

TINJAUAN TANAH SUBGRADE DI BAWAH BADAN JALAN TOL RUAS GEDAWANG-PENGGARON STA 6+200 SEMARANG JAWA TENGAH

*Reviews Subgrade at The Bottom of Highway Segment Gedawang-
Penggaron STA 6+200 Semarang Central Java*

Ary Sismiani

Fakultas Teknik, Universitas Wijayakusuma
Program Studi Teknik Sipil
Jl Raya Beji Karang Salam Purwokerto
email : arysismiani@yahoo.co.id

ABSTRAK

Tanah dasar (subgrade) dibawah tanah timbunan yang terletak pada STA 6+200 adalah claysilt . Di STA ini terjadi gerakan tanah di sisi badan jalan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meninjau karakteristik tanah subgrade yang terletak di bagian bawah sisi badan jalan tersebut dan keterkaitannya dengan gerakan tanah yang terjadi. Ada 5 variasi benda uji yang digunakan pada penelitian ini (dengan kadar air yang berbeda), yaitu 10,59% , 25,19% , 30,06% , 45,93% , dan 50,67%. Selanjutnya dilakukan uji sifat mekanis tanah, yaitu uji CBR (terendam dan tidak terendam air) dan uji geser langsung. Hasil uji yang diperoleh berupa nilai CBR terendam air (soaked) sebesar 5,55% (w=10,59%) , 2,43% (w=30,06%) , dan 1,04% (w=50,67%), sedangkan untuk CBR tak terendam air (unsoaked) adalah 12,25% , 8,67% , 6,24% , 1,73% , dan 1,39%. Dari hasil uji geser langsung didapatkan nilai kohesi dan sudut gesek internal sebagai berikut : nilai kohesi 0,20 kg/cm² , 0,55 kg/cm² , 0,57 kg/cm² , 0,28 kg/cm² dan , 0,28 kg/cm² , sedangkan sudut gesek internal tanah 26,05° , 24,60° , 23,42° , 16,69° , dan 15,76°. Berdasarkan hasil yang diperoleh nilai CBR yang memenuhi syarat untuk subgrade berada pada kadar air maksimum w 30,06% (SR 48,62% yaitu 6,24% , nilai kohesi dan sudut gesek internalnya adalah c 0,57 kg/cm² dan ϕ 23,42°. Pada kadar air yang makin tinggi akan menyebabkan tanah claysilt tersebut mengalami penurunan kuat geser dan daya dukung tanah yang ditandai dengan makin kecilnya sudut gesek internal dan nilai CBR nya. Untuk meningkatkan parameter kuat geser tanah dan daya dukung tanah, maka perlu suatu upaya yang harus dilakukan untuk mempertahankan atau mengurangi kadar air tanah yang berlebih dengan cara mengurangi eksese tekanan air pori. Untuk itu direkomendasikan pembuatan drainase terbuka atau drainase permukaan memanjang pada pada kaki lereng.

Kata kunci : claysilt, kadar air, daya dukung, kuat geser tanah

Abstract

Subgrade under the soil pile located at STA 6+200 is claysilt. This happens in this STA ground movement on the side of the road. The purpose of this study was to review the subgrade soil characteristics located on the bottom side of the highway and its association with the movement of land affected. There are five variations of the specimen used in this study (with different moisture content), ie 10.59% , 25.19% , 30.06% , 45.93% , and 50.67%. Further test the mechanical properties of the soil, the CBR test (soaked and unsoaked) and direct shear test. The test results were obtained soaked CBR value amounted to 5.55% (mc = 10.59%), 2.43% (mc = 30.06%) and 1.04% (mc = 50.67%) while unsoaked CBR was 12.25% , 8.67% , 6.24% , 1.73% and 1.39%. Direct shear test results obtained values of cohesion and internal friction angle as follows : the value of cohesion 0.20 kg/cm² , 0.55 kg/cm² , 0.57 kg/cm² , 0.28 kg/cm² , 0.28 kg/cm² , while the angle of internal friction of

soil 26.05° , 24.60° , 23.42° , 16.69° , 15.76°. Based on the value CBR eligible for subgrade is at 30.06% maximum moisture content (SR = 48.62%), ie 6.24%, value of cohesion and internal friction angle is $c = 0.57 \text{ kg/cm}^2$ and $\phi = 23.42^\circ$. At higher water levels will cause the claysilt soil shear strength and decreased soil bearing capacity indicated by the size of the angle of internal friction and its CBR value. To increase the shear strength parameters of the soil and the soil bearing capacity, it is necessary that an effort should be made to maintain or reduce excessive soil moisture by reducing excess pore water pressure. For that, recommended installing surface drainage or elongated open drainage at the foot of the slope.

Keyword : claysilt, moisture content, bearing capacity, shear strength

PENDAHULUAN

Pekerjaan pembangunan jalan Tol Semarang-Solo yang dilakukan pada ruas Semarang-Bawen seksi II Gedawang-Penggaron secara umum terdiri dari pekerjaan galian, timbunan, *overpass*, *underpass*, *box culvert* dan dua buah jembatan yaitu jembatan Susukan dan jembatan Penggaron.

Berkaitan dengan dibangunnya konstruksi jembatan Susukan, masalah yang timbul adalah terjadinya gerakan massa tanah di sekitar jembatan tersebut yang ditandai dengan retakan pada bukit di atasnya.

Gerakan massa tanah ini menyebabkan abutment mengalami pergeseran dan dikhawatirkan akan membahayakan kestabilan jembatan. Selanjutnya berkaitan pula dengan masalah tersebut adalah lereng di sekitar jembatan tersebut, yaitu di STA 2+600 yang juga mengalami gerakan tanah pada sisi badan jalan.

Tanah *claysilt* diperkirakan merupakan jenis tanah yang berada di dasar timbunan yang sangat tinggi, terutama di lokasi STA 6+200. Penelitian perlu dilakukan untuk mengetahui karakteristik *claysilt* yang ada pada lokasi tersebut serta keterkaitannya dengan gerakan tanah yang terjadi. Penelitian dilakukan dengan cara mengambil sampel tanah di sekitar STA 6+200, untuk kemudian dilakukan uji laboratorium pada tanah tersebut. Ada beberapa hal yang akan dikaji tentang tanah pada STA 6+200 sebagai berikut : sifat fisis dan sifat mekanis tanah (CBR dan kuat geser), pengaruh perubahan kadar air akibat pengaruh hujan di lokasi tersebut terhadap

sifat fisis dan mekanis, perilaku tanah dan usaha-usaha penanggulangannya, sehingga untuk mendapatkan karakteristik tanah diperlukan pengambilan sampel guna dilakukan uji di laboratorium.

METODE PENELITIAN

Bahan

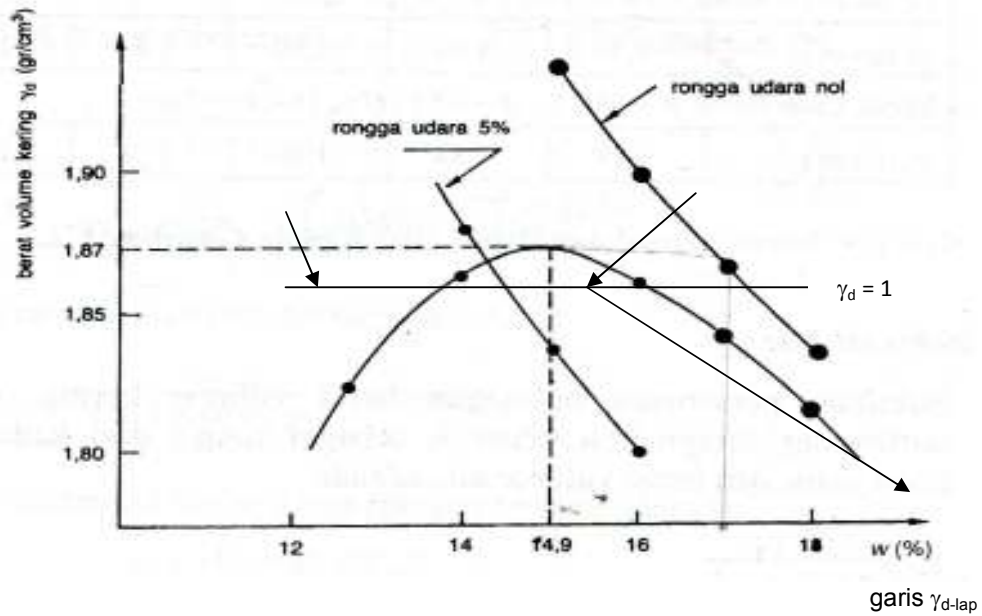
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *claysilt* yang berasal dari STA 6+200 ruas Gedawang-Penggaron. Sampel yang digunakan adalah sampel terganggu (*disturb sample*), sedangkan air yang digunakan adalah air aquades.

Alat

Dalam penelitian ini, pengujian dilaksanakan di lapangan (uji *sandcone*) dan di Laboratorium Mekanika Tanah JTSL FT UGM dengan peralatan yang digunakan sebagai berikut : satu set alat uji *sandcone*, satu set saringan (ASTM D 421-58), satu set hidrometer (ASTM 422-63), alat uji gravitas khusus (AASHTO T-100-74 dan ASTM D-854-02), satu set alat uji batas konsistensi (ASTM D 423-66, D 424-66 dan D 427-61), satu set alat pemadat standar ASTM D698-78, satu set alat uji CBR (ASTM D 1883-94), satu set alat uji geser langsung (ASTM D3080-98), satu set alat bantu yang terdiri dari oven, timbangan dengan ketelitian 0.01 dan desikator.

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian terdiri dari tahap persiapan, uji laboratorium, perhitungan hasil dan pembahasan, serta kesimpulan.



Gambar 1. Kurva hubungan berat volume kering dan kadar air guna mendapatkan γ_{d-lap}

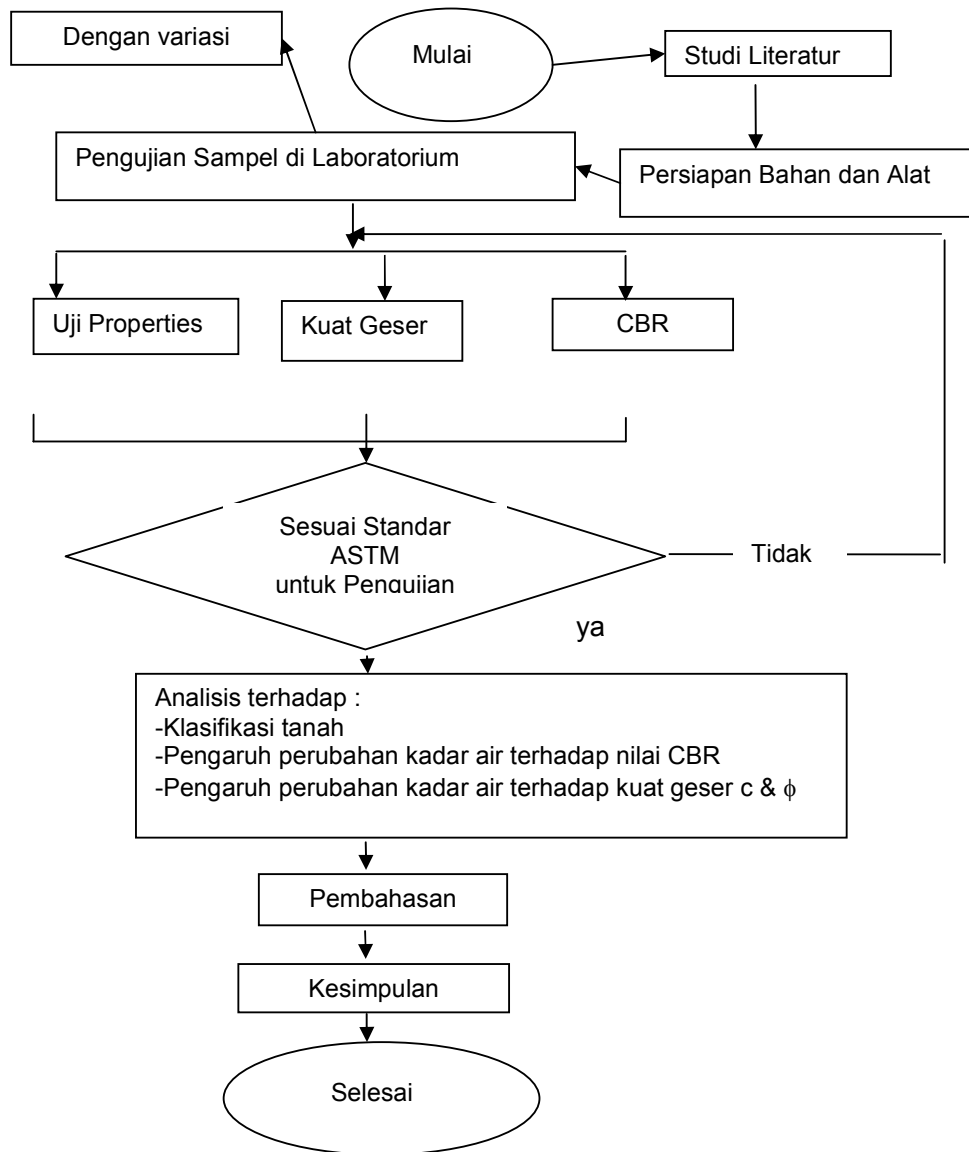
Tahap persiapan

Tahap persiapan dilakukan dengan pengambilan sampel tanah *claysilt* dan uji *sandcone* di lokasi sekitar STA 6+200 ruas Gedawang-Penggaron.

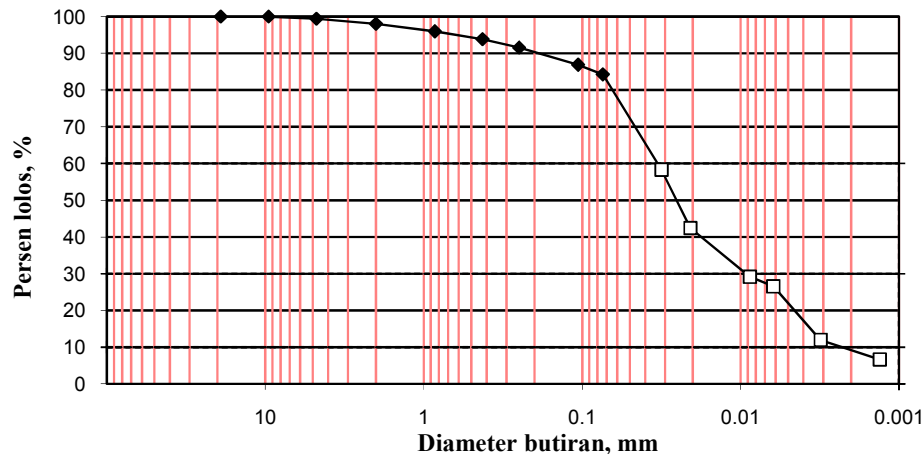
Uji laboratorium

Uji laboratorium terdiri dari : uji kadar air, untuk mengetahui banyaknya kandungan air dalam tanah (**Gambar 1**), uji gravitas khusus, untuk menghitung nilaiberat isi kering (kepadatan tanah), uji

batas Atterberg, untuk mengetahui batas cair (LL), batas plastis (PL), indeks plastisitas (PI) serta batas susut, analisis saringan dan hidrometer, uji Proctor standar dan Proctor modifikasi, uji CBR dan uji geser langsung, untuk mendapatkan nilai CBR maupun nilai parameter kuat geser tanah pada berbagai variasi kadar air. Alur penelitian dapat dilihat dalam **Gambar 2**



Gambar 2 Bagan alir penelitian.



Gambar 3 Grafik gradasi butiran tanah asli

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Tanah

Untuk mengetahui karakteristik tanah, pertama-tama perlu dilakukan penentuan klasifikasi tanah.

Berdasarkan **Gambar 3**, diketahui bahwa butiran tanah yang lolos saringan No.200 (0,075 mm) sebesar 84,24% > 50%, bila dihubungkan dengan nilai batas cair (LL) sebesar 75,67%, serta nilai indeks plastisitas (PI) sebesar 26,57%, maka menurut Unified Soil Classification System (USCS) tanah asli tersebut termasuk pada kelompok MH yaitu jenis tanah lanau anorganik atau lanau elastis dengan plastisitas tinggi.

Menurut *American Association State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), tanah asli termasuk dalam klasifikasi kelompok A-7-5, yaitu tanah lanau-lempung yang buruk.

Sifat teknis tanah dasar (subgrade) di STA 6+200 mempunyai kadar air $w = 50,8\%$. Resume hasil uji secara lengkap dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Kepadatan Tanah dan Derajat Kejenuhan

yang digunakan pada uji pertama adalah tanah yang telah sengaja dikeringkan beberapa hari di bawah terik sinar matahari yaitu 10,6%. Kadar air ini juga digunakan sebagai kadar air awal pada uji CBR dan uji geser langsung.

Sebagai dasar dalam penentuan klasifikasi tanah, maka dilakukan Uji distribusi ukuran butir terhadap tanah tersebut. Hasil pengujian distribusi ukuran butir dapat dilihat pada **Gambar 3**.

Tabel 1 Hasil Uji Sifat fisis dan klasifikasi tanah

No.	Parameter	Hasil
1.	Kadar air, w	50,80%
2.	Gravitas khusus, G_s	2,62
3.	Gravel	0,61%
4.	Sand	15,15%
5.	Finer#200	84,24%
6.	Batas cair, LL	75,67%
7.	Indeks plastisitas, IP	26,57%
8.	Batas susut, SL	17,28%
9.	Klasifikasi tanah : AASHTO	A-7-5
	USCS	MH
	Nilai gravitas khusus tanah asli sebesar	2,62

Pada uji pemadatan dilakukan beberapa uji dengan cara mencoba-coba memberikan penambahan air. Kadar air tanah

Hasil uji pemadatan *Proctor standard* dan *Proctor modified* dari tanah asli dapat dilihat pada **Gambar 4**.

Dari hasil uji *sandcone* didapatkan nilai berat isi kering (γ_{d-lap}) sebesar 1,0 gr/cm^3 , dengan kadar air (w_{lap}) sebesar 50,79%. Selain untuk menentukan

kepadatan lapangan nilai γ_{d-lap} ini juga digunakan sebagai parameter tetap pada

Untuk mendapat parameter kuat geser yaitu nilai kohesi (c) dan sudut gesek internal tanah (ϕ) dapat dilakukan dengan menggambarkan variasi

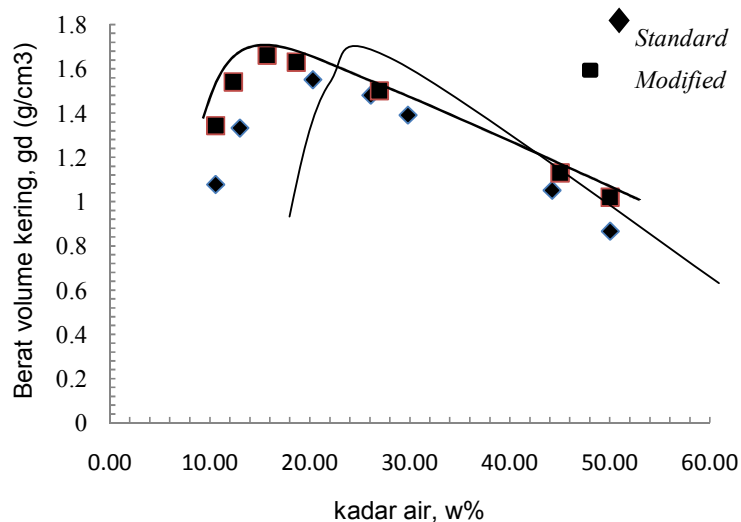
Berdasarkan **Gambar 6** dan **Gambar 7** yang dihasilkan dari uji geser langsung dengan variasi nilai derajat kejenuhan (S_r), nilai kohesi didapatkan dari perpotongan antara sumbu γ dan garis linier dari nilai koordinat tegangan normal dan tegangan geser, sedangkan sudut gesek internal didapatkan dari apitan antara garis horizontal dan garis linier (tegangan normal vs tegangan geser). Sebagai contoh pada $S_r=17,13\%$ nilai $\phi=26,05^\circ$, dan pada $S_r=81,95\%$ nilai $\phi=15,76^\circ$

Berdasarkan **Gambar 8** yang dihasilkan dari uji geser langsung dengan variasi derajat kejenuhan, terlihat bahwa nilai kohesi mengalami kenaikan dari $S_r = 17,13\%$ sampai dengan $S_r = 48,62\%$,

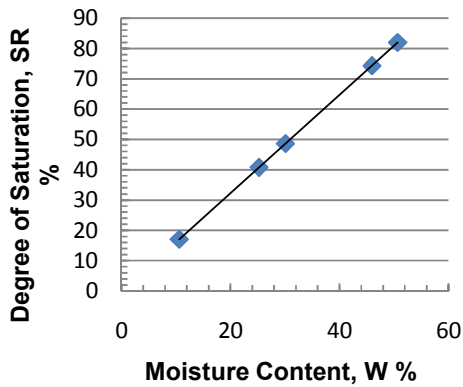
kemudian mengalami penurunan mulai dari $S_r = 48,62\%$ sampai $S_r = 81,95\%$. Hal ini disebabkan karena fungsi lekatan pada sifat *claysilt*, yaitu partikel-partikelnya dapat rusak oleh keadaan tanah yang terlampaui kering atau terlampaui jenuh, sehingga pada kondisi seperti itu lekatan tanah menjadi kurang bagus, akibatnya nilai kohesi yang dihasilkan akan makin kecil.

Nilai sudut gesek internal seperti pada **Gambar 9**, akan semakin kecil dengan semakin besarnya nilai derajat kejenuhan (semakin basah tanah semakin berkurang kekuatannya). Hal ini disebabkan oleh tanah dalam kondisi kering akan cenderung memberi suatu struktur yang berflokulasi, sehingga menambah atau memperbesar bidang kontak antar butiran (Ac).

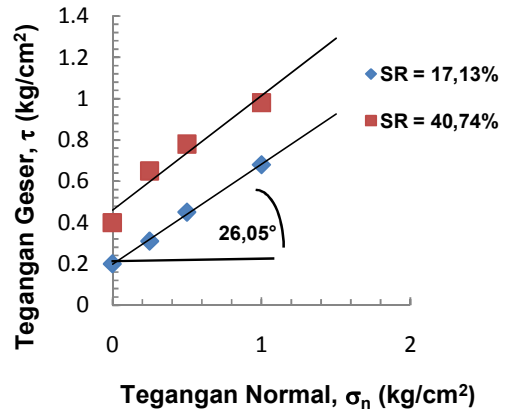
Akibat bertambahnya bidang kontak antar butiran, maka gaya geser yang terjadi pada bidang kontak antar butiran tanah semakin besar yang berarti nilai koefisien friksi meningkat



Gambar 4 Kurva kepadatan uji Proctor Standar dan Modifikasi



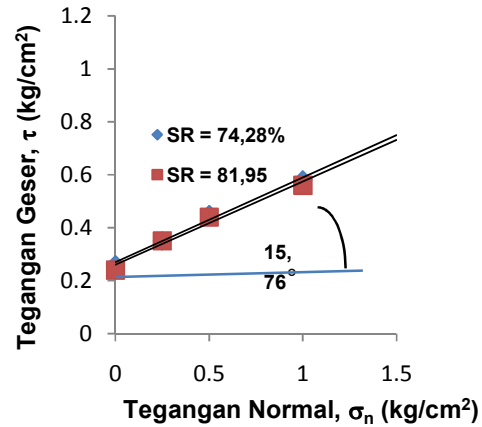
Gambar 5 Grafik Derajat kejenuhan (S_r) pada berbagai variasi kadar air (w).



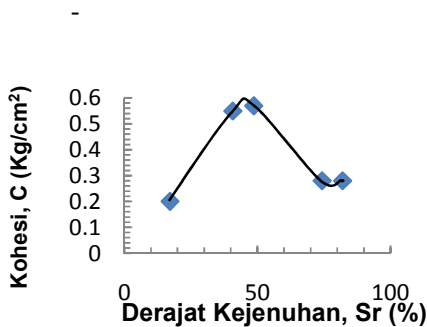
Gambar 6 Kuat geser untuk S_r kurang dari 50%.

Tabel 2 Nilai tegangan geser maksimum terhadap tegangan normal dengan variasi derajat kejenuhan (S_r) pada $\gamma_d = 1 \text{ gr/cm}^3$.

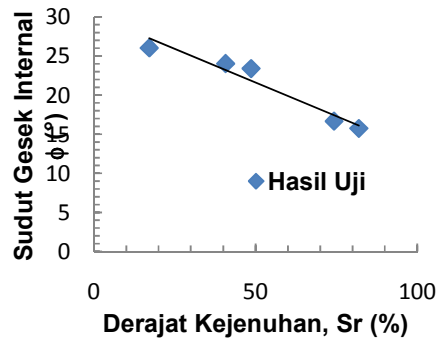
σ_n kg/cm ²	Tegangan Geser Maks, τ_{maks}				
	S_{r-1}	S_{r-2}	S_{r-3}	S_{r-4}	S_{r-5}
0.25	0,31	0,65	0,65	0,35	0,35
0.50	0,45	0,78	0,82	0,45	0,44
1.00	0,68	0,98	0,99	0,58	0,56



Gambar 7 Kuat geser untuk S_r lebih dari 50%.



Gambar 8 Grafik hubungan derajat Kejenuhan dan nilai kohesi

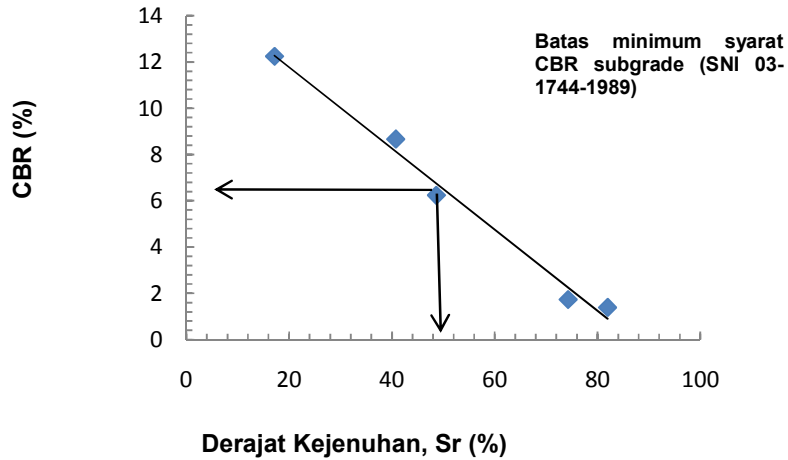


Gambar 9 Grafik hubungan variasi derajat kejenuhan dan sudut gesek internal (ϕ) dengan $\gamma_d = 1 \text{ gr/cm}^3$

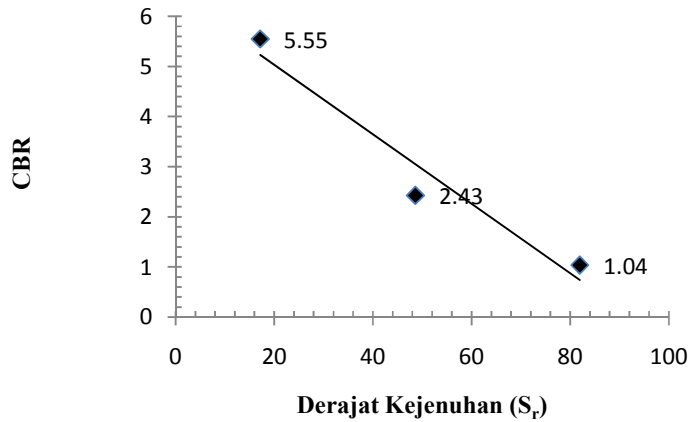
Kadar air untuk uji CBR maupun uji geser langsung. Selanjutnya variasi nilai derajat kejenuhan (S_r) untuk uji CBR dan uji geser langsung dapat dilihat pada **Gambar 5**.

Meningkatnya nilai koefisien friksi ini akan menyebabkan meningkatnya nilai ϕ ,

hal ini disebabkan hubungan nilai koefisien friksi berbanding lurus dengan nilai ϕ , $f = \text{tg } \phi$. Pada **Gambar 9** terlihat nilai ϕ mengalami penurunan



Gambar 10 Hasil uji CBR tanpa Perendaman pada $\gamma_d = 1 \text{ gr/cm}^3$.



Gambar 11 Grafik hubungan derajat kejenuhan (S_r) dengan nilai CBR sampel uji dengan perendaman

Pengaruh Perubahan Kadar Air terhadap Parameter Kuat Geser Tanah

Uji geser langsung dilakukan pada kondisi tidak terendam air, namun sampel dibuat pada berbagai variasi kadar air (w), dengan mempertahankan berat isi kering konstan ($\gamma_d = 1 \text{ gr/cm}^3$).

Nilai tegangan geser maksimum pada berbagai variasi derajat kejenuhan (S_r) dapat dilihat pada **Tabel 2**, sedangkan nilai tegangan geser pada berbagai nilai pergeseran untuk beberapa nilai S_r dapat dilihat pada **Gambar 5**.

Uji CBR dilakukan pada dua kondisi sebagai berikut : kondisi I yaitu kondisi tanpa perendaman air (*unsoaked*), dilakukan dengan keadaan contoh tanah pada kadar air yang bervariasi pada γ_d konstan ($\gamma_d = 1 \text{ gr/cm}^3$).

Mula-mula diinginkan pada kadar air 10%, 25%, 30%, 45%, dan 50%, tetapi setelah dilakukan penumbukan contoh dalam mold dan dilakukan uji kadar air ulang, variasi kadar air tersebut menjadi 10,59%, 25,19%, 30,06%, 45,93%, 50,67%, atau dengan nilai derajat kejenuhan (S_r) 17,13%, 40,74%, 48,62%, 74,28%, 81,95%.

Kondisi II yaitu kondisi dengan perendaman air selama 4 hari (*soaked*), dengan variasi kadar air pada sampel tanah, yaitu 10%, 30%, 50%, berat isi kering konstan ($\gamma_d = 1 \text{ gr/cm}^3$).

Dari nilai berat volume kering konstan dan kadar air (derajat kejenuhan) yang bervariasi didapatkan nilai CBR yang bervariasi pula. Hubungan nilai derajat kejenuhan dan nilai CBR tanah pada γ_d konstan ($\gamma_d = 1 \text{ gr/cm}^3$) dengan berbagai variasi kadar air untuk uji tanpa perendaman (*unsoaked*) seperti dalam **Gambar 10**.

Pengaruh perubahan kadar air terhadap nilai CBR

Berdasarkan **Gambar 10** terdapat pola hubungan bahwa pada berat volume kering yang sama, semakin besar nilai kadar air (derajat kejenuhan) suatu tanah, dalam hal ini tanah *claysilt*, maka nilai CBR akan semakin kecil. Nilai CBR yang diperbolehkan untuk *subgrade* adalah > 6%, sedangkan dari hasil uji pada $\gamma_d = 1 \text{ gr/cm}^3$ didapatkan nilai CBR = 6,24% pada

Penurunan sampai dengan 50% dari $S_r = 17,13\%$ sampai dengan $S_r = 81,95\%$, sehingga dengan kenaikan S_r sebesar 64,82% nilai ϕ turun dari $26,05^\circ$ menjadi $15,76^\circ$.

Pengaruh Kadar Air terhadap CBR

posisi kadar air $w = 30,06\%$ ($S_r = 48,62\%$). Pada **Tabel 2** terlihat bahwa kadar air di atas 30,06% mempunyai nilai CBR < 6 dikategorikan sebagai tanah buruk (*poor of fair*), sehingga nilai kadar air harus dipertahankan agar tidak melebihi 30,06%. Hal ini disebabkan semakin tinggi kandungan air dalam tanah, maka tanah menjadi lebih lunak dan kekuatannya menjadi lebih kecil. Tanah dengan kondisi seperti ini bisa dipakai sebagai *subgrade*, tetapi karena dalam penelitian mempunyai Indeks Plastisitas (IP) > 10, maka tanah perlu distabilisasi misalnya dengan kapur atau zat aditif lainnya, sehingga diperoleh hasil yang lebih baik. Pada tanah dengan derajat kejenuhan $S_r < 48,62\%$ dalam hal ini $S_r = 40,74\%$ dengan nilai CBR > 8% dikategorikan sebagai tanah sedang (*fair*) yang bisa dipakai dalam perencanaan lapis fondasi bawah (*subbase*) pada badan jalan.

Kadar air akan sangat berpengaruh terhadap kekuatan dasar tanah. Makin tinggi kadar air, maka semakin kecil kekuatan nilai CBR dari tanah tersebut.

Pada musim penghujan pada umumnya tanah berbutir halus banyak mengandung air.

Pada saat itu air akan mengisi pori-pori partikel tanah, sehingga tanah mendekati kondisi jenuh. Untuk memperhitungkan pengaruh air terhadap kekuatan tanah maka tanah harus direndam terlebih terlebih dahulu. Sifat pengujian ini adalah memberikan air pada sampel tanah dan menjenuhkannya selama 4 hari, mengakibatkan terjadi pengembangan. Jadi maksud dari perendaman ini diharapkan dapat mewakili kondisi tanah pada saat jenuh air.

Uji dengan perendaman ini dilakukan pada 3 sampel tanah dengan 3 variasi kadar air yaitu 10,59%, 30,06% dan 50,67%. Alasan pemilihan kadar air ini adalah pada posisi kadar air terendah yang menghasilkan nilai CBR tertinggi, kadar air yang menghasilkan nilai CBR pada ambang batas yang diijinkan untuk tanah

dasar suatu jalan tol, dan kadar air tertinggi saat uji CBR tanpa perendaman.

Hasil uji CBR dengan perendaman dapat dilihat pada **Gambar 11**.

Gambar 11 memperlihatkan bahwa semakin tinggi nilai derajat kejenuhan, maka nilai CBR akan semakin rendah. Dari hasil uji dengan perendaman pada kadar air 10,59%, 30,06%, dan 50,67% mempunyai nilai CBR berturut-turut 5,55, 2,43, dan 1,04 tampak bahwa tanah dalam keadaan makin jenuh kekuatannya akan semakin rendah, bahkan terjadi penurunan nilai CBR yang cukup drastis dengan kenaikan kadar air mencapai 40% yaitu dari CBR=5,55 menjadi CBR=1,04, sehingga dalam keadaan jenuh tanah tersebut sama sekali sudah tidak memenuhi nilai CBR yang dipersyaratkan menurut Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut ini.

Tanah termasuk dalam kategori MH berdasarkan klasifikasi USCS, dan termasuk pada jenis A-7-5 berdasarkan klasifikasi tanah AASHTO, yang merupakan tanah yang buruk, bila digunakan sebagai tanah dasar (*subgrade*) untuk jalan tol.

Kadar air dan S_r sangat berpengaruh terhadap nilai CBR, makin besar kadar air makin kecil nilai CBR.

Pada peningkatan kadar air dan S_r yang sama penurunan nilai CBR *unsoaked* lebih drastis daripada CBR *soaked*. Kadar air sangat berpengaruh terhadap nilai parameter kuat geser tanah yaitu kohesi dan sudut gesek internal. Pada kadar air ($w < 30\%$ atau $S_r < 50\%$), nilai kohesi, akan makin besar dengan makin besarnya kadar air, sedangkan pada kadar air ($w > 30\%$ atau $S_r > 50\%$), nilai kohesi akan makin kecil dengan makin besarnya kadar air, sedangkan untuk nilai sudut gesek internal makin besar kadar air akan makin kecil nilai ϕ nya.

Nilai CBR yg diijinkan untuk *subgrade* adalah 6 (SNI 03-1744-1989) berada pada kadar air $w = 30,06\%$ ($S_r = 48,62\%$). Untuk w dan S_r kurang dari itu nilai CBR < 6 , maka

kadar air di lapangan sebesar 50,79% nilai CBR nya jauh dari nilai CBR yang diijinkan.

- Tanah *subgrade* dengan kadar air lapangan 50,79% tidak memenuhi syarat sebagai tanah dasar jalan tol.

- Dengan kurang terjaganya kadar air akan membuat daya dukung tanah menjadi lemah, sehingga menyebabkan

pergerakan tanah di sisi badan jalan yang merupakan tanah timbunan yang sangat tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrozak, 2012, *Analisis perilaku gerakan masa tanah di lokasi abutment (A1) Jembaran Susukan jalan tol Semarang-Solo seksi II Gedawang-Penggaron menggunakan program Plaxis*, Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- ASTM, 2003, *Annual Books of ASTM Standard*, ASTM, Easton, MD, USA
- Liu Cheng & Evett, J.B., 2003, *Soil Properties* (fifth edition), Pearson Education, Inc. Upper Saddle River, New Jersey.
- Das, B.M., 2004, *Principles of Foundation Engineering* California State University, Sacramento.
- Dayanun, 2012, *Penanggulangan gerakan masa tanah timbunan dengan sistem subdrain dan perkuatan menggunakan simulasi numeris*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997, *Konstruksi Pondasi Jalan 211*, Jakarta: PT. Medisa Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
- Febrianto, 2011, *Analisis Numeris stabilitas lereng timbunan di atas tanah weathered clayshale*, Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Hardiyatmo, H.C., 2006, *Mekanika Tanah I (Edisi IV)*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hendarsin, S.L., 2003, *Investigasi Rekayasa Geoteknik untuk Perencanaan bangunan Teknik Sipil*, Politeknik Negeri Bandung.

- Heryono, 2010, *Kajian stabilitas lereng abutment menggunakan program Plaxis8.2*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Muhrozi, 2009, *Laporan Hasil Penyelidikan Tanah di lokasi Sta 6+369 Ruas Jalan Semarang-Bawen, Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Solo*, Semarang
- Syahbana, 2011, *Analysis of Bored Pile and Soil Mass Behavior Using Numerical Simulation at Susukan Bridge Abutment (A1) Section II Gedawang-Penggaron, Semarang-Solo Highway*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada. jilid I, Erlangga, Jakarta.
- Tumanduk, 2012, *Efisiensi penempatan soldiers pile guna penanggulangan gerakan massa tanah timbunan badan jalan Tol Semarang-Solo section II Gedawang-Penggaron dengan simulasi numeris*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Widjaya dan Rahardjo, 2002, *Karakteristik clayshale di Bukit sentul Bogor dan pertimbangan untuk stabilitas lereng*, Prosiding Seminar Nasional Slope 2002, Jurusan Teknik Sipil FT Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.