

PERBAIKAN DASAR PONDASI DANGKAL DENGAN TETES TEBU dan KAPUR

Sumiyati Gunawan¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari 44 Yogyakarta
Email : sumiyatig@staff.uajy.ac.id , sumiyatig@yahoo.co.id

ABSTRAK

Tanah sebagai pijakan terakhir untuk menerima pembebanan apapun yang berkaitan dengan pembangunan jalan, jembatan, landasan, gedung, dan lain-lain, sehingga harus diperhitungkan agar hasil pekerjaan dapat dimanfaatkan secara optimum oleh penggunaannya. Tanah tersebut terkadang memiliki sifat-sifat yang kurang baik sehingga tidak memenuhi persyaratan teknis yang dikehendaki. Misalnya untuk tanah berbutir halus dengan nilai plastisitas tinggi. Tanah ini biasanya memiliki daya dukung yang rendah, pemampatan (*compressibility*) yang tinggi, perubahan volume yang besar, serta sulit dalam pelaksanaan pekerjaan pemadatan, untuk itu diperlukan usaha perbaikan/stabilisasi terhadap tanah.

Pada penelitian ini akan digunakan bahan perbaikan tanah dasar pondasi berupa tetes tebu dan kapur. Tetes tebu ditambahkan dengan kadar 20% sampai 50% dari berat air optimum pada pemadatan maksimum dengan interval 5%, sedangkan kapur ditambahkan dengan kadar 2% sampai 8% dengan interval 1%. Jenis pengujian yang dilakukan adalah pengujian pemadatan, berat jenis, analisa saringan, hidrometer, kadar air, batas cair, batas plastis, indeks plastisitas dan CBR (tak terendam / *unsoaked* dan terendam / *soaked*).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa, tanah asli memiliki LL 76%, PL 24,52%, IP 51,48%, dan nilai CBR=6,869% . Tanah asli merupakan tanah lempung dengan golongan CH yaitu lempung tak organik dengan plastisitas tinggi/lempung gemuk (*fat clays*), dengan penilaian sebagai tanah dasar sedang sampai buruk, dan merupakan golongan tanah dengan ekspansifitas tinggi.

Setelah mengalami perbaikan dengan tetes tebu dan kapur, dengan perbandingan ideal 30% tetes tebu dan 7% kapur, tanah memiliki LL 48%, PL 24,79%, IP 23,21% dan nilai CBR terendam = 24,739% sedangkan CBR tak terendam= 25,453% . Tanah berubah menjadi golongan CL yaitu lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, dengan penilaian sebagai tanah dasar sangat baik sampai baik, dan merupakan golongan tanah dengan ekspansifitas rendah.

Dilihat dari hasil penelitian ini maka tetes tebu sebagai bahan sisa pembuatan gula ditambah sedikit kapur digunakan sebagai bahan alternatif lain untuk perbaikan sifat mekanik dari lempung ekspansif.

Kata kunci: tetes tebu dan kapur, perbaikan sifat fisik dan mekanik, perbaikan tanah dasar pondasi.

1. PENDAHULUAN

Agar hasil pekerjaan tanah dapat dimanfaatkan secara optimum oleh penggunaannya, maka kondisi fisik tanah dasar pondasi harus diperhitungkan untuk dapat mendukung beban di atasnya. Tetapi kenyataannya banyak pembangunan khususnya jalan selalu timbul masalah gelombang, retak bahkan sampai terjadi penurunan.

Wilayah pemerintah Kabupaten Ngawi merupakan deretan pegunungan kapur dan memiliki kondisi tanah yang lunak. Sebagian besar jenis tanah di wilayah ini adalah lempung ekspansif yang mempunyai kembang susut sangat besar, dan sering kali merugikan fisik infrastruktur di daerah Ngawi, diantaranya penurunan pondasi, pergeseran bangunan bawah jembatan, pecahnya bendungan, landasan, jalan, saluran irigasi, dll.

Tanah lempung ekspansif berbutir halus (menurut ASTM $\phi < 0,005$ mm), nilai plastisitas tinggi, kembang susut oleh pengaruh air besar, daya dukung tanah rendah, pemampatan (*compressibility*) tinggi sehingga sulit dipadatkan terutama dalam keadaan basah, stabilitas buruk. Untuk itu perlu adanya perbaikan sifat-sifat mekanik lempung ekspansif agar memiliki daya dukung dan stabilitas yang baik.

Gula dapat dikatakan merupakan bahan kebutuhan pokok bagi semua lapisan masyarakat yang diproduksi dalam jumlah yang sangat besar, sehingga menghasilkan limbah yang banyak pula. Salah satu limbah dari proses pengolahan gula adalah tetes. Tetes tebu merupakan merupakan limbah cair yang jumlahnya di Kabupaten Ngawi mencapai 34.000 kwintal setiap musim giling. Tetes biasanya dimanfaatkan oleh petani sebagai pupuk organik dan sebagai makanan tambahan ternak serta sebagai bahan tambahan pada pabrik penyedap rasa, walaupun jauh

sebelumnya tetes juga digunakan oleh masyarakat sebagai bahan campuran: pembuat pot tanaman, spesi dinding maupun pasangan pondasi.

Dalam penelitian ini, tetes tebu dimanfaatkan sebagai bahan *additive* untuk perbaikan sifat-sifat mekanis pada tanah lempung. Beberapa alasan pemilihan tetes tebu:

Tetes tebu mudah didapat dengan harga yang sangat murah, mempunyai sifat cair dan lengket serta kekentalan dapat diatur sesuai dengan keinginan melalui penambahan air, mampu berinteraksi dengan tanah melalui pori-pori dan *viskositasnya* mampu merekatkan partikel-partikel tanah menjadi lebih solid dan dapat mengeras, sehingga diharapkan mampu membentuk kekuatan tanah baru.

Dengan demikian tetes tebu yang semula hanya sebagai limbah dapat dimanfaatkan sebagai bahan alternatif untuk pembangunan yang lebih berguna.

Tujuan dan manfaat penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui formulasi yang tepat antara air dan *additive* dari tetes tebu yang disenyawakan dengan lempung ekspansif.
2. Mengetahui formulasi yang tepat antara kadar maksimum tetes tebu dengan bahan pengikat tetes tebu berupa kapur yang kadarnya terbatas sampai maksimum 8%.
3. Mengurangi permeabilitas lempung ekspansif.
4. Memperbaiki sifat-sifat mekanik pada lempung ekspansif.
5. Meningkatkan stabilitas pada lempung ekspansif.

Batasan masalah

Ruang lingkup yang dibahas dalam penelitian ini hanyalah perbaikan sifat-sifat mekanik pada lempung ekspansif dengan menggunakan tetes tebu dan bahan ikat kapur yang terbatas, sehingga diperlukan batasan masalah agar ulasan yang disampaikan tidak meluas, antara lain :

1. Lempung ekspansif diambil di Jl. PU Pangkur, Sembung KM1,5 ds. Paras, RT3, RW1, Pangkur, Ngawi, Jawa Timur.
2. Dalam penelitian ini tidak membahas tentang analisis secara kimia yang terjadi saat tetes tebu bereaksi dengan lempung ekspansif.
3. Dalam penelitian ini tidak membahas tentang keawetan tetes tebu untuk jangka panjang, karena waktu penelitian yang terbatas.
4. Pemakaian kapur mati (*slaked lime*) atau kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) sebagai bahan ikat, terbatas sampai kadar 8%.
5. Tetes tebu diambil dari Pabrik Gula Gondang Baru Klaten, dengan variasi penambahan tetes tebu 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, dan 50% dari berat setiap sampel.
6. Pengujian yang dilakukan adalah uji kadar air, berat jenis, *Atterberg*, CBR, tekan bebas, dan geser.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Kekuatan tanah dasar pondasi untuk sebuah proyek pembangunan harus diperhitungkan agar hasil pekerjaan dapat dimanfaatkan secara optimum oleh penggunaannya. Tanah dasar yang baik untuk konstruksi, sebaiknya dipadatkan sampai tingkat kepadatan tertentu sehingga mempunyai daya dukung yang baik serta mempunyai kemampuan mempertahankan perubahan volume selama masa pelayanan.

Joseph E. Bowles (1991), apabila suatu tanah yang terdapat di lapangan bersifat sangat lepas atau sangat mudah tertekan atau apabila ia mempunyai indeks konsistensi yang tidak sesuai, permeabilitas yang terlalu tinggi, atau sifat lain yang tidak diinginkan sehingga tidak sesuai untuk proyek pembangunan, maka tanah tersebut harus distabilisasi. Stabilisasi dapat terdiri dari salah satu tindakan berikut ini:

1. meningkatkan kerapatan tanah,
2. menambah material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi dan atau tahanan gesek yang timbul,
3. menambah bahan untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi atau fisis pada tanah,
4. menurunkan muka air tanah (drainase tanah),
5. mengganti dengan tanah yang baik.

Silvia Sukirman (1992) mengemukakan daya dukung tanah dasar adalah suatu skala yang dipakai untuk menyatakan kekuatan tanah dasar. Daya dukung tanah dasar (*subgrade*) pada perkerasan lentur dinyatakan dengan nilai CBR (*California Bearing Ratio*).

Lempung (Clay)

Hary Christady (2006), partikel lempung berbentuk seperti lembaran yang mempunyai permukaan khusus, sehingga lempung mempunyai sifat sangat dipengaruhi oleh gaya-gaya permukaan. Susunan kebanyakan lempung terdiri dari silika tetrahedra dan aluminium oktahedra. Silika dan aluminium secara parsial dapat digantikan oleh elemen-elemen yang lain dalam kesatuannya, keadaan ini dikenal sebagai *subtitusi isomorf*. Terdapat kira-kira 15 macam mineral yang diklasifikasikan sebagai mineral lempung (Kerr, 1959). Diantaranya terdiri dari kelompok-kelompok:

1. *Monmorillonite*, formula: $Al_4(Si_6O_{20})(OH)_4 \cdot nH_2O$
Mineral yang dibentuk oleh dua lembar silika dan satu lembar aluminium (*gibbsite*). Lembaran oktahedra terletak diantara dua lembar silika dengan ujung tetrahedra tercampur dengan hidroksil dari lembaran oktahedra untuk membentuk satu lapisan aluminium oleh magnesium. Antara ujung lembaran silika terjadi gaya ikatan *Van der Waals* yang lemah dan terdapat kekurangan muatan negatif dalam lembaran oktahedra, air dan ion-ion yang berpindah dapat masuk dan memisahkan lapisannya. Jadi kristal *monmorillonite* sangat kecil, tapi pada waktu tertentu mempunyai gaya tarik yang kuat terhadap air. Tanah-tanah yang mengandung *monmorillonite* sangat mudah mengembang oleh tambahan kadar air.
2. *Illite*, $Al_4(Si_6Al_2)O_{20} \cdot K_2(OH)_4$
Mineral lempung yang terdiri dari mineral-mineral kelompok *illite*. Bentuk susunan dasarnya terdiri dari sebuah lembaran aluminium oktahedra yang terikat diantara dua lembar silika tetrahedra. Dalam lembaran oktahedra, terdapat substitusi parsial aluminium oleh magnesium dan besi, dan dalam lembaran tetrahedra terdapat pula substitusi silikon oleh aluminium. Lembaran-lembaran terikat bersama-sama oleh ikatan lemah ion-ion kalium yang terdapat di antara lembaran-lembarannya. Susunan *illite* tidak mudah mengembang oleh air di antara lembaran-lembarannya.
3. *Kaolinite*, $Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$
Merupakan mineral dari kelompok kaolin, terdiri dari susunan satu lembar silika tetrahedra dengan satu lembar aluminium oktahedra. Kedua lembaran terkait bersama-sama sedemikian hingga ujung dari lembaran silika dan satu lapisan lembaran oktahedra membentuk suatu lapisan tunggal. Dalam kombinasi lembaran silika dan aluminium, keduanya terikat oleh ikatan hidrogen. Ikatan ini terjadi lebih dari seratus tumpukan sehingga sukar untuk dipisahkan, karena itu mineral ini stabil dan air tidak dapat masuk diantara lempungan.

Batas batas Atterberg

Hary Christady (2006) menyatakan suatu hal yang penting pada tanah berbutir halus adalah sifat plastisitasnya. Plastisitas disebabkan oleh adanya partikel mineral lempung dalam tanah. Plastisitas menggambarkan kemampuan tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk pada volume yang konstan tanpa retak-retak tergantung pada kadar air, tanah dapat berbentuk cair, plastis, semi solid, atau solid (Konsistensi).

Menurut Atterberg (1911), cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan air tanah. Batas-batas tersebut adalah batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*), dan batas susut (*shrinkage limit*).

1. Batas cair (*liquid limit*)
Batas cair (ll), didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis.
2. Batas plastis (*plastic limit*)
Batas plastis (pl), didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat,
3. Batas susut (*shrinkage limit*)
Batas susut (sl), didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat.

Indeks plastisitas

Menurut Atterberg (1911), Indeks plastisitas (IP) adalah selisih batas cair dan batas plastis:

$$PI = LL - PL \quad (2-1)$$

Indeks plastisitas (PI) merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Karena itu, indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanah. Jika tanah mempunyai PI tinggi, maka tanah mengandung banyak butiran lempung. Jika PI rendah, seperti lanau, sedikit pengurangan kadar air berakibat tanah menjadi kering. Batasan mengenai harga Atterberg untuk mineral lempung dan tingkat ekspansifitas lempung terdapat dalam Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Harga-Harga Batas Atterberg untuk Mineral Lempung

Mineral	Batas Cair	Batas Plastis
Monmorillonite	100-900	50-100
Nontronite	37-72	19-27
Illite	60-120	35-60
Kaolinite	30-110	25-40
Halloysite terhidrasi	50-70	47-60
Halloysite	35-55	30-45
Attapulgite	160-230	100-120
Chlorite	44-47	36-40
Allophane	200-250	130-140

Sumber : Braja M. Das, *Mekanika Tanah* Jilid 1, Erlangga, halaman 47.

Tabel 2.2 Tingkat Ekspansifitas Tanah

Liquid Limit (LL)	Plasticity Index (PL)	Potensial swell (%)	Potensial swell Classification
< 50	< 25	< 0,5	Low
50 – 60	25 – 35	0,5 – 1,5	Marginal
> 60	> 35	> 1,5	High

Sumber: Braja M. Das, *Principles of geotechnical Engineering, compiled from O' Neil and Poormaoyed* (1980).

Tetes tebu

Komposisi tetes tebu, secara umum, yang keluar dari sentrifugal mempunyai brix 85 – 92 dengan zat kering 77 – 84 %. Sukrosa yang terdapat dalam tetes bervariasi antara 25 – 40 %, dan kadar gula reduksinya 12 – 35 %. Untuk tebu yang belum masak biasanya kadar gula reduksi tetes lebih besar daripada tebu yang sudah masak (Soejardi, 1997).

3. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk mendapatkan suatu hasil penelitian dan kesimpulan dari seluruh rangkaian penelitian, maka harus digunakan metodologi yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Prosedur yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

Bahan

Sampel tanah diambil dengan menggali tanah pada kedalaman ± 60 cm kemudian tanah dikeringkan dengan cara dihamparkan dalam ruangan yang memperoleh sinar matahari cukup. Kemudian tanah di ayak dengan saringan no 4 (diameter 4,75 mm). Lokasi pengambilan sampel di jalan PU Pangkur, Sembung KM 1,5, ds. Paras, RT 3, RW 1, Pangkur, Ngawi, Jawa Timur.

Sampel tanah merupakan jenis lempung ekspansif dengan penambahan bahan *additive*, sebagai berikut:

1. Tetes tebu dengan kadar 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, dan 50% terhadap berat air tiap sampel (uji I). Air yang ditambahkan sesuai dengan penghitungan grafik OMC dan MDD yang didapat dari pengujian pemadatan,
2. Kadar tetes tebu maksimum ditambah kapur dengan kadar 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, 7% dan 8% (uji II). Air yang ditambahkan sesuai dengan penghitungan grafik OMC dan MDD yang didapat dari pengujian pemadatan.

Deskripsi peralatan

Peralatan yang di gunakan adalah seperangkat alat CBR, metoda ini awalnya diciptakan oleh O.J poter kemudian dikembangkan oleh California State Highway Departement, kemudian dikembangkan dan dimodifikasi oleh Corps para isinyur tentara Amerika Serikat (U.S Army Corps of Engineers). Metode ini mengkombinasikan percobaan pembebanan penetrasi di Laboratorium atau di Lapangan dengan rencana Empiris untuk menentukan tebal lapisan perkerasan. Hal ini digunakan sebagai metode perencanaan perkerasan lentur (flexible pavement) suatu jalan. Tebal suatu bagian perkerasan ditentukan oleh nilai CBR .

Nilai CBR adalah perbandingan (%) antara tekanan yang diperlukan untuk menembus tanah dengan piston berpenampang bulat seluas 3 inci² dengan kecepatan penetrasi 0,05 inci/menit terhadap tekanan yang diperlukan untuk menembus suatu bahan standar tertentu.

Pada pengujian ini dilaksanakan CBR dengan :

1. Sampel tanah tak terendam (*unsoaked cbr*),
2. Sampel tanah terendam (*soaked cbr*).

Prosedur pengujian CBR (ASTM 1883-73)

Prosedur pengujian:

1. Silinder utama tanpa alas dan tanpa sambungan ditimbang beratnya dan dicatat.
2. Ukurlah diameter, tinggi silinder utama dikurangi tinggi pelat ganjal.
3. Sample dimasukkan dalam silinder, dibagi tiga lapis dengan jumlah tumbukan 56 kali tiap lapis dan merata.
4. Setelah ditumbuk silinder pemadatan dipasang plat ganjal dan sambungan diberi kertas filter untuk alasnya.
5. Setelah selesai penumbukan diratakan dengan pisau, lalu diangkat dan ditimbang tanpa dengan sambungan, alas dan pelat ganjal. (pada CBR perendaman, maka setelah prosedur no.5, sample dimasukkan dalam bak perendaman selama 24 jam, Pasang arloji dial pada sampel yang akan di uji nilai *swell*-nya. Setelah 24 jam baca nilai dial *swell* dan timbang sampel).
6. Tanah yang ada pada silinder dites pada CBR, silinder dibalik dan dipaskan ditengah-tengah dan diberi 2 buah plat beban masing-masing 5 lb (2,27 kg).
7. Untuk pembacaan yaitu arloji penunjuk sudah menunjukkan 0,64 ,1 ,27 ,1,91 dst, pada arloji preving ring pada 0,64 dibaca dan dicatat regangannya dan pada 1,27 juga dibaca dst, sampai habis yang tertera pada table.
8. Setelah selesai pembacaan , tanah dikeluarkan dan diadakan pemeriksaan kadarairnya.
9. Biasanya antara w optimum dengan kadar air CBR tidak begitu jauh berbeda.

4. ANALISA DAN HASIL

Uji sifat fisik dan mekanik tanah

Dari hasil percobaan di laboratorium diperoleh hasil sebagai berikut,

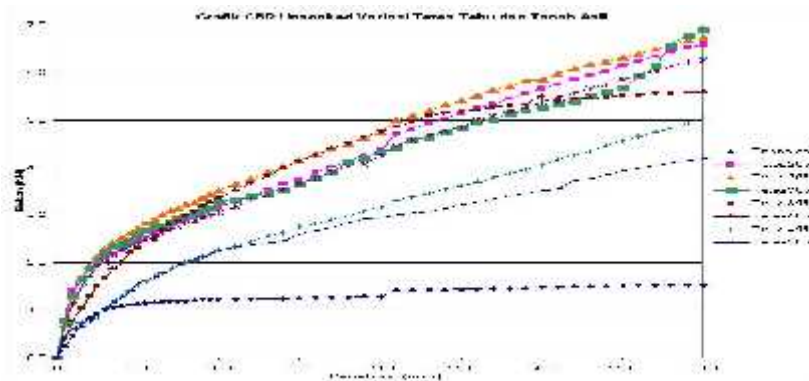
Tabel 4.1. Parameter tanah asli

Kadar air tanah asli	57,44 %
Kadar air tanah lepas	11,11%
Berat jenis	2,65
Batas Cair	76%
Batas Plastis	24,52%
Indeks Plastisitas	51,48%
AASHTO	A-7-5 (28) : lempung ekspansifitas tinggi (sedang sampai buruk sebagai lapisan dasar perkerasan.)
USCS	CH : lempung tak organik plastisitas tinggi (<i>fat clays</i>).
Kadar Air Optimum (w_{opt})	31%
Berat Volume Kering Max	1,41 gr/cm ³

Pengujian CBR

Dari hasil percobaan CBR di laboratorium diperoleh beberapa hubungan yang akan digunakan untuk memperoleh nilai CBR, seperti terlihat di bawah ini :

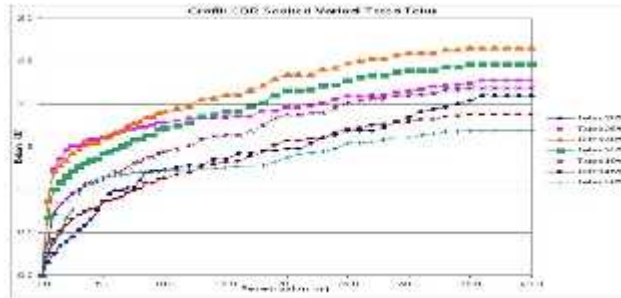
CBR variasi tetes tebu tak terendam (*unsoaked*)



Gambar 4.1. CBR Variasi Tetes Tebu tak terendam (*unsoaked*)

Tabel 4.2. Tekanan CBR dan Kadar air Setelah Pengujian CBR Variasi Tetes Tebu tak terendam (*Unsoaked*)

Kadar Tetes Tebu (%)	Kadar Air (%)	Tekanan Maks. CBR (KN)	Nilai CBR (%)
Tanah asli	11,11	1,53310	6,869
20	16,49	6,59320	14,745
25	18,54	6,72980	15,753
30	19,73	6,91600	15,976
35	20,36	6,27030	14,287
40	20,99	5,59900	11,622
45	21,26	5,06580	7,666
50	21,78	4,19260	7,863

CBR variasi tetes tebu terendam (*soaked*)Gambar 4.2. Grafik CBR *soaked* Variasi Tetes TebuTabel 4.3. Tekanan CBR dan Kadar air Setelah Pengujian CBR Variasi Tetes Tebu terendam (*soaked*)

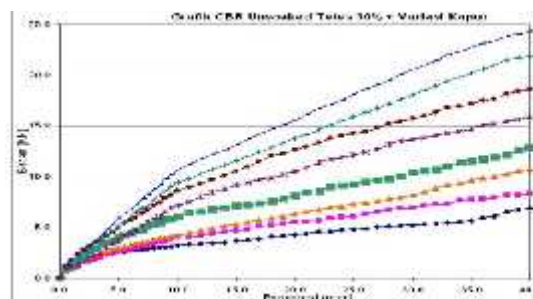
Kadar Tetes Tebu (%)	Kadar Air (%)	Tekanan Maks. CBR (KN)	Nilai CBR (%)
20	36,16	2,1019	4,3275
25	38,20	2,2750	11,1733
30	38,81	2,6593	11,5326
35	39,38	2,4604	9,0667
40	41,47	2,1884	7,0519
45	44,56	1,8793	4,8541
50	50,07	1,6939	5,6785

Dari data di atas, dapat disimpulkan bahwa dengan bertambahnya kadar tetes tebu semakin bertambah pula kadar airnya, tetapi tidak diiringi dengan kenaikan nilai CBR. Nilai CBR maksimum diperoleh pada kadar tetes tebu 30% baik untuk yang terendam dan tak terendam

Kenaikan tersebut diperkirakan akibat reaksi kimia antara tanah dan tetes tebu, yang memiliki kekentalan dan kandungan kapur pada gula invertnya. Tetes tebu masuk kedalam butiran-butiran tanah dan mengisi ruang kosong pada porinya sehingga ketika dipadatkan sesuai dengan ketentuan pematatan CBR, butiran-butiran tanah dapat merapat sehingga ruang kosong semakin sedikit.

CBR dengan kadar tetes maksimum dan variasi kapur tak terendam (*unsoaked*)

Nilai CBR *unsoaked* dan *soaked* yang tertinggi didapat dari kadar tetes 30%. Agar supaya tetes yang masuk dalam butir tanah tidak mengurai kembali karena tetes merupakan bahan organik, maka perlu ditambahkan kapur untuk menjaga/melindungi kandungan tetes tebu dalam butiran tanah dan untuk mengaktifkan kembali kandungan kapur yang ada dalam tetes.

Gambar 4.3. Grafik CBR *unsoaked* Tetes 30% + Variasi Kapur

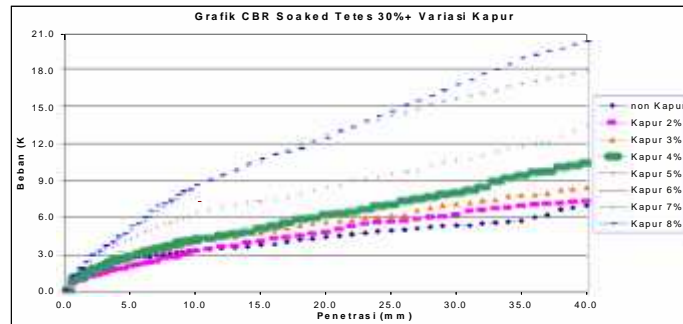
Tabel 4.4. Tekanan CBR dan Kadar air Setelah Pengujian CBR Tetes Tebu 30% dan Variasi Kapur tak terendam
(Unsoaked)

Kadar Kapur (%)	Kadar Air (%)	Tekanan Maks. CBR (KN)	Nilai CBR (%)
Tanah asli	11,11	11,11	6,869
Tetes 30%	19,73	6.9160	15,976
2	18,90	8.4093	16,354
3	18,03	10.7603	18,112
4	17,71	12.9541	20,221
5	15,20	15.9346	23,674
6	12,76	18.6316	24,677
7	12,34	21.8616	25,453
8	12,01	24.3553	29,892

Data yang ada pada Tabel 4.4, didapat penurunan kadar air dari kadar air tetes tebu 30%. Penurunan tersebut diikuti dengan peningkatan tekanan pada pengujian CBR.

Kenaikan tersebut karena kapur dapat bersenyawa dengan tanah atas bantuan air. Panas yang dihasilkan menguapkan kandungan air dalam butiran tanah dan air yang terkandung dalam tetes tebu juga ikut berkurang sehingga menyisakan gula invert pada tetes tebu. Panas dari hidrasi tersebut mengaktifkan kandungan kapur dalam gula invert dan pada lempengan-lempengan lempung terjadi pertukaran kation-kation sehingga lempengan lempung menjadi lebih penuh/lebih bulat dan ketika dipadatkan akan menjadi lebih rapat.

CBR dengan kadar tetes maksimum dan variasi kapur terendam (Soaked)



Gambar 4.4. Grafik CBR unsoaked Tetes 30% + Variasi Kapur

Tabel 4.5. Tekanan Maksimum CBR dan Kadar air Setelah Pengujian CBR Soaked

Kadar Kapur (%)	Kadar Air (%)	Tekanan Maks. CBR (KN)	Nilai CBR (%)
Tanah asli	11,11	1,5331	6,869
Tetes 30%	38,81	2,6593	11,533
2	28,26	7,3010	10,768
3	29,56	8,4215	13,230
4	03,52	10,4523	14,283
5	32,18	13,4985	22,441
6	34,87	15,6545	23,550
7	36,51	17,9953	24,739
8	39,49	20,3480	26,012

Pengujian Batas Batas Atterberg

Batas-batas Atterberg merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk mengukur keekspansifitasan suatu tanah terutama jenis lempung. Lempung terbentuk dari lempengan-lempengan pipih dan memiliki mineral-mineral khusus sebagai pembentuknya. Lempung mempunyai nilai ekspansifitas, mulai dari ekspansifitas rendah sampai ekspansifitas tinggi. Tanah sebagai sampel pengujian ini merupakan golongan lempung dengan ekspansifitas sedang, yang buruk bila dipergunakan untuk lapisan tanah dasar untuk itu perlu di adakan perbaikan batas-batas Atterberg. Tabel 4.8. Menunjukkan batas-batas Atterberg pada pengujian ini.

Tabel 4.6. Batas-Batas Atterberg

Variasi Percobaan	Batas Cair (%)	Batas Plastis (%)	Indeks Plastisitas (%)	Penggolongan Tanah
Tanah Asli	76	24,52	51,48	CH
Kadar Tetes 20 %	70	25,00	45,00	CH
Kadar Tetes 25 %	66	24,55	41,45	CH
Kadar Tetes 30 %	64	24,60	39,40	CH
Kadar Tetes 35 %	60	24,85	35,15	CH
Kadar Tetes 40 %	57	24,90	32,10	CH
Kadar Tetes 45 %	54	25,30	28,70	CH
Kadar Tetes 50 %	51	24,52	26,48	CH
Tetes 30% + Kapur 2 %	57	25,11	31,89	CH
Tetes 30% + Kapur 3 %	56	25,31	30,69	CH
Tetes 30% + Kapur 4 %	55	24,79	30,21	CH
Tetes 30% + Kapur 5 %	53	24,77	28,23	CH
Tetes 30% + Kapur 6 %	51	24,76	26,24	CH
Tetes 30% + Kapur 7 %	48	24,79	23,21	CL
Tetes 30% + Kapur 8 %	45	24,76	20,24	CL

Dari Tabel 4.8. dapat diambil kesimpulan, bahwa dengan menambahkan variasi tetes tebu akan mengurangi nilai batas cair dan menambah batas plastis, serta mengurangi nilai indeks plastisitasnya. Jika kadar tetes maksimum yaitu 30% ditambahkan variasi kapur, nilai batas cairnya akan semakin turun dan indeks plastisitasnya akan turun pula dan jenis tanah yang semula dalam golongan CH berubah menjadi golongan CL, yaitu lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang (*lean clays*).

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan hasil

Dari data di atas, diperoleh kadar tetes maksimum terbaik 30% dan tambahan kapur 7% dibandingkan dengan tanah asli.

Tabel 5.1. Hasil Pengujian

Kadar Kapur (%)	Kadar Air (%)	Batas Cair (%)	Batas Plastis (%)	IP (%)	Gol Tanah	Tekanan Maks. CBR (KN)	Nilai CBR (%)
Tanah asli	11,11	76	24,52	51,48	CH	1,5331	6,869
Tetes 30 % + Kapur 7%	36,51	48	24,79	23,21	CL	(Soaked)	(Soaked)
	17,9953					24,739	
	12,34					(UnSoaked)	(UnSoaked)
						21.8616	25,453

Saran

1. Perlu dilakukan pengujian kandungan-kandungan yang terdapat pada tetes tebu.
2. Perlu dilakukan jenis pengujian lain yaitu pengujian permeabilitas, pengujian geser, dan pengujian tekan bebas pada masing-masing sampel.
3. Diperlukan analisis secara kimia, agar diketahui proses kimia yang terjadi antara lempung dengan tetes tebu dan kapur.
4. Dilakukan analisis terhadap jangka waktu yang relatif panjang, agar dapat diketahui perubahan-perubahan yang terjadi pada kandungan tetes tebu dalam butiran tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J.E.,(1991). *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Craig, R.F.,(1995) . *Mekanika Tanah*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Das, B.M.,(1993). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Erlangga, Jakarta.
- Sukirman, S.,(1995). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Nova, Bandung.
- Sosrodarsono, S., Nakazawa, K.,(1984). *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Soejardi.,(1997). *Teknologi Gula*. LPP : Yogyakarta.