

KARAKTERISTIK MEKANIS TANAH KEMBANG SUSUT YANG DISTABILISASI DENGAN LIMBAH MARMER

Tri Harianto¹ dan Ahmad Masri²

^{1,2}Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin
Makassar, Sulawesi Selatan

Abstrak

Tanah dengan perilaku kembang susut yang tinggi harus distabilisasi agar memenuhi syarat sebagai lapisan tanah dasar. Limbah marmer dari hasil olahan pabrik marmer di Kab. Enrekang Sulawesi Selatan dapat dijadikan sebagai bahan stabilisasi. Pada penelitian ini dilakukan identifikasi tanah kembang susut kemudian distabilisasi dengan limbah marmer. Untuk mengetahui pengaruh limbah marmer terhadap kekuatan dan daya dukung tanah kembang susut dibuktikan dengan pengujian *Unconfined Compression Test* dan uji CBR. Benda uji dibuat dengan kadar limbah marmer berkisar antara 5% - 30%. Dari pengujian menunjukkan bahwa tanah kembang susut yang distabilisasi dengan limbah marmer dapat memperbaiki sifat fisik dan mekanik tanah. Nilai kuat tekan meningkat begitupun nilai CBR yang telah memenuhi syarat sebagai lapisan tanah dasar.

Kata kunci: Stabilitasasi, Tanah kembang susut, Karakteristik mekanis

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Perilaku tanah kembang susut, terutama kekuatannya perlu diselidiki. Karena pengerjaan konstruksi, khususnya untuk bangunan jalan terkadang harus melewati beberapa kondisi yang tidak memenuhi syarat sebagai lapisan dasar bangunan. Salah satunya tanah yang berada di jalan nasional yang melintasi Kabupaten Sidrap dan Wajo, Sulawesi Selatan. Permasalahan yang biasanya timbul dari tanah kembang susut ini yaitu tingkat sensitifitasnya yang terlalu tinggi terhadap perubahan kadar air, sehingga perlu dilakukan stabilisasi. Diharapkan setelah melakukan stabilisasi, sensitifitas tanah kembang susut terhadap kadar air akan semakin rendah. Sehingga tanah ini dapat digunakan sebagai lapisan tanah dasar (*subgrade*) bahan konstruksi.

Stabilisasi tanah dimaksudkan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah asli dengan cara antara lain menambahkan suatu bahan tertentu yang mengakibatkan perubahan sifat-sifat tanah asli tersebut. Disamping itu, stabilisasi tanah diperlukan dalam rangka memperbaiki sifat-sifat tanah yang mempunyai daya dukung rendah, indeks plastisitas tinggi, pengembangan (*swelling*) tinggi dan gradasi yang buruk menjadi lebih baik untuk dasar suatu bangunan khususnya untuk jalan.

Stabilisasi tanah atau perbaikan tanah yang dikenal dalam rekayasa geoteknik secara umum terbagi dalam tiga kategori, yaitu cara mekanis, cara kimia, dan cara fisik. Cara mekanis didasarkan atas usaha-usaha mekanis, seperti kompaksi dan konsolidasi. Melalui cara yang paling umum digunakan kerapatan tanah akan meningkat, kompresibilitas tanah berkurang, yang kemudian diikuti pula dengan peningkatan kapasitas daya dukung dan stabilitas tanah. Pada cara kimiawi, suatu bahan aditif berupa binders (semen, kapur, abu terbang) dicampurkan dalam tanah yang kemudian akan mengubah properties dan kekuatan tanah. Sedangkan pada cara fisik, suatu bahan perkuatan seperti geotekstil dimasukkan atau disusun pada lapisan tanah untuk memperkuat tanah.

Hasil penelitian PT. Sucofindo Jakarta menyebutkan bahwa komposisi yang terkandung dalam limbah marmer adalah senyawa CaO dengan kadar 52.69% , CaCO₃ 41.92% , MgO 0.84% , MgCO₃ 1.76% , SiO₂ 1.62%, Al₂O₃ + Fe₂O₃ 0.37%, dari hasil ini terlihat komposisi utama limbah marmer adalah zat kapur (Skripsi Priyo Subekti 2007).

Saat ini di Sulawesi Selatan, industri marmer cukup berkembang, selain Kabupaten Pangkep sebagai penghasil marmer, Kabupaten Enrekang juga memiliki potensi marmer yang besar, namun hasil limbah marmer berupa serbuk dari pabrik pemotongan marmer hanya ditumpuk dan tidak dimanfaatkan.

Berdasarkan latar belakang ini, penulis melakukan penelitian perbaikan tanah dengan menggunakan cara kimia, yakni menambahkan serbuk limbah marmer untuk menghasilkan karakteristik tanah kembang susut yang lebih baik dengan bahan yang mudah didapatkan.

Karakteristik Tanah Kembang Susut

Definisi umum dari tanah kembang susut adalah tanah lempung yang mempunyai sifat kembang susut yang besar, sifat kembang susut ini sangat dipengaruhi oleh kandungan air yang ada didalam tanah tersebut. Jika kandungan airnya banyak maka tanah tersebut akan mengembang dan kekuatan daya dukungnya akan berkurang, demikian sebaliknya jika kadar airnya berkurang atau kering maka tanah itu akan menyusut dan mengakibatkan tanah pecah-pecah di permukaannya sedangkan daya dukungnya akan meningkat.

Mineral utama pembentuk tanah lempung adalah *Montmorilonite*, *Illite*, dan *Kaolinite*. Ketiga mineral tersebut membentuk kristal Hidro Aluminium Silikat ($Al_2O_3 \cdot nSiO_2 \cdot kH_2O$), namun demikian ketiga mineral tersebut mempunyai sifat dan struktur dalam yang berbeda satu dengan lainnya. Ukuran partikel mineral lempung dan kapasitas pertukaran Kation digambarkan dalam tabel 2.1.

Tabel 1. Rentang Kapasitas Pertukaran Kation Dari Mineral Lempung

Uraian	Kaolinite	Illite	Montmorilonite
Tebal partikel	0.5 – 2 microns	0.003 – 1 microns	< 9.5 A
Diameter partikel	0.5 – 4 microns	0.5 – 10 microns	0.05 – 10 Microns
Spesifik permukaan(m ² /gr)	10 - 20	65 - 180	50 – 840
Kapasitas pertukaran kation	3 - 15	10 - 40	70 -80

Karakteristik Marmer

Marmer atau batu pualam merupakan batuan hasil proses metamorfosa atau malihan dari batu gamping yang mengubah komposisi dan warna kandungan mineral yang ada pada batu gamping sehingga kelihatan lebih artistik.

Tabel 2. Unsur Kimia Limbah Marmer (Sumber : PT. Sucofindo)

Oksidasi	Kandungan
CaO	52,69
CaCO ₃	41,92
MgO	0,84
MgCO ₃	1,76
SiO ₂	1,62
Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	0,37

Batu gamping yang dipanaskan pada suhu $\pm 980^\circ C$, karbon dioksidanya keluar dan tinggal kapurnya saja (CaO). Kapur hasil pembakaran ini bila dicampur dengan air akan mengembang dan retak-retak dan hasilnya adalah kalsium hidroksida (Ca(OH)₂). Apabila kalsium hidrat ini dicampur dengan air maka diperoleh mortel kapur, diudara terbuka mortel kapur menyerap karbon dioksida (CO₂), dengan proses kimia menghasilkan CaCO₃ yang bersifat keras dan tidak larut dalam air. Pada reaksi hidrasi semen, akan dihasilkan kapur bebas Ca(OH)₂ atau kapur padam. Kapur padam ini apabila direaksi (ditambah) silikat atau aluminat akan membentuk suatu gel sebagai bahan pengikat (Faisal Fathani T. dan Agus Darmawan Adi, 1999).

Prinsip Stabilisasi Tanah

Pada umumnya ada dua cara stabilisasi tanah, yaitu dengan cara mekanis dan cara kimiawi. Stabilisasi tanah secara mekanis bertujuan untuk mendapatkan tanah yang bergradasi baik sehingga dapat memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Pada prinsipnya stabilisasi tanah secara mekanis

dengan penambahan kekuatan dan daya dukung terhadap tanah yang ada dengan mengatur gradasi dari butir tanah yang bersangkutan dengan meningkatkan kepadatannya. Menambah dan mencampur tanah yang ada (*natural soil*) dengan jenis tanah yang lain sehingga mempunyai gradasi baru yang lebih baik. Yang perlu diperhatikan dalam stabilisasi tanah secara mekanis adalah gradasi butir tanah yang memiliki daya ikat (*binder soil*) dan kadar air.

Perbaikan kualitas tanah harus segera dilakukan dengan cara stabilisasi tanah. Jika tanah asli yang digunakan sebagai landasan suatu perkerasan jalan memiliki kualitas daya dukung yang kurang baik untuk dijadikan sebagai lapisan tanah dasar maupun sebagai material timbunan. Pemilihan kualitas jenis tanah yang dapat dijadikan tanah dasar melalui penyelidikan tanah menjadi penting karena tanah dasar akan sangat menentukan tebal lapis perkerasan di atasnya, sifat fisik perkerasan di kemudian hari dan kelakuan perkerasan seperti deformasi permukaan dan lain sebagainya.

Kekuatan yang tidak memadai (ketahanan terhadap deformasi) merupakan masalah yang sering dijumpai pada pelaksanaan konstruksi jalan dan merupakan penyebab kerugian secara ekonomis atau juga bisa menyebabkan terjadi kecelakaan. Perbaikan tanah pada lapis tanah dasar (*subgrade*) dengan stabilisasi merupakan suatu pilihan untuk mengatasi kondisi tersebut. Maksud dari stabilisasi lapisan tanah dasar (*subgrade*) pada konstruksi jalan adalah suatu usaha untuk perbaikan sifat-sifat tanah eksisting agar memenuhi spesifikasi teknis. Untuk sistem struktur perkerasan jalan, sifat-sifat ini diharapkan agar bisa memenuhi sebagai bagian dari lapisan perkerasan.

Stabilisasi dapat dilakukan berupa tindakan-tindakan sebagai berikut :

1. Stabilisasi tanah dengan cara *removal* dan *replacement*
2. Stabilisasi tanah dengan cara *remolding* dan *compaction*
3. Stabilisasi tanah dengan cara *chemical admixtures*

METODOLOGI PENELITIAN

Jenis Penelitian

Jenis penelitian berupa penelitian eksperimental, yakni penelitian yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi yang terkendali. Pada penelitian ini yang dilakukan adalah meninjau karakteristik mekanis tanah kembang susut setelah distabilisasi dengan limbah marmer.

Penyiapan Benda Uji dan Alat

Tanah yang diambil sebagai benda uji adalah tanah lempung yang diambil dalam kondisi terganggu (*disturbed*) pada km 546+500 perbatasan Kabupaten Sidrap dan Kabupaten Wajo. Serbuk marmer yang digunakan adalah limbah dari pabrik pemotongan marmer di Kabupaten Enrekang. Benda uji yang didatangkan dari lokasi dikeringkan dengan cara digemburkan dan menggunakan alat pemanas.

Kombinasi Campuran

Kombinasi campuran yang dibuat untuk melakukan stabilisasi adalah sebagai berikut :

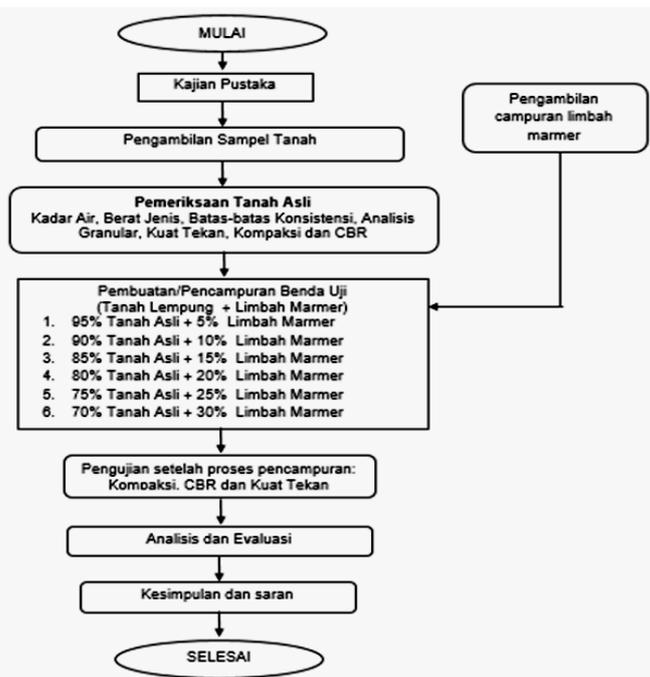
1. 95% Tanah Asli + 5% Limbah Marmer
2. 90 % Tanah Asli + 10% Limbah Marmer
3. 85% Tanah Asli + 15% Limbah Marmer
4. 80% Tanah asli + 20% Limbah Marmer
5. 75% Tanah Asli + 25% Limbah Marmer
6. 70% Tanah Asli + 30% Limbah Marmer

Pengujian Sampel

Pengujian dibagi menjadi 2 bagian pengujian yaitu pengujian untuk tanah asli dan tanah yang telah distabilisasi dengan limbah marmer. Terhadap tanah asli dilakukan uji sifat fisik, pemadatan dan mekanis tanah. Sedangkan terhadap tanah yang telah distabilisasi dilakukan pengujian

pemadatan dan sifat mekanis. Pengujian dilakukan di laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil Universitas Hasanuddin mengikuti Standart ASTM, AASHTO, SNI dan USCS.

Bagan Alir Penelitian



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Tanah Asli

Dari pengujian yang telah dilakukan diperoleh data-data karakteristik fisik dan mekanis tanah asli yang dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Pengujian Tanah Asli

No.	Pengujian	Hasil Pengujian
1	Pengujian kadar air	45,1 %
2	Pengujian berat jenis	2,63
3	Pengujian analisa saringan	
	a. Berbutir kasar	36,4 %
	b. Berbutir halus	63,6 %
4	Batas-batas konsistensi	
	a. Batas cair	83,09 %
	b. Batas plastis	16,03 %
	c. Indeks plastisitas	67,05 %
	d. Batas susut	6,76 %
5	Kuat tekan bebas (q_u)	0,109 kg/cm ²
6	Pemadatan	
	a. Berat isi kering maksimum ($\gamma_{d \max}$)	1,43 gr/cm ³
	b. Kadar air optimum (w_{optimum})	27 %
7	CBR	2,83 %

Klasifikasi Tanah Asli

The Unified Soil Classification System (USCS)

Klasifikasi awal : 100% lolos ayakan 3", berarti bukan tanah berbutir kasar. Lebih dari 50% lolos ayakan nomor 200, maka tanah berbutir halus. Dari grafik terlihat LL= 83,09, PI= 67,05, maka termasuk tanah CH. Kemudian plot CL pada diagram alir klasifikasi tanah berbutir halus inorganik yang mengacu pada ASTM D2487 (gambar terlampir). 50 – 69% lolos ayakan nomor 200

$$\text{Persentase pasir} = \#4 - \#200 = 100\% - 63,68\% = 36,4\%$$

$$\text{Persentase kerikil} = 3in - \#4 = 100\% - 100\% = 0$$

Persentase pasir lebih besar dari persentase kerikil, dimana kerikil lebih kecil dari 15%. Maka berdasarkan sistem klasifikasi USCS, tanah yang diuji tergolong tanah CH – Sandy fat clay.

American Association of State Highway and Transportation (AASHTO)

Berdasarkan hasil uji analisa gradasi butiran, diperoleh data : Persentase lolos ayakan nomor 10 (2 mm) adalah 100% ; Persentase lolos ayakan nomor 40 (0,425 mm) adalah 96,6 % ; Persentase lolos ayakan nomor 200 (0,075 mm) adalah 63,6 %

Nilai batas cair (LL) adalah 83,09 dan indeks plastisitas (PI) adalah 67,05. Berdasarkan tabel klasifikasi AASHTO dengan meninjau nilai-nilai dari arah kiri ke kanan (tabel terlampir) :

A-1 s/d A-2-7	No (>35% lolos saringan nomor 200)
A-4	No (LL terlalu tinggi)
A-5	No (PI tinggi)
A-6	No (LL tinggi)
A-7	Yes (kriteria terpenuhi)

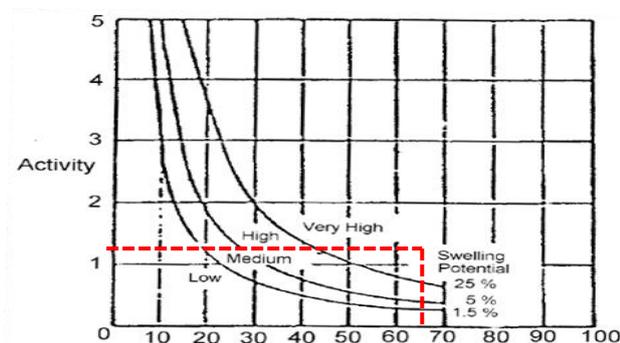
Nilai indeks plastisitas (PI) dan nilai batas cair (LL) kemudian dimasukkan kedalam grafik hubungan keduanya untuk menentukan klasifikasi group A4 s/d A7. Untuk mengetahui tingkat keandalan tanah sebagai lapisan perkerasan jalan, maka dilanjutkan dengan menghitung nilai indeks group (GI) dengan rumus :

$$GI = (F - 35) [0,2 + 0,005 (LL - 40)] + 0,001 (F - 15) (PI - 10)$$

dimana F adalah persentase tanah lolos saringan nomor 200, diperoleh nilai indeks group adalah 14,65. “Berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO tanah yang diuji tergolong tanah A-7-6 dan merupakan tanah yang *sangat buruk* sebagai lapisan perkerasan jalan.”

Identifikasi Tanah Kembang Susut

Untuk membuktikan bahwa tanah yang diuji merupakan tanah kembang susut, maka dilakukan identifikasi dengan cara tidak langsung menggunakan metode “Seed dan kawan-kawan (1962)” yakni dengan menghitung nilai aktivitas tanah. Nilai aktivitas ini kemudian diplot kedalam diagram klasifikasi tanah lempung yang menggolongkan tanah berdasarkan potensi pengembangannya kedalam empat golongan, yakni pengembangan rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi.



Gambar 2. Grafik hubungan persentasi butiran lempung dan aktivitas

Grafik diatas menunjukkan bahwa tanah berbutir halus yang diuji merupakan tanah lempung yang memiliki potensi pengembangan yang sangat tinggi.

Nilai kuat tekan bebas (q_u) tanah asli yang diperoleh dari pengujian adalah 0,109 kg/cm² dan terkategori tanah sangat lunak. Syarat nilai CBR tanah untuk digunakan sebagai tanah dasar jalan adalah diatas 6% (ASTM D1183). Dari pengujian CBR yang dilakukan terhadap tanah asli diperoleh nilai CBR desain 2,83%.

Berdasarkan hasil pengujian karakteristik fisik, pemadatan dan mekanis tanah asli terlihat bahwa tanah yang diuji adalah tanah kembang susut dengan potensi pengembangan yang sangat tinggi dan memiliki kekuatan yang rendah sebagai tanah dasar sehingga perlu dilakukan stabilisasi, karena tanah ini akan mengembang dan memberikan tekanan yang dapat merusak konstruksi di atasnya apabila terjadi perubahan kadar air.

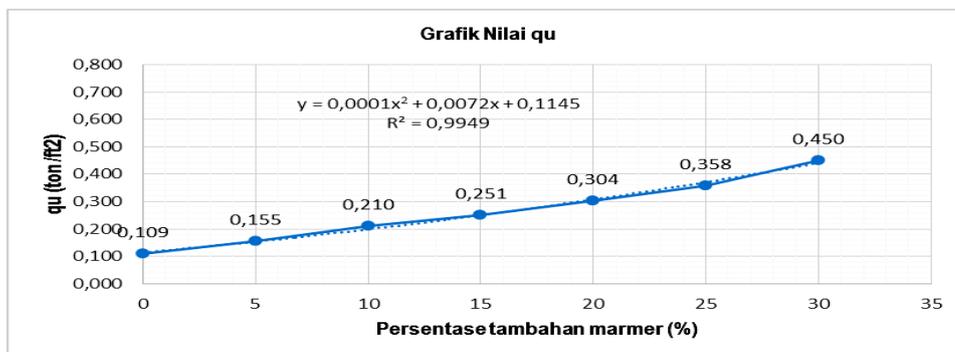
Pemilihan jenis metode stabilisasi yang cocok ditentukan berdasarkan ukuran butir tanah yang lolos saringan No. 200 dan Indeks Plastisitas. Dengan nilai Indeks Plastisitas 67,05% dan jumlah fraksi lempung 63,6% dan juga mempertimbangkan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh PT. Sucofindo Jakarta yang menyimpulkan bahwa komposisi utama limbah marmer adalah zat kapur dan hal lain yang dijelaskan pada bab sebelumnya maka tanah kembang susut yang diuji ini distabilisasi dengan limbah marmer.

Pengujian stabilisasi dilakukan dengan mencampur tanah asli dengan serbuk limbah marmer dengan variasi campuran 5%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30% marmer dari tanah asli kemudian dibuktikan hasilnya melalui pengujian kuat tekan bebas, pemadatan dan CBR.

Pengaruh Penambahan Marmer Terhadap Kuat Tekan Bebas

Tabel 4. Hasil Uji UCT dengan Variasi Penambahan Marmer

No	Variasi Campuran		Nilai q_u			Konsistensi
			1	2	Rata-rata	
1	100 % tanah asli	kg/cm ²	0,109	0,110	0,109	Very Soft
2	95 % tanah asli + 5 % marmer	kg/cm ²	0,151	0,159	0,155	Very Soft
3	90 % tanah asli + 10 % marmer	kg/cm ²	0,205	0,215	0,210	Very Soft
4	85 % tanah asli + 15 % marmer	kg/cm ²	0,254	0,247	0,251	Soft
5	80 % tanah asli + 20 % marmer	kg/cm ²	0,305	0,303	0,304	Soft
6	75 % tanah asli + 25 % marmer	kg/cm ²	0,363	0,353	0,358	Soft
7	70 % tanah asli + 30 % marmer	kg/cm ²	0,445	0,456	0,450	Soft



Gambar 3. Grafik Hubungan Nilai q_u dengan Variasi Penambahan Marmer

Tabel dan grafik diatas menunjukkan nilai kuat tekan bebas (q_u) tanah asli adalah 0,109 kg/cm² dan setelah tanah dicampur dengan serbuk limbah marmer sebagai bahan stabilisasi meningkat menjadi 0,155 dengan 5% marmer, 0,21 dengan 10% marmer, 0,251 dengan 15% marmer, 0,304 dengan 20% marmer, 0,358 dengan 25% marmer dan 0,45 jika dicampur dengan marmer sebanyak 30% dari volume tanah asli. Nilai-nilai ini jika dimasukkan kedalam grafik hubungan nilai q_u dengan variasi penambahan marmer, diperoleh persamaan :

$$y = 0,0001x^2 + 0,0072x + 0,114$$

Pengaruh Penambahan Marmer terhadap Pemadatan

Uji pemadatan dilakukan untuk mengetahui berat isi kering maksimum (MDD) dan kadar air optimum (OMC). Pada uji pemadatan tanah asli diperoleh berat isi kering maksimum 1,43 kg/cm³

pada kadar air 27%. Selanjutnya dilakukan uji pemadatan terhadap tanah kembang susut yang distabilisasi dengan limbah marmer dan diperoleh data sebagai berikut :

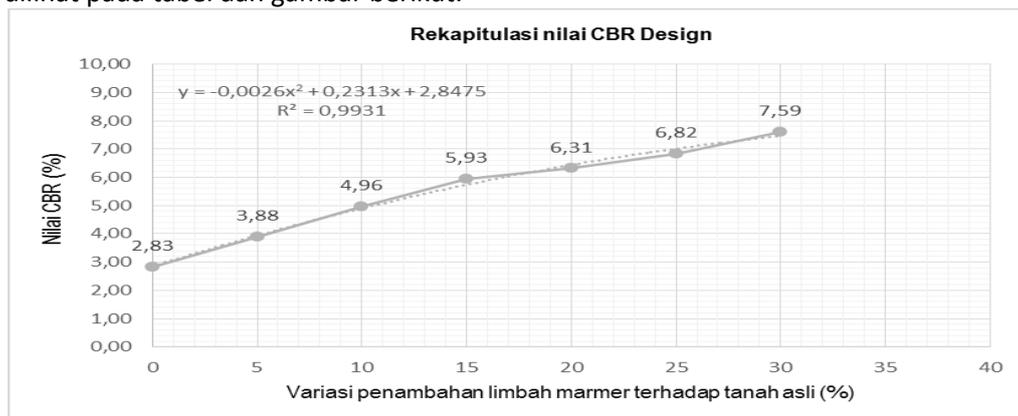
Tabel 5. Hasil Uji Kompaksi dengan Variasi Penambahan Marmer

No.	Variasi Campuran	Kadar Air Optimum (ω opt)	Berat Isi Kering (γ dry)
1	100% tanah asli	27,00 %	1,43 kg/cm ³
2	95% tanah asli + 5% marmer	26,00 %	1,46 kg/cm ³
3	90% tanah asli + 10% marmer	25,00 %	1,48 kg/cm ³
4	85% tanah asli + 15% marmer	24,00 %	1,50 kg/cm ³
5	80% tanah asli + 20% marmer	22,50 %	1,53 kg/cm ³
6	75% tanah asli + 25% marmer	21,00 %	1,55 kg/cm ³
7	70% tanah asli + 30% marmer	20,00 %	1,58 kg/cm ³

Hasil uji pemadatan menunjukkan bahwa penambahan persentase marmer memperlihatkan kecenderungan peningkatan berat isi kering maksimum. Hal ini disebabkan karena mengecilnya rongga-rongga antara partikel campuran tanah akibat penambahan kapur. Kenaikan berat volume kering maksimum, salah satu penyebabnya adalah semakin rapat jarak antara partikel tanah, sehingga tanah lebih padat dan terjadi penurunan kadar air optimum.

Pengaruh Penambahan Marmer terhadap Nilai CBR

Hasil pengujian CBR terhadap tanah kembang susut yang distabilisasi dengan limbah marmer dapat dilihat pada tabel dan gambar berikut.



Gambar 4. Grafik Hubungan Penambahan Marmer dengan Nilai CBR Desain

Tabel 6. Hasil Uji CBR dengan Variasi Penambahan Limbah Marmer

No.	Variasi Campuran	Nilai CBR
1	100% tanah asli	2,83
2	95% tanah asli + 5% marmer	3,88
3	90% tanah asli + 10% marmer	4,96
4	85% tanah asli + 15% marmer	5,93
5	80% tanah asli + 20% marmer	6,31
6	75% tanah asli + 25% marmer	6,82
7	70% tanah asli + 30% marmer	7,59

Dari data yang disajikan diatas terlihat bahwa seiring dengan besarnya persentase limbah marmer yang ditambahkan maka bertambah pula kekuatan tanah tersebut. Hal ini terlihat dari nilai CBR yang terus meningkat, untuk penambahan 5% marmer nilai CBR menjadi 3,88%, 10% marmer menjadi 4,96%, 15% marmer 5,93%, 20% marmer 6,31%, 25% marmer menjadi 6,82% dan dengan

penambahan 30% marmer nilai CBR menjadi 7,59%. Nilai-nilai ini jika dimasukkan kedalam grafik hubungan penambahan marmer dengan nilai CBR, diperoleh persamaan :

$$y = -0,0026x^2 + 0,2313x + 2,8475$$

Kenaikan nilai CBR disebabkan karena terjadinya sementasi akibat penambahan kadar limbah marmer yang ideal. Dari penambahan kadar limbah marmer pada partikel-partikel tanah akan terjadi penggumpalan yang akan meningkatkan kemampuan saling mengunci (*interlocking*) antar butiran. Rongga-rongga pori yang telah ada akan dikelilingi bahan sementasi yang lebih keras, daya ikat antar butiran menyebabkan butiran tanah kembang susut ini menjadi lebih besar, dengan adanya perbaikan gradasi butir tanah ini maka nilai CBR mengalami kenaikan. Hasil reaksi campuran limbah marmer dengan tanah juga akan menghasilkan campuran yang lebih tahan terhadap perubahan bentuk akibat perubahan kadar air.

KESIMPULAN

1. Setelah melakukan pemeriksaan karakteristik fisik, pemadatan dan mekanis terhadap tanah asli yang merupakan tanah kembang susut, terlihat bahwa tanah tersebut tidak memenuhi syarat sebagai lapisan tanah dasar, baik dengan menggunakan klasifikasi tanah menurut AASHTO atau dengan melihat nilai CBR yang hanya 2,83%.
2. Karakteristik mekanis yang diperoleh dari variasi penambahan serbuk limbah marmer adalah sebagai berikut :
 - a. Melalui uji tekan bebas, kekuatan tanah yang dihasilkan semakin meningkat seiring dengan penambahan serbuk limbah marmer. Dengan penambahan 30% marmer terhadap tanah asli diperoleh nilai q_u 0,45 kg/cm². Sedangkan nilai q_u tanah aslinya adalah 0,109 kg/cm².
 - b. Penambahan limbah marmer dapat menyebabkan peningkatan nilai CBR. Dari nilai awal 2,83%, pada penambahan 30% marmer menjadi 7,59% dan nilai 6,31% (lebih besar dari 6%) diperoleh pada variasi campuran 20% marmer dari tanah asli.
Hasil pengujian diatas menunjukkan bahwa meningkatnya kadar marmer yang sebagai bahan stabilisasi memberikan pengaruh yang semakin baik terhadap karakteristik mekanis tanah kembang susut.

DAFTAR PUSTAKA

- Agrawal, Vinary and Gupta, Mohit. 2011. Expansive Soil Stabilization Using Marble Dust. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*. Volume 04.
- Badariah, Cut Nuri dan Nasrul. 2012. Perbaikan Tanah Dasar Jalan Raya dengan Penambahan Kapur. *Jurnal Rancang Sipil*. Vol.1 No. 1.
- Baser, Onur. 2009. *Stabilization of expansive soil using waste marble dust*. A thesis submitted to the graduate school of natural and applied sciences of middle east technical university.
- Bowles, J.E. 1998. Alih bahasa Ir. Johan Kelana Putra Edisi Kedua. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Erlangga, Jakarta.
- Das, Braja M. 1998. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik)* Jilid I. Erlangga, Jakarta.
- Departemen Pemukiman dan Orasarana Wilayah. 2002. *Panduan Geoteknik 1 Proses Pembentukan dan Sifat-sifat Tanah Lunak*. Jakarta.
- Hatmoko, John Tri dan Lulie, Yohannes. 2007. UCS Tanah Lempung Ekspansif yang Distabilisasi dengan Abu Ampas Tebu dan Kapur. *Jurnal Teknik Sipil*. Volume 8 No.1: 64-77
- Hardiyatmo, C. H. 2010. *Mekanika Tanah 1*. Gajah Mada University Press, Jakarta.
- Wardana, I Gusti Ngurah. 2009. Kelakuan Tanah dengan Sifat Kembang Susut yang Tinggi pada Stabilisasi Tanah dengan Bahan Serbuk Marmer dan Bahan Stabilia. *Journal Ilmiah Teknik Sipil*. Vol. 13 No. 2.
- Zultan, Achmad. 2011. *Stabilisasi Tanah Dasar Menggunakan Limbah Beton*. Tesis diterbitkan Makassar : Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin.