2200 - 3200	2 - 3	Sedang	Dirancang untuk bergerak sedikit
3200 - 5000	3 - 5	Tinggi	Tidak cocok langsung di bawah perkerasan
>5000	> 5	Sangat tinggi	Harus dibongkar dan diganti atau distabilisasi

Pada penelitian ini identifikasi tanah ekspansif dilakukan secara tidak langsung antara lain: identifikasi mineralogi menggunakan difraksi sinar X (*X-Ray Diffraction*), identifikasi menggunakan korelasi antara potensi pengembangan dengan batas-batas Atteberg yang diusulkan oleh ASTM D-1883, Chen (1988), Raman (1967), Ladd dan Lambe (1961), Look dkk. (1994) ditunjukkan pada Tabel 2 – 5.

3. Material dan Metode Penelitian

3.1 Sampel tanah

Sampel tanah diambil disekitar Jalan Raya Tanak Awu -Pengembur, Kecamatan Pujut, Kabupaten Lombok Tengah, Nusa Tenggara Barat. Peta dan foto lokasi pengambilan tanah sampel dapat dilihat pada Gambar 1. Secara visual sampel tanah lempung memiliki warna hitam keabuan, pada kondisi kering tanah berbongkah-bongkah dan keras sedangkan pada kondisi basah tanah licin dan liat (plastis).

3.2. Pengujian mineralogi tanah

Pengujian mineralogi tanah lempung dilakukan untuk mengetahui kandungan mineral lempung yang bersifat ekspansif pada tanah *subgrade*. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Pusat Survey Geologi, Bandung, menggunakan metode *XRD (X-Ray Diffraction)* dengan memberikan dua metode yaitu *air-dried* dan *ethylene glycol*. Perlakuan tambahan tersebut bertujuan untuk mengidentifikasi spesies mineral lempung tertentu yang tidak muncul pada perlakuan *air-dried*.

3.3. Pengujian karakteristik hidromekanik

Pengujian sifat hidromekanik dilakukan untuk mengetahui perilaku *matric suction* ketika tanah mengalami desaturasi yang digambarkan dalam *SWCC (Soil Water Characteristic Curve)*. Kurva *SWCC* merupakan kurva yang terbentuk dari hubungan antara derajat kejenuhan dan *matric suction*. Pada penelitian ini *matric suction* diukur menggunakan metode *filter paper* kontak yang mengacu pada ASTM D 5298-03, sedangkan derajat kejenuhan ditentukan dengan memberikan beberapa variasi kadar air pada sampel uji.

3.4 Pengujian karakteristik fisik

Pengujian sifat-sifat fisik dilakukan untuk menentukan sifat-sifat fisik sampel tanah. Jenis dan metode pengujian sifat fisik diuraikan pada Tabel 6.

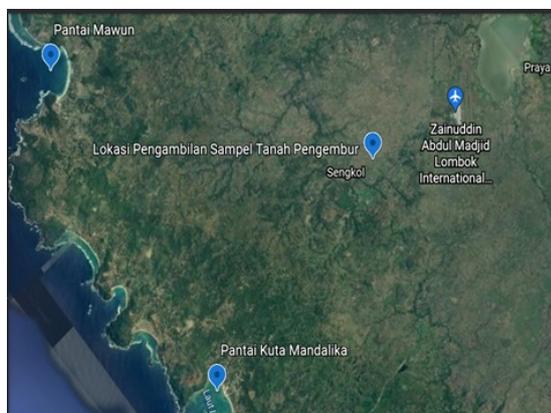
3.5. Pengujian karakteristik mekanik sampel tanah

Pengujian sifat mekanik sampel tanah digunakan untuk menentukan kapasitas dukung tanah *subgrade* menggunakan uji *CBR* baik rendaman dan non rendaman. Sampel tanah untuk uji *CBR* dibuat pada kadar air optimum hasil uji pemadatan standar Proctor. *CBR* desain ditentukan pada 95% kepadatan kering maksimum uji pemadatan standar Proctor, pelaksanaan pengujian *CBR* mengacu pada SNI-1744:2012.

4. Hasil Penelitian dan pembahasan

4.1. Hasil uji mineralogi sampel tanah

Kandungan jenis mineral lempung pada sampel tanah lempung diuji menggunakan metode difraksi sinar X (*X*



(a)



(b)

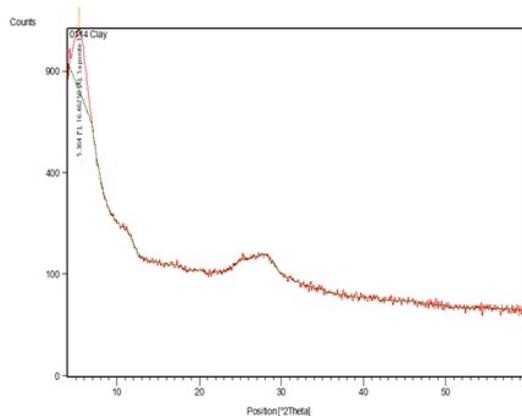
Gambar 1. Lokasi Pengambilan Sampel Tanah: (a) Peta; (b) Foto

Tabel 6. Pengujian karakteristik fisik sampel tanah

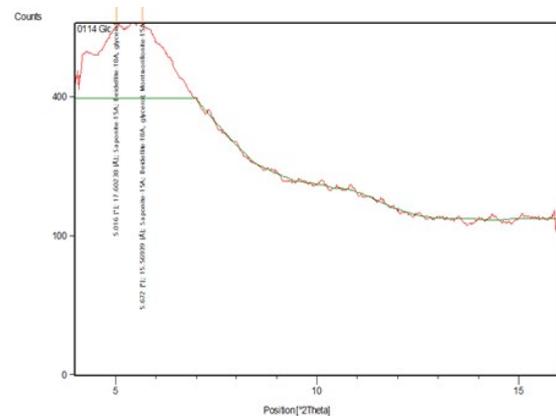
No	Jenis pengujian	Metode pengujian
1	Kadar air	ASTM D2216-98
2	Gradasi butiran: -Uji saringan -Uji hidrometer	ASTM D1140-00 ASTM D422-63
3	Specific gravity	ASTM D854-02
4	Klasifikasi tanah	ASTM 2487-93
5	Batas-batas konsistensi tanah	ASTM D4318-00
6	Pemadatan tanah Standard Proctor	ASTM D698

- Ray Diffraction atau XRD). Pengujian dilakukan di Laboratorium Pusat Survei Geologi Bandung. Pada pengujian XRD ini menggunakan dua metode yaitu metode *air-dried* dan *ethylene glycolated*. Dari Agregat tanah lempung, fraksi lempung dipisahkan menggunakan metode sentrifugasi ditaruh pada kaca preparat lalu di angin anginkan di udara terbuka sebelum ditembak dengan XRD, kemudian sampel ditembak kembali setelah diperlakukan dengan etilen glikol. Perlakuan tambahan tersebut bertujuan untuk mengidentifikasi spesies mineral lempung tertentu yang tidak muncul pada perlakuan *air-dried*. Hasil analisis mineral lempung menggunakan dua metode XRD (metode *air-dried* dan *ethylene glycolated*) ditunjukkan pada Gambar 2.

Gambar 2a menunjukkan bahwa sampel tanah lempung teridentifikasi mineral *saponite* pada metode *air-dried*. Setelah diperlakukan dengan etilen glikol (metode *ethylene glycolated*) teridentifikasi *beidellite* dan *montmorillonite* yang ditunjukkan pada Gambar 2b. Gambar 2 menunjukkan hasil analisis lempung dengan dua metode XRD teridentifikasi tiga jenis mineral lempung yaitu *saponite*, *beidellite* dan *montmorillonite*. Ketiga jenis mineral lempung tersebut masuk dalam kelompok mineral lempung *smectite*. Kelompok *smectite* merupakan salah satu susunan kelompok mineral lempung yang sangat mudah mengembang atau ekspansif. Kelompok mineral lempung *smectite* merupakan mineral lempung yang banyak mengakibatkan masalah karena partikel-partikel hanya terikat secara lemah (Hardiyatmo, 2014).



Metode Air Dried



Metode Ethylene Glycolated

Gambar 2. Hasil Analisis Mineral Lempung dengan Dua Metode XRD Mengidentifikasi Keberadaan Mineral Lempung Jenis Saponite, Beidellite dan Montmorillonite

4.2. Hasil uji karakteristik fisik sampel tanah

Pengujian sifat-sifat fisik sampel tanah dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Muhammadiyah Mataram. Hasil uji sifat-sifat fisik sampel tanah seperti ditampilkan pada Tabel 7.

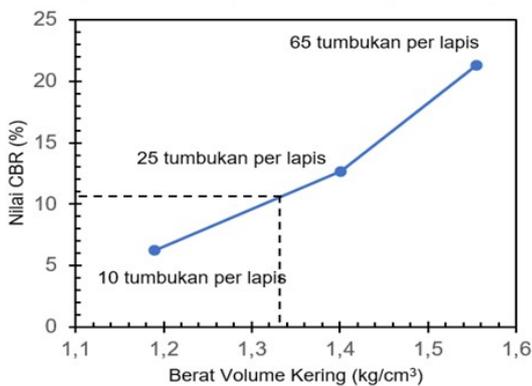
Tabel 7 menunjukkan pengujian sifat-sifat fisik yang dilakukan antara lain uji kadar air, *specific gravity*, uji batas cair, uji batas plastis, uji saringan, uji hidrometer, uji pemadatan standar Proctor. Data hasil pengujian sifat-sifat fisik tanah antara lain nilai *specific gravity*, nilai batas cair, nilai batas plastis, nilai indeks plastisitas, distribusi ukuran butiran dari uji saringan dan hidrometer selanjutnya digunakan sebagai data klasifikasi tanah. Hasil klasifikasi tanah menyatakan sampel tanah termasuk kelompok CH yaitu lempung tak organik dengan plastisitas tinggi menurut *Unified Soil Classification System (USCS)*, sedangkan menurut sistem *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)* termasuk kelompok A-7-6 merupakan tanah berlempung sebagai tanah dasar dengan kategori sedang sampai buruk. Sedangkan data

Tabel 7. Hasil uji karakteristik fisik sampel tanah

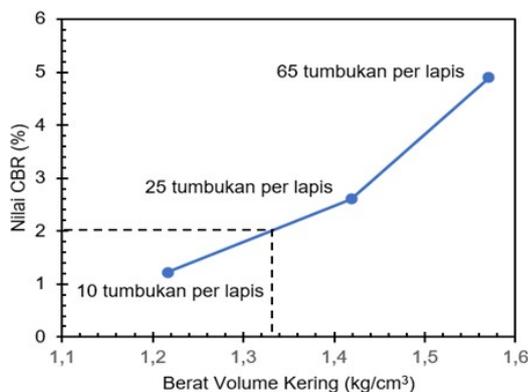
No.	Parameter	Hasil
1	Specific gravity (G)	2.59
2	Batas konsistensi tanah	1.788 gr/cm ³
	Batas cair (LL)	72.21 %
	Batas plastis (PL)	27.87 %
	Indeks plastisitas (PI)	44,34 %
5	Distribusi ukuran butiran (standar USCS)	
	Kerikil (>2 mm)	1,54 %
	Pasir (2 – 0,075 mm)	21,52 %
	Lanau dan lempung (< 0,075 mm)	76,94 %
6	Berat volume basah (g _b)	1,788 gr/cm ³
7	Berat volume kering maksimum (g _{dmax})	1.408 gr/cm ³
8	Kadar air optimum (w _{opt})	27 %.
9	Klasifikasi Tanah	
	USCS	CH
	AASHTO	A-7-6
10	Aktifitas (A)	2,66

berat volume kering maksimum dan kadar air optimum digunakan untuk pembuatan sampel uji CBR rendaman dan non rendaman.

Identifikasi pengembangan tanah berdasarkan nilai batas konsistensi tanah dan nilai aktifitas (A) pada **Tabel 7** menyatakan sebagai berikut: (1) sampel tanah mempunyai indeks plastisitas (*PI*) sebesar 44,34 % atau lebih besar dari 20 %, ASTM D-1883 mengategorikan sebagai tanah dengan derajat pengembangan ekspansif tinggi; (2) sampel tanah mempunyai indeks plastisitas (*PI*) sebesar 44,34 % atau lebih besar dari 35 %, Chen (1988), mengategorikan sebagai tanah dengan potensi pengembangan sangat tinggi; (3) sampel tanah mempunyai indeks plastisitas (*PI*) sebesar 44,34 % atau lebih besar dari 32 %, Raman (1967), mengategorikan tanah dengan derajat pengembangan sangat tinggi; (4) sampel tanah mempunyai batas cair (*LL*) sebesar 72,21 % atau antara 70 – 90 %, Ladid dan Lambe (1961) mengategorikan sebagai tanah dengan derajat pengembangan sangat tinggi; (5) sampel tanah mempunyai indeks plastisitas (*PI*) sebesar 44,34 % atau lebih besar dari 32 %, Pd T-10-2005-B menggolongkan sebagai tanah dengan tingkat pengembangan yang tinggi dan melebihi standar yang dipersyaratkan yaitu *PI* sebesar 12%. Sampel tanah memiliki nilai aktifitas (A) sebesar 2,66 atau lebih besar dari 1,25 maka tanah sampel termasuk tanah dengan potensi pengembangan aktif.



Gambar 3. Penentuan nilai CBR desain non rendaman



Gambar 4. Penentuan nilai CBR desain rendaman

4.3. Hasil uji karakteristik mekanik sampel tanah

Pada penelitian ini pengamatan terhadap karakteristik mekanik sampel tanah dilakukan menggunakan uji CBR non rendaman dan CBR rendaman. Pengujian CBR desain dilakukan mengacu pada SNI-1744:2012. Tiga sampel tanah dipersiapkan pada kadar air optimum (w_{opt}) dan berat volume kering maksimum (g_{dmak}) hasil uji pemadatan standar Proctor, ditunjukkan pada **Tabel 7**. Sampel tanah dipadatkan dengan tiga variasi tumbukan yaitu 10 tumbukan per lapis, 25 tumbukan per lapis dan 65 tumbukan per lapis. Lalu digambarkan kurva hubungan antara nilai CBR dengan berat volume kering. Nilai CBR desain ditentukan pada berat volume kering 95 % dari berat volume kering maksimum (g_{dmak}) hasil uji pemadatan tanah standar Proctor. Penentuan nilai CBR non rendaman desain dan nilai CBR rendaman desain diperlihatkan pada **Gambar 3** dan **4**. Foto pengujian CBR ditunjukkan pada **Gambar 5**.

Hasil uji CBR non rendaman desain seperti ditunjukkan pada **Gambar 3** diperoleh sebesar 10,7 %. Pada uji CBR rendaman, diperoleh nilai CBR desain sebesar 2 % seperti ditunjukkan pada **Gambar 5** dengan nilai pengembangan sebesar 5,539 %. Hasil identifikasi karakteristik mekanik sebagai berikut: (1) berdasarkan MDP 2017, pada bagan desain-1 standar minimum persyaratan nilai CBR rendaman desain pada fondasi jalan ditentukan 2 % untuk tanah lempung. Jadi nilai CBR rendaman desain tanah sampel diatas telah memenuhi persyaratan minimum sebagai subgrade. Tanah sampel mempunyai nilai pengembangan dari hasil uji CBR rendaman sebesar 5,539 % atau lebih besar dari 5 % maka MDP 2017 menggolongkan sampel tanah sebagai tanah ekspansif. Penanganan untuk tanah ekspansif, berdasarkan bagan desain-2 nilai CBR perlu ditingkatkan menjadi lebih besar dari 6 % dengan perbaikan tanah dasar dapat berupa stabilisasi semen atau material timbunan pilihan dengan tebal minimum 600 mm (sesuai persyaratan spesifikasi umum, devisi 3-pekerjaan tanah); (2) berdasarkan Pd T-10-2005-B, ketebalan lapisan tanah ekspansif yang dipengaruhi oleh fluktuasi kadar airnya

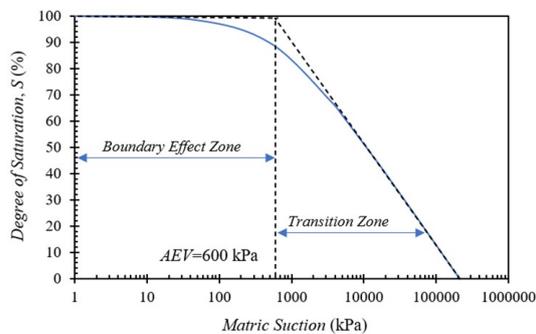


Gambar 5. Foto pengujian CBR

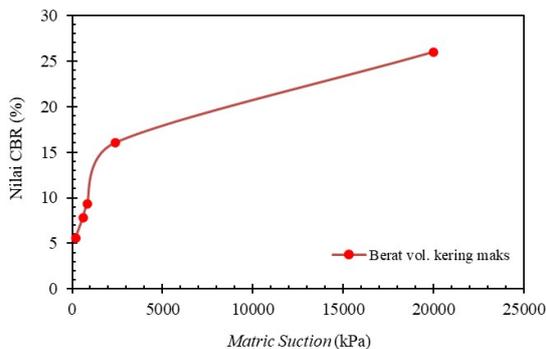
yaitu kedalaman dari permukaan tanah yang memiliki potensi mengembang atau menyusut (zona aktif) pada kadar air $w_{opt} - 3\%$, w_{opt} dan $w_{opt} + 3\%$ berturut-turut 540 mm, 610 mm dan 670 mm; (3) identifikasi tanah mengembang dari hasil uji CBR rendaman menggunakan metode Look dkk. (1994), hasil identifikasi menyatakan nilai pengembangan CBR terendam sebesar 5,539 %, dapat diklasifikasikan sampel tanah mempunyai perubahan volume tanah-dasar sangat tinggi, harus dibongkar dan diganti atau distabilisasi.

4.4. Hasil uji CBR pada kondisi jenuh dan jenuh Sebagian

Desain fondasi diasumsikan kondisi jenuh untuk mewakili kondisi terlemah, sedangkan pada realitanya di lapangan fondasi jalan dibangun pada tanah dengan rentang kondisi jenuh sampai jenuh sebagian, karena Indonesia mengalami dua musim yaitu musim kemarau dan musim penghujan. Desain fondasi yang mengasumsikan tanah dalam kondisi jenuh mengabaikan pengaruh *matric suction* pada kapasitas dukung fondasi (Pujiastuti dkk., 2021). Berdasarkan Pd T-10-2005-B kapasitas dukung tanah pada tanah ekspansif harus memperhitungkan kondisi jenuh (*saturated*) dan jenuh sebagian (*unsaturated*) yang melibatkan *matric suction*. Pada penelitian ini untuk mengukur *matric suction* menggunakan metode *filter paper* (ASTM D 5298-03). Metode filter paper telah digunakan untuk mengukur *matric suction* pada penelitian yang telah dilakukan oleh Pujiastuti (2018). Sampel tanah berjumlah 12 buah dipersiapkan dengan kadar air yang berbeda-beda pada berat volume kering yang sama. Hasil pengukuran *matric suction* pada beberapa derajat kejenuhan tanah tersebut



Gambar 6. Soil Water Characteristic Curve (SWCC) sampel tanah



Gambar 7. Hubungan antara nilai CBR dengan *matric suction*

lalu digambarkan dalam kurva hubungan antara derajat kejenuhan dan *matric suction*, ditunjukkan pada Gambar 6.

Soil Water Characteristic Curve tanah sampel pada Gambar 6 menggambarkan tahapan desaturasi tanah atau perilaku hidromekanis tanah. Vanapalli dkk. (1996 dalam Pujiastuti dkk., 2018) telah mengidentifikasi tiga tahap desaturasi pada SWCC yaitu *boundary effect stage*, *transition stage*, dan *residual stage of unsaturation*. Pada *boundary effect stage*, semua pori-pori tanah terisi dengan air (jenuh), luas air tidak berkurang pada tahap ini, tahap ini dibatasi oleh *Air Entry Value (AEV)*, yang merupakan nilai *matric suction* pada titik masuk udara terbesar di pori-pori tanah. Pada *transition stage*, tanah mulai *desaturate* (kandungan air berkurang), terjadi peningkatan *matric suction* dan kandungan air di dalam tanah mulai berkurang secara signifikan. Pada *residual stage of unsaturation*, sedikit perubahan kadar air menyebabkan perubahan yang besar pada *matric suction* karena hanya ada sedikit air yang ditemukan pada tahap ini, kandungan air di dalam tanah pada awal tahap ini umumnya disebut sebagai kandungan air sisa (*residual water content*). Terlihat pada Gambar 7, sampel tanah lempung memiliki nilai *AEV* sebesar 600 kPa tetapi nilai *residual suction (Sr)* tidak dapat diidentifikasi melalui grafik SWCC. Gilson dkk. (2004) menyatakan tanah lempung memiliki *AEV* lebih tinggi daripada tanah lanauan (*silty*) dan pasir (*sandy*) dan *residual points* yang tidak selalu dapat diidentifikasi secara visual, gaya serap mempengaruhi SWCC pada hampir seluruh rentang *matric suction* tanah dan aliran uap memiliki peran penting pada transfer kelembaban melewati *residual points*. Oleh karena itu teori kapiler tidak dapat sepenuhnya menjelaskan perilaku SWCC pada tanah lempung. SWCC sampel tanah lempung hasil penelitian ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Gilson dkk., (2004).

Kapasitas dukung *subgrade* diperoleh dari uji CBR non rendaman. Untuk menghasilkan sampel uji dengan kondisi jenuh sebagian sampai jenuh dengan cara memberikan variasi kadar air dengan interval $w_{opt} - 3\%$ sampai $w_{opt} + 3\%$. Pada penelitian ini dipersiapkan 5 sampel uji CBR dengan kadar air 13,15 %, 23,78 %, 27,71 %, 28,56 % dan 30,78 % yang bersesuaian dengan derajat kejenuhan 40,6 %, 73,4 %, 85,5 %, 88,2 % dan 95 %. Dengan bantuan SWCC dapat ditentukan *matric suction* pada tiap-tiap derajat kejenuhan. Selanjutnya digambarkan kurva hubungan antara *matric suction* dengan nilai CBR seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Hubungan antara nilai CBR dan *matric suction* pada sampel tanah dengan berat volume kering maksimum (g_{dmak}) hasil uji standar Proctor dinyatakan pada Gambar 7. Pada bagian awal kurva sampai pada nilai *AEV* peningkatan nilai CBR tanah terhadap *matric suction* dalam bentuk linier, pada tahap ini tanah dalam kondisi *saturated*. Selanjutnya pada *matric suction* antara 600-2400 kPa, terlihat nilai CBR tanah mulai meningkat signifikan. Pada tahap ini tanah mulai desaturasi, udara mulai masuk pada sebagian besar pori-pori tanah dan kadar air menurun. Peningkatan kapasitas dukung tanah (nilai CBR) yang tinggi ini, berhubungan dengan gaya antar partikel yang

dihasilkan akibat tekanan air pori negatif. Pada *matric suction* yang tinggi yaitu antara 2400-20000 kPa, peningkatan nilai *CBR* terhadap peningkatan *matric suction* lebih landai, hal ini disebabkan kadar air yang rendah sehingga tidak mengirimkan *matric suction* secara efektif ke titik kontak partikel tanah. Peningkatan *matric suction* yang besar tidak menghasilkan peningkatan kuat geser secara signifikan. Hubungan antara nilai *CBR* pada tanah jenuh dan jenuh sebagian ini sesuai dengan hasil penelitian Pujiastuti dkk. (2018).

Gambar 7 di atas memperlihatkan bahwa pada kadar air di atas 28,56 % ($w_{opt}+2\%$) sampel tanah mempunyai daya dukung yang memenuhi *CBR* efektif yaitu di atas 6 % namun sampel tanah dengan kadar air di bawah 28,56 % ($w_{opt}-2\%$) tidak memenuhi nilai *CBR* efektif yaitu 6 %. Sedangkan kondisi kadar air dilapangan ketika musim penghujan dijumpai mencapai 52,06 %. Oleh karena itu tanah *subgrade* Jalan Tanak Awu-Pengembur sebagai tanah ekspansif perlu penanganan yang tepat. Menurut Pd T-10-2005-B, penanganan konstruksi jalan di atas tanah ekspansif pada prinsipnya adalah menjaga agar perubahan kadar air tidak terlalu tinggi atau dengan mengubah sifat tanah lempung ekspansif menjadi tidak ekspansif. Dengan adanya perubahan kadar air yang tidak terlalu tinggi tersebut terjadi perubahan sifat ekspansif tanah pada periode musim hujan dan kemarau yaitu tidak terjadi perubahan volume yang berarti. Metode penanganan tanah ekspansif difokuskan ke dalam dua hal, yaitu perencanaan konstruksi jalan baru dan perbaikan konstruksi jalan lama. Usaha penanganan yang paling penting adalah mengupayakan agar tanah lempung tidak menimbulkan kerusakan pada struktur perkerasan jalan. Oleh karena itu penanganan harus dilakukan dengan beberapa alternatif, untuk mengetahui sifat tanah lempung yang akan dicegah atau diubah sifatnya. Beberapa alternatif metode-metode konstruksi di atas tanah ekspansif : (1) penggantian material, (2) manajemen air, (3) stabilisasi antara lain stabilisasi dengan kapur, stabilisasi dengan semen dll., (4) penggunaan membrane antara lain membran geosintetik, membran pelat beton, membran aspal, membran horizontal, membran vertical, membran pembungkus lapisan tanah, (5). pembebanan

5. Kesimpulan

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa :

1. Hasil identifikasi mineralogi dengan metode *XRD*, sampel tanah mengandung mineral *saponite*, *beidellite* dan *montmorillonite* termasuk dalam kelompok mineral lempung jenis *smectite*. Kelompok *smectite* merupakan salah satu susunan kelompok mineral lempung yang sangat mudah mengembang atau ekspansif.

Hasil Identifikasi karakteristik fisik menyatakan:

2. Tanah sampel mempunyai indeks plastisitas (*PI*) sebesar 44,34 menurut metode ASTM D-1883, Chen (1988), Raman (1967) dapat dikategorikan tanah dengan derajat pengembangan sangat tinggi,

3. Tanah sampel mempunyai batas cair (*LL*) sebesar 72,21 % menurut metode Ladid dan Lambe (1961) dapat dikategorikan tanah dengan derajat pengembangan sangat tinggi,
4. Berdasarkan Pd T-10-2005-B, sampel tanah mempunyai indeks plastisitas (*PI*) sebesar 44,34 % atau lebih besar dari 32 % digolongkan sebagai tanah dengan tingkat pengembangan yang tinggi dan melebihi standar yang dipersyaratkan yaitu *PI* sebesar 12%.
5. Sampel tanah memiliki aktifitas (*A*) sebesar 2,66 atau lebih besar dari 1,25 maka tanah sampel termasuk tanah dengan potensi pengembangan aktif.

Hasil Identifikasi karakteristik mekanik dan hidromekanik menyatakan:

6. Berdasarkan MDP 2017, tanah sampel mempunyai nilai pengembangan dari uji *CBR* 5,539 % digolongkan sebagai tanah ekspansif. Nilai *CBR* rendaman desain tanah sampel di atas sebesar 2 % telah memenuhi persyaratan minimum sebagai *subgrade* jalan, namun untuk penanganan *subgrade* jalan pada tanah ekspansif nilai *CBR* perlu ditingkatkan menjadi lebih besar dari 6 % dengan perbaikan tanah dasar dapat berupa stabilisasi semen atau material timbunan pilihan dengan tebal minimum 600 mm.
7. Berdasarkan Pd T-10-2005-B, Ketebalan lapisan tanah ekspansif yang dipengaruhi oleh fluktuasi kadar airnya yaitu kedalaman dari permukaan tanah yang memiliki potensi mengembang atau menyusut (zona aktif) pada kadar air $w_{opt} - 3\%$, w_{opt} dan $w_{opt} + 3\%$ berturut-turut 540 mm, 610 mm dan 670 mm.
8. Identifikasi tanah mengembang dari hasil uji *CBR* rendaman menggunakan metode Look et al. (1994) menyatakan nilai pengembangan *CBR* terendam sebesar 5,539 %, dapat diklasifikasikan perubahan volume tanah-dasar sangat tinggi, harus dibongkar dan diganti atau distabilisasi.
9. Berdasarkan *SWCC*, sampel tanah lempung memiliki nilai *AEV* sebesar 600 kPa tetapi nilai *residual suction* (*Sr*) tidak dapat diidentifikasi,
10. Berdasarkan uji *CBR* dengan variasi kadar air kondisi jenuh (*saturated*) dan jenuh sebagian (*unsaturated*), pada bagian awal kurva sampai pada nilai *AEV* peningkatan nilai *CBR* tanah terhadap *matric suction* dalam bentuk linier (tanah kondisi *saturated*), selanjutnya pada kenaikan *matric suction* (antara 600 kPa-2400 kPa), terlihat nilai *CBR* tanah mulai meningkat signifikan (tanah mulai desaturasi), peningkatan *matric suction* yang lebih tinggi (antara 2400 kPa-20000 kPa), peningkatan nilai *CBR* terhadap peningkatan *matric suction* lebih landai.
11. Kadar air di atas 28,56 % ($w_{opt}+2\%$) sampel tanah mempunyai daya dukung yang memenuhi *CBR* efektif yaitu di atas 6 % namun sampel tanah dengan kadar air di bawah 28,56 % ($w_{opt}+2\%$) tidak memenuhi nilai *CBR* efektif yaitu 6 %. Sedangkan kondisi kadar air dilapangan ketika

musim penghujan dijumpai mencapai 52,06 %. Oleh karena itu tanah-dasar Jalan Tanak Awu-Pengembur berupa tanah ekspansif perlu penanganan yang tepat. Penanganan konstruksi jalan di atas tanah ekspansif telah dijelaskan pada Pd T-10-2005-B.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang dalam kepada Universitas Muhammadiyah Mataram dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Muhammadiyah Mataram atas dukungan dana dan program untuk penelitian ini, juga pada Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Muhammadiyah Mataram atas penggunaan fasilitasnya.

Daftar Pustaka

- American Standard Testing and Material (ASTM D-422-63), 2006, *Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*, Annual book of ASTM standards, Vol. 04.08, Philadelphia, USA.
- American Standard Testing and Material (ASTM D-424), 2006, *Standard Test Method for Plastic Limit and Plasticity Index of Soils*, Annual book of ASTM standards, Vol. 04.08, Philadelphia, USA.
- American Standard Testing and Material (ASTM D-698), 2006, *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12,400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m/m³))*, Annual book of ASTM standards, Vol. 04.08, Philadelphia, USA.
- American Standard Testing and Material (ASTM D-854-02), 2006, *Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer*, Annual book of ASTM standards, Vol. 04.08, Philadelphia, USA.
- American Standard Testing and Material (ASTM D-1149-00), 2006, *Standard test method for amount of material in soils finer than the no. 200 (75 μ m) sieve*, Annual book of ASTM standards, Vol. 04.08, Philadelphia, USA.
- American Standard Testing and Material (ASTM D-1883), 2006, *Standard Test Method for California Bearing*
- American Standard Testing and Material (ASTM D-2216-98), 2006, *Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass*, Annual book of ASTM standards, Vol. 04.08, Philadelphia, USA.
- American Standard Testing and Material (ASTM D-2487-93), 2006, *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*, Annual book of ASTM standards, Vol. 04.08, Philadelphia, USA.
- American Standard Testing and Material (ASTM D-4318-00), 2006, *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*, Annual book of ASTM standards, Vol. 04.08, Philadelphia, USA.
- American Standard Testing and Material (ASTM D-5298-03), 2006, *Standard Test Method for Measurement of Soil Potential (Suction) Using Filter Paper*, Annual book of ASTM standards, Vol. 04.08, Philadelphia, USA.
- Badan Standardisasi Nasional, 2012, *Metode Uji CBR Laboratorium*, SNI 1744:2012, BSN, Jakarta.
- Badaron, S. F., Samang, L., Harianto, T., dan Djamaluddin, R., 2018, *Studi Eksperimental Kapasitas Dukung dan Prilaku Deformasi Lapisan Subgrade Perkerasan Kaku Akibat Pengaruh Siklus Basah-Kering*, Prosiding Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil (KNPTS), Inovasi dan Riset Keselamatan Dan Kesehatan Kerja untuk Pembangunan Infrastruktur Berkelanjutan.
- Barnas, E. dan Karopeboka, B., 2014, *Penelitian Kekuatan Tanah Metode CBR (California Bearing Ratio) di SPBG Bogor 1 Bubulak Jl. KH. R. Abdullah Bin Nuh*, <https://ejournal.borobudur.ac.id/index.php/teknik/article/view/326>, downloaded 2021.
- Chen, F.H., 1988, *Foundation of Expansive Soils*, American Elsevier Science Publication, New York.
- Departemen Pekerjaan Umum, 2005, *Pedoman Konstruksi dan Bangunan: Pedoman Penanganan Tanah Ekspansif untuk Konstruksi Jalan (Pd T-10-2005-B)*, Departemen Pekerjaan Umum.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017, *Manual Desain Perkerasan (MDP): Manual Perkerasan Jalan*, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Fahriani, F., Yofianti, D., Saputra, E. dan Misriani, M., 2020, *Perbaikan Subgrade pada Jalan Kampung Keramat di Kota Pangkalpinang dengan Menggunakan Kapur Padam sebagai Bahan Stabilisasi Tanah*, Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil, Vol. 17, No.1, Edisi April, Hal. 22-30.
- Gilson de F.N., Gitirana Jr. dan Fedlund, D.G, 2004, *Soill-Water Characteristic Curve Equation with Independent Properties*, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Vol.130 No.2 ASCE.
- Hardiyatmo, H., C., 2014, *Tanah Ekspansif*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- Hermawan, T. dan Syahril, 2016, *Kajian Perbaikan Subgrade dari Tanah Ekspansif Menggunakan Spent Calatyst RCC 15 dan Abu Batok Kelapa*

Sawit, Potensi: Jurnal Sipil Politeknik, Vol. 18 No. 2, Edisi September, Hal. 105-121.

- Kurniawan, S., Hadijah, I, dan Ma'ruf, D., A., R., 2020, *Analisis Daya Dukung dan Beban Kendaraan Terhadap Kerusakan Perkerasan Jalan Raya Pada Ruas Jalan Raya Metro-Tanjung Kari*, Tapak Vol. 9 No. 2
- Ladd, C.C. and Lambe, T. W., 1961, *The Identification and Behavior of Compacted Expansive Clays*, Proc., Fifth International Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Farish, Vol.1, pp.201-205.
- Look, B.G., Reeves I. N. and Williams, D.J., 1994, *Development of a Specification for Expansive Clay Road Embankment*, 17th Australian Road Research Board Conf. August, Part s.pp 249-264.
- Pujiastuti, H. dan Ngudiyono, 2014, *Penentuan Panjang dan Prosentase Serat Plastik Optimum Berdasarkan Hasil Uji CBR Campuran Tanah Lempung, Trass, Limbah Asetilen dan Serat Limbah Plastik*, Jurnal Teknik Sipil ITB, Vol. 21, No.3, Hal. 197-204.
- Pujiastuti, H., Rifa'i, A., Adi, A. D. dan Fathani, T.F., 2018, *The Effect of Matric Suction on The Shear Strength of Unsaturated Sandy Clay*, International Journal of GEOMATE, Vol.14 (Issue 42):112-119.
- Pujiastuti, H., Rifa'i, A., Adi, A. D. dan Fathani, T.F., 2021, *Analytical and Experiment Study of Pile Capacity in Unsaturated Sandy Clay*, International Review of Civil Engineering, Vol.12 N. 1:1-
- Raman, V., 1967, *Identification of Expansive Soils from Plasticity Index and Shrinkage Index Data*, The Indian Engineer, Calcuta, Vol. 11, No.1, pp. 17-22.
- Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils, *Annual book of ASTM standards*, Vol. 04.08, Philadelphia, USA.
- Ukirman, 2016, *Karakteristik Daya Dukung Tanah Dasar (Subgrade) Tanah Lempung Merah Kampus Polines Melalui Uji CBR dengan Bahan Tambah Kapur*, Wahana Teknik Sipil Vol. 21 No. 2, Hal 122-129.
- Wafid, A. N. M., Sugiyanto, Pramudyo, T. dan Sarwondo, 2014, *Resume Hasil Kegiatan Pemetaan Geologi Teknik Pulau Lombok Skala 1:250.000*, Pusat Sumber Daya Air Tanah dan Geologi Lingkungan, Badan Geologi Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral.