

KELAKUAN TANAH DENGAN SIFAT KEMBANG-SUSUT YANG TINGGI PADA STABILISASI TANAH DENGAN BAHAN SERBUK MARMER DAN BAHAN STABILIA

I Gusti Ngurah Wardana

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar
E-mail : wardana@civil.unud.ac.id

Abstrak : Stabilitas tanah dengan penambahan kapur sebagai pencampur merupakan salah satu metoda stabilisasi tanah kimiawi yang paling populer di Indonesia di masa lalu. Akan tetapi dengan adanya perkembangan metoda stabilisasi tanah, stabilisasi dengan kapur mulai dirasakan tidak sesuai karena harga kapur yang menjadi relative mahal. Untuk itu perlu dicari cara stabilisasi kimiawi lainnya yang lebih murah. Alternative ini muncul dengan adanya serbuk marmer, sebagai hasil limbah pengolah marmer yang sangat murah, dan bahan kimia baru bernama Stabilia sebagai satu-satunya produk Indonesia dengan harga kurang dari 1/3 harga produk jenis merk lainnya ex import.

Penelitian mengenai efektivitas kedua bahan tersebut sebagai bahan stabilisasi tanah masih sangat terbatas. Pada penelitian ini kedua bahan diujikan terhadap tanah lempung dari Pejaten, Tabanan, untuk mengetahui perubahan plastisitas tanah, kenaikan kekuatan tanahnya, perubahan besar "swelling" (pengembangan) tanah saat terendam air, besarnya tebal lapisan tanah yang terpengaruh air sebagai fungsi waktu, pengaruh kadar air awal tanah saat pemadatan terhadap swelling dan kokoh tekannya, serta bahan optimal. Benda uji dibuat dengan kadar serbuk marmer berkisar antara 3% s.d 12% dan kadar Stabilia berkisar antara 0,3% s.d 3,0% berat tanah.

Dari pengujian didapatkan bahwa kedua bahan menyebabkan penurunan swelling tanah dan menaikkan kokoh tekan tanah. Tetapi pada umumnya pencampuran dengan bahan Stabilia memberikan hasil yang lebih baik dari segi total free swelling dan kokoh tekan/kekuatan tanahnya. Bahan Stabilia ini dari segi kekuatan memberikan pengaruh yang setara dengan stabilisasi dengan kapur. Dari penelitian ini juga diberikan rekomendasi terhadap tebal lapisan tanah yang distabilisasi dan kadar bahan optimum. Selain itu disarankan bahwa pengujian kinerja bahan stabilisasi jangan hanya didasarkan pada perubahan plastisitas tanahnya saja, tetapi pada besarnya swelling yang dibolehkan sehingga tanah yang telah mengembang masih tetap mendukung beban pondasi atau roda kendaraan. Pengaruh genangan air di-permukaan tanah ternyata hanya terasa pada lapisan tipis tanah sebelah atas saja.

Kata Kunci : Stabilitas, Tanah, Stabilia

BEHAVIOR OF HIGH LEVEL SWELLING-SHRINKAGE SOIL TOWARD SOIL STABILIZATION USING MARBLE POWDER AND STABILIA MATERIAL

Abstract: Soil stabilization by adding limestone as admixture, was one of the most popular methods of chemical stabilization in Indonesia. However, with the development of soil stabilization method, stabilization using limestone has started to become unfeasible due to the increase of limestone price. Cheaper methods of chemical stabilization should be sought after. This alternative is apparent in the use of powdered marble, a waste from marble product processing factories which is relatively very cheap, and a new product called Stabilia as the only made-in-

Indonesia product of chemical stabilizer for soil with a price less than a third of that of the similar imported products.

Research on the effectiveness of both powdered marble and Stabilia as soil stabilizers is very limited. Therefore, in this study both of materials were tested on clay soil from Pejaten, Tabanan, in order to identify the changes of soil plasticity, the increase of the soil strength, the changes of soil swelling when the soil was submerged under water, the thickness of soil layer affected by water as a function of the submersion time, the effect of soil initial water content when being compacted toward its swelling and its compressive strength, and the optimum material. The specimens were made by adding powdered marble that ranges from 3% to 12% and the Stabilia content ranges form 0,3% to 3,0% of the total soil weight.

From the test it was obtained that both materials caused reduction of soil swelling and increase of soil strength. In general, admixture with Stabilia presented better results in terms of free swelling and compressive strength of the samples. Apparently, Stabilia gave the performance almost similar to limestone stabilization. This study also gives a recommendation on the thickness of the soil layer to be stabilized and the optimum admixture content. It is also suggested that evaluation of the performance of stabilizing agent should not be based on the changes of soil plasticity alone, but it has to be determined according to the amount of allowable swelling, so that after the soil expands it is still able to support the load of foundation or vehicle tires. The influence of water submersion on the surface of the soil sample is merely felt at the relatively thin layer on the top of the sample.

Key Words : Stabilization, Soil, Stabilia

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kapur telah dikenal sebagai salah satu bahan stabilisasi tanah yang baik, terutama bagi stabilisasi tanah lempung yang memiliki sifat kembang-susut yang besar. Tanah-tanah seperti ini, yang lebih dikenal dengan “tanah mengembang”, umumnya mengandung kadar lempung montmorillonite yang cukup tinggi, akan tetapi sifat kembang-susut tersebut akan banyak berkurang, bahkan dapat dihilangkan, bila tanah tersebut dicampur dengan kapur (Ingles dan Metealf, 1972). Adanya unsur cation Ca^{2+} pada kapur dapat memberikan ikatan antar partikel yang lebih besar yang melawan sifat mengembang dari tanah (Mochtar 1994).

Pada kenyataannya di Indonesia, sampai pada decade tahun 70-an banyak digunakan stabilisasi tanah dengan kapur, akan tetapi setelah itu mulai jarang dilakukan

karena antara lain biayanya makin lama makin kurang ekonomis. Hal ini karena untuk tanah-tanah mengembang telah dikenalkan sejak tahun 1980-an cara-cara perbaikan lain yang ternyata lebih baik hasilnya dari pada stabilisasi dengan kapur, yaitu antara lain dengan penggunaan bahan geomembrane. Selain itu stabilisasi tanah dengan kapur telah menjadi relaif mahal bagi stabilisasi tanah mengembang (Oriental Consultant, 1992).

Sebetulnya ada alternative lain yang mempunyai prospek besar sebagai bahan stabilisasi untuk tanah mengembang, yakni serbuk marmer. Serbuk marmer di Jawa Timur banyak didapat sebagai hasil buangan (limbah) dari pabrik pengolahan/pemotongan marmer. Saat ini limbah serbuk marmer dijual dipasaran dengan harga berkisar antara Rp.25,-s/d Rp.35,-per kg, sangat murah bila dibandingkan harga kapur antara Rp.100,-a/d Rp.125,- per kg. Jadi besar kemungkinan bahwa stabilisasi

tanah dengan serbuk marmer akan menjadi salah satu alternative yang termurah, apalagi didukung dengan keberadaan sedikitnya 3 (tiga) pabrik pengolahan marmer yang besar di Jawa Timur dan banyaknya pusat-pusat kerajinan marmer rumah tangga/desa di daerah Tulungagung. Jadi pasokan serbuk marmer relative cukup banyak dari limbah tempat-tempat pengolahan tersebut.

Pada dasarnya marmer mempunyai unsur dominan yang sama dengan kapur. Batuan marmer asalnya juga adalah batuan kapur yang kemudian mengalami proses metamorfosa batuan. Akan tetapi sampai sekarang belum pernah dilakukan penelitian tentang seberapa jauh kebaikan-kekurangan serbuk marmer sebagai bahan stabilisasi tanah. Walaupun unturnya sama, bangun kristal marmer tidak sama dengan batu kapur biasa. Selain itu, setelah mengalami proses metamorfosa batuan selama berpuluh-puluh tahun, tentunya ada beberapa perubahan sifat dari batuan marmer dibanding dengan batuan kapur. Jadi mungkin sifat reaktif marmer terhadap tanah lempung juga berbeda. Terutama tentang sifatnya terhadap tanah-tanah yang mengembang, masih diperlukan studi untuk mengetahui tingkat kegunaan serbuk marmer ini dalam stabilisasi tanah.

Dalam penelitian ini juga digunakan bahan Stabilia untuk stabilisasi tanah. Stabilia merupakan bahan kimia penstabil tanah yang dibuat khusus untuk tanah mengembang di daerah tropik, berbentuk cair dan larut dalam air sehingga dapat menyebar secara efektif ke dalam tanah. Proses stabilisasi tanah dengan menggunakan Stabilia berlangsung cepat sehingga menghemat waktu dan biaya pelaksanaan. Sistem Stabilia terdiri dari Stabilia-01 dan Stabilia-02. Stabilia adalah produk baru buatan Indonesia sendiri, tetapi belum pernah diuji secara mendetail. Oleh karena itu perlu dilakukan pengujian. Perlu juga ditambahkan disini bahwa Stabilia sebagai produk buatan dalam negeri Indonesia merupakan bahan yang paling murah dari pada semua bahan kimia setara yang ada

di pasaran (ada \pm 7 jenis produk impor), yaitu sekitar Rp.1.500,-per liter bahan Stabilia.

Mekanisme kerja bahan Stabilia adalah merusak system koloid menjadi partikel nonreaktif (Stabilia-01) serta meningkatkan daya ikat partikel tanah dan membebaskan air terikat sehingga butiran tanah (solid) dan air akan terpisah (Stabilia-02). Partikel yang telah dirubah secara kimiawi menjadi tidak reaktif terhadap air akan mencegah terjadinya pengembangan tanah yang besar (PT. Olah Bumi Mandiri, 1994). Untuk mengetahui seberapa jauh manfaat bahan Stabilia dalam proses stabilisasi tanah mengembang, diperlukan suatu penelitian.

Bertitik tolak dari permasalahan yang telah diuraikan diatas, maka pada penelitian ini dicoba stabilisasi tanah lempung dengan menggunakan bahan serbuk marmer dan bahan stabilia pada daerah-daerah dengan "problem tanah mengembang", yaitu daerah yang banyak mengalami masalah pada bangunannya karena tanahnya memiliki sifat kembang-susut yang sangat besar, dengan harapan penggunaan bahan – bahan tersebut sebagai bahan stabilisasi dapat meningkatkan daya dukung tanah, serta dapat mengurangi fluktuasi kadar air tanah sehingga memenuhi syarat sebagai tanah lapis dasar (sub grade) pada konstruksi jalan

TINJAUAN PUSTAKA

Stabilisasi Tanah Dengan Serbuk Marmer

Serbuk marmer hasil pemotongan marmer dengan harga yang relative sangat murah diperkirakan dapat menggantikan kapur sebagai bahan stabilisasi tanah yang ekonomis. Akan tetapi penelitian tentang serbuk marmer ini sebagai stabilisasi tanah masih sangat minim. Dharmaputra (1999) telah berupaya melakukan penelitian dengan serbuk marmer tersebut. Hasilnya pada tanah asli lempung Pejaten menunjukkan adanya penurunan PI dari tanah yang distabilisasi, dan diikuti dengan

kenaikan kekuatan tanah. Kekuatan tanah maksimum dicapai pada kadar serbuk marmer sekitar 10%. Pada kadar serbuk marmer tersebut, harga kokoh tekan q_u meningkat sekitar 2-2,5 kali harga q_u dari tanah asli. Kenaikan kokoh tekan ini juga tergantung pada lama waktu pemeramaannya.

Hasil dari Dharmaputra (1999) ini menyimpulkan bahwa untuk pencampuran dengan serbuk marmer diperlukan pemeraman yang cukup lama untuk mendapatkan kenaikan kokoh tekan dan penurunan PI yang berarti. Dharmaputra melakukan pemeraman sampai 4 minggu. Juga didapatkan bahwa sample-sample tanah yang dipadatkan pada kadar air wet side of optimum dan kepadatan 95% γ_{dmax} menghasilkan harga kokoh tekan yang hampir sama dengan kokoh tekan sample-sample tanah yang dipadatkan pada kadar air dry side of optimum dan kepadatan yang sama (95% γ_{dmax}).

Dari Dharmaputra ini pula didapatkan bahwa harga Plasticity Index, PI, berkurang dari harga tanah asli PI = 58 menjadi antara 28 sampai 37 untuk kadar serbuk marmer 10%. Diatas kadar 10% ini masih terjadi pengurangan harga PI walaupun tidak terlalu besar (PI antara 20 sampai 31 pada kadar marmer 20%).

Untuk besar pengembangan (*swelling*) tanah, stabilisasi serbuk marmer terhadap tanah asli memberikan penurunan besar swelling dari harga tanah asli sebesar $\pm 11\%$ menjadi sekitar 3-4 % untuk kadar serbuk marmer sebesar 10%.

Akan tetapi, penurunan PI dan kenaikan kekuatan tanah saja masih kurang bercerita banyak tentang bagaimana kelakuan kembang-susut tanah tersebut bila terjadi perubahan kadar air (karena hujan). Sebagaimana diketahui, kembang-susut tanah sangat tergantung juga dari kadar air awal dan kepadatannya. Kemudian, ketebalan lapisan yang terkena perubahan kadar air (umumnya karena air hujan) juga mempengaruhi total pengembangan dari tanah. Jadi penelitian ini masih perlu terus di-

kembangkan untuk mengetahui hal lainnya, antara lain :

- Hubungan antara kepadatan, kadar air dan pengembangan tanah, untuk berbagai kadar bahan serbuk marmer.
- Besarnya pengaruh perubahan kadar air dengan kedalaman lapisan akibat genangan air hujan dipermukaan tanah sebagai fungsi dari waktu.
- Berapa besar kadar bahan yang optimal bila ditinjau dari segi besarnya pengembangan tanah yang masih dapat ditolerir untuk bangunan di atasnya.

Semua hal diatas sangat diperlukan dalam penentuan kadar bahan yang optimal, ketebalan lapisan tanah yang perlu distabilisasi, dan kepadatan minimal yang diperlukan dilapangan untuk usaha stabilisasi.

Stabilisasi Tanah Dengan Bahan Stabilia

Bahan Stabilia merupakan bahan kimia yang berbentuk cair dan larut dalam air (PT. Olah Bumi Mandiri, 1994). Sablilisasi tanah dengan Stabilia terdiri atas Stabilia-01 sebagai super Flocculant dan Stabilia-02 yang berfungsi sebagai cross-link agent. Bahan Stabilia-01 berbentuk sangat kental seperti gel tidak berwarna, sedangkan bahan Stabilia-02 berwarna kuning muda dan sedikit kental.

Fungsi dan mekanisme kerja dari Stabilia adalah sebagai berikut :

1. Stabilia-01 menonreakifkan partikel tanah dan membuat jaringan untuk mengikat partikel tanah tersebut menjadi agregat.
2. Mereaktifkan agregat tanah sehingga siap diikat menjadi gumpalan yang lebih besar dan stabil.
3. Stabilia-02 mengikat air disekeliling partikel tanah mencapai kondisi ideal sehingga menurunkan sensitifitasnya terhadap air.
4. Secara bersamaan Stabilia-02 juga membentuk jala-jala tulangan yang mengikat kuat agregat tanah pada proses kompaksi.
5. Partikel yang telah distabilisasi diubah secara kimiawi menjadi ikatan partikel

yang stabil dan kedap terhadap air, sehingga akan meningkatkan daya dukung tanah tersebut.

Jadi bahan Stabilia ini berpotensi sekali sebagai bahan stabilisasi tanah yang baik. Terlebih lagi bahwa bahan Stabilia ini merupakan satu-satunya bahan produk "Made in Indonesia" sendiri. Semua bahan kimia lainnya untuk stabilisasi tanah adalah buatan luar negeri, seperti misalnya DUSTEX, GEOSTA, BASE SEAL, CONSOLID + CONVERSEX, RRP ASPAL, EMULSI. Jadi harga Stabilia relative sangat murah dibandingkan dengan produk-produk jenis lainnya.

Akan tetapi, karena bahan Stabilia ini masih baru dipasarkan, penelitian tentang bahan Stabilia ini juga masih sangat kurang. Pratama (1995) memberikan satu-satunya hasil penelitian tentang Stabilia ini yang intinya menunjukkan penurunan harga PI dengan kenaikan kadar Stabilia, serta besarnya pengaruh perubahan kadar air dengan kedalaman lapisan akibat genangan air (perendaman) diatas permukaan benda ujinya. Pratama (1995) melakukan pencampuran dengan Stabilia sampai dengan kadar 0,5% dan didapatkan penurunan LL (Liquid Limit = Batas Cair) relative sedikit, yakni dari sekitar 50 menjadi sekitar 44 untuk kadar Stabilia 0,5%. Pada kadar yang sama kadar PI (= Plasticity Index) tanah berkurang dari sekitar 26 menjadi sekitar 22, semuanya untuk masa pemeraman 28 hari. Untuk pengujian kokoh tekan pada tanah yang dipadatkan dengan Modified Proctor, pencampuran dengan bahan Stabilia memberikan kenaikan yang cukup berarti, jauh diatas harga yang dihasilkan oleh bahan-bahan stabilisasi kimia lainnya, produk luar negeri, seperti DUSTEX dan BASE SEAL. Kalau bahan kimia lain praktis tidak memberikan kenaikan kokoh tekan yang berarti, tetapi bahan Stabilia memberikan kenaikan antara 2 sampai 3 kali lipat kokoh tekan tanah aslinya (kenaikan terbesar untuk kadar Stabilia 0,5 % dan lama pemeraman 28 hari).

Dari hasil perendaman benda uji tanah di dalam air selama 24 jam oleh Pratama (1995) dapat disimpulkan bahwa pencampuran dengan bahan Stabilisasi dapat mengurangi besar swelling secara cukup berarti, dan Stabilia menghasilkan nilai swelling rata-rata yang terkecil bila dibandingkan dengan DUSTEX maupun BASE SEAL. Juga lapisan tanah setelah distabilisasi menjadi lebih kedap terhadap air, dengan tebal penetrasi/pengaruh air setelah perendaman 24 jam adalah antara 1,5 sampai 3 cm.

Tetapi hasil dari Pratama (1995) masih dianggap sangat kurang antara lain tentang kadar bahan optimal, dan kenaikan kekuatan tanah dengan adanya bahan Stabilia. Masih perlu studi lanjutan dengan jumlah sample yang lebih banyak agar didapatkan sifat-sifat dan kriteria pencampuran dengan bahan Stabilia yang perlu bagi perencanaan di lapangan. Suatu penelitian yang komprehensif diharapkan dapat memberikan jawaban atas masalah-masalah tersebut di atas.

Telah diusahakan untuk menyelidiki di Laboratorium Kimia mengenai unsur utama apa yang terkandung dalam Stabilia-01 dan 02. Akan tetapi karena alasan waktu dan biaya untuk penyelidikan yang relative besar, maka penyelidikan untuk sementara ditunda. Penyelidikan yang sama oleh Laboratorium Teknik Lingkungan ternyata tidak dapat mendapatkan unsur utama tersebut karena kesulitan dalam menangani sifat gel yang tidak mudah diencerkan. Dari pembuatan PT. Olah Bumi Mandiri diberikan keterangan secara lisan bahwa unsur utama merupakan bahan organik sebagai hasil limbah dari pabrik pengolahan bahan untuk kertas.

Metode Menilai Pengembangan Tanah

Penilaian pengembangan (*swelling*) tanah yang umum dipakai ialah dengan merendam tanah yang sudah dipadatkan dalam tabung CBR (dengan pemadatan setara Modified Proctor) selama 4 hari. Selama waktu itu pula dipermukaan benda uji dipasang arloji pengukur (dial gage) untuk

mengukur besar pengembangan tanahnya. Cara lainnya ialah memadatkan tanah dalam tabung Proctor dan merendamnya serta mengukur besarnya *swelling*, seperti pada CBR diatas.

Dari hasil Pratama (1995) dan Teguh (1996) didapati bahwa cara pengukuran *swelling* diatas tidak benar-benar mendapatkan *swelling* maksimum dari tanah. Setelah perendaman tersebut, hanya tanah disisi atas saja yang mengembang akibat terpengaruh air, atau sisi terluar saja kalau perendaman menyebabkan ke dua sisi benda uji terkena air. Untuk tanah yang sudah distabilisasi, perendaman selama 4 hari hanya mempengaruhi lapisan tanah antara 5-8 cm sisi terluar saja, dan tidak semua tanah dalam lapisan mengembang. Selain itu, besar pengembangan cara ini juga berkurang dari sebenarnya karena adanya hambatan sisi antara tanah dan dinding tabung (silinder). Oleh sebab itu pengukuran total *swelling* tanah dilakukan dengan cara berbeda.

Untuk cara penelitian ini benda uji setelah dipadatkan dikeluarkan dari dalam tabungnya dan dimasukkan ke dalam tabung PVC yang memiliki diameter yang hampir sama dengan tabung asli. Perendaman dilakukan dalam tabung tersebut, dengan menjaga bahwa perendaman hanya mempengaruhi satu sisi benda uji saja.

Tanah yang mengembang dibagian permukaan dipotong tipis-tipis, sekitar 0,5 cm tebal, dan kemudian diukur kadar airnya. Kemudian besar *swelling* lapisan tanah tersebut dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

1. kadar air tanah mula – mula W_o dan kepadatannya adalah γ_t .

Dari sini dapat dicari angka pori awal, C_o , tanah dari rumus:

$$\gamma_t = \frac{G_s \gamma_w (1 + W_o)}{1 + e_o} \dots\dots\dots (1)$$

Sehingga didapatkan :

$$e_o = \frac{\gamma}{G_s \gamma_w (1 + W_o)} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

e_o = angka pori tanah mula- mula

γ_t = berat volume tanah mula-mula.

G_s = specific Gravity butiran tanah

γ_w = berat jenis air, dan

W_o = kadar air tanah mula- mula setelah dipadatkan.

2. Setelah direndam air dan mengembang, dapat dianggap lapisan tanah yang mengembang telah menjadi jenuh air, dengan kadar air yang diukur sebesar W_1 .

Untuk tanah jenuh air ini berlaku angka pori setelah mengembang, e_1 , sebagai berikut :

$$e_1 = W_1 G_s \gamma_w$$

Dengan anggapan $\gamma_s = 1 \text{ ton/m}^3 = 1 \text{ gr/cm}^3$ maka :

$$e_1 = W_1 G_s \dots\dots\dots (3)$$

Besar *swelling* tanah sesungguhnya (*true total swelling*) dapat diukur sebagai berikut :

$$\text{Swelling} = \frac{e_1 - e_o}{1 + e_o} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

Filosofi Cara Penilaian Kekuatan Jalan Tanah Yang Distabilisasi

Selama ini dalam perencanaan perkerasan jalan, terlebih dahulu dibutuhkan test-test di laboratorium untuk menentukan kekuatan tanah dasar dan kekuatan bahan yang digunakan agar memenuhi persyaratan. Kemudian berdasarkan test laboratorium tersebut dapat direncanakan struktur dan tebal perkerasan yang dapat bertahan selama umur/ waktu yang direncanakan. Akan tetapi, sistem pengujian laboratorium tersebut tidaklah terlalu bermanfaat untuk menilai kekuatan/ketahanan jalan tanah yang distabilisasi. Hanya berdasarkan data laboratorium dan pengamatan sesaat saja tidaklah mungkin untuk mengetahui atau memprakirakan performance dari jalan tanah yang distabilisasi. Diperlukan waktu pengamatan yang cukup lama untuk menentukan “performance” yang sebenarnya dari masing-masing bahan stabilisasi yang diuji-cobakan.

Pada umumnya penyebab kerusakan pada suatu jalan terutama adalah akibat faktor-faktor sebagai berikut :

1. Faktor beban roda kendaraan

Beban roda kendaraan menimbulkan beban tekan, beban geser, dan beban tarik (tarik – cabut) pada permukaan jalan. Beban tekan selalu bekerja, baik bila kendaraannya diam maupun bergerak. Beban geser dan tarik hanya terjadi bila kendaraannya bergerak. Beban geser dapat berupa geser horizontal maupun geser memutar ditempat-tempat dimana roda kendaraan membuat pergerakan belokan yang tiba-tiba atau gerakan yang dibuat oleh roda belakang pada saat kendaraan melakukan belokan – belokan. Beban tarik (cabut) terjadi akibat roda yang berputar dibagian belakang bergerak keatas sehingga resultan nya berupa gaya cabut arah ke atas. Beban tekan meneruskan beban kendaraan ke lapisan perkerasan di bawahnya, sedangkan beban geser dan tarik mempunyai efek merusak permukaan perkerasan, seolah-olah roda mengebor permukaan jalan.

Menurut pengamatan, beban tekan tergantung dari berat kendaraan, sedangkan beban geser dan tarik (cabut) selain tergantung dari berat kendaraan juga kecepatan kendaraan. Makin berat kendaraan dan makin tinggi kecepatannya, makin besar kemungkinan kerusakan yang disebabkan nya. Itulah sebabnya bila ada suatu jalan tanah yang berupa tanah pasir atau kerikil yang relatif memiliki daya dukung tinggi, jalan tanah tersebut akan baik selamanya bila bebannya hanya berupa beban diam (kendaraan tidak bergerak). Tetapi jalan tanah pasir dan kerikil tersebut dilewati kendaraan bergerak dapat dipastikan jalan tersebut akan cepat rusak disekitar jejak roda kendaraan. Apabila kendaraan yang melintas adalah kendaraan yang berkecepatan tinggi, apalagi dengan berat yang besar

Jadi pada suatu jalan yang stabil harus dipenuhi kondisi sebagai berikut:

a. Lapisan-lapisan perkerasan jalan mampu mendukung beban kendaraan yang lewat dengan aman untuk waktu yang ditentukan.

b. Pada permukaan jalan ada lapisan perkerasan, atau sejenisnya, yang tahan terhadap beban geser dan cabut dari roda kendaraan.

(Catatan : Itulah sebabnya mengapa jalan dari “paving block” beton biasa tidak sesuai untuk lalu-lintas kecepatan tinggi karena paving block biasa mudah terbongkar oleh truk-truk berkecepatan tinggi. Untuk jalan dari paving block dengan lalu-lintas berkecepatan tinggi diperlukan system paving block yang lebih besar, dengan dipasang terangkai/terkait satu sama lain, dan sebaiknya dipasang menyatu dengan base coursanya, sehingga paving block tersebut tidak akan mudah tercabut/terbongkar)

2. Faktor daya dukung/kekuatan tanah dasar

Daya dukung/kekuatan tanah dasar adalah faktor yang penting dalam jalan. Pada jalan yang stabil, tegangan tekan akibat roda kendaraan pada tanah tidak boleh lebih besar daripada daya dukung/kekuatan tanah dasarnya. Bila daya dukung tanah dasar relatif kecil, maka diperlukan suatu lapisan berfungsi sebagai penyebar tegangan roda sehingga sesampainya pada tanah tegangan roda sudah jauh berkurang dan lebih kecil daripada daya dukung tanahnya. Lapisan tanah yang lebih baik kekuatannya yaitu lapisan pasir, kerikil, atau batu.

Tanah yang tidak berkohesi (lanau berpasir, tanah-tanah pasir dan tanah-kerikil) biasanya mempunyai daya dukung/kekuatan yang cukup tinggi baik dalam kondisi jenuh air maupun kering. Tanah-tanah yang berkohesi memiliki daya dukung yang bervariasi. Bila tanah tersebut dalam kondisi jenuh air, daya dukungnya umumnya rendah; sedangkan bila dalam kondisi

kering/tidak jenuh air, tanah tersebut umumnya memiliki daya dukung yang cukup besar.

Jadi jalan-jalan tanah dengan daya dukung yang kecil adalah jalan-jalan pada tanah didominasi tanah berkohepsi dan dalam kondisi jenuh air (pada musim hujan). Tanah-tanah sejenis ini umumnya relatif kuat daya dukungnya di musim kering (kemarau). Jadi kerusakan jalan di tanah berkohepsi sebagian besar terjadi di musim hujan/basah.

3. Faktor air

Pada umumnya tanah dibagi menjadi tanah yang tidak mudah berubah kekuatannya karena air dan tanah-tanah yang mudah berubah kekuatannya karena air. Sebagian besar tanah-tanah yang tak berkohepsi adalah termasuk tanah-tanah yang tidak mudah berubah kekuatannya karena air. Tanah-tanah yang berkohepsi umumnya termasuk tanah yang mudah berubah kekuatannya karena air. Tanah yang mudah dipengaruhi air pada pokoknya dapat dilihat dari harga Index Plastis (Plasticity Index = PI) nya. Tanah-tanah yang berkohepsi yang mudah berubah kekuatannya karena air ialah tanah-tanah dengan nilai plastisitas tinggi.

Oleh sebab itu, untuk menjamin tanah yang baik sebagai material jalan, AASHTO mensyaratkan harga Plasticity Index, PI, tanah < 10. Bila tanah-tanah tersebut memiliki PI < 10, biasanya kekuatan tanah tersebut tidak banyak berubah, baik dalam kondisi kering maupun basah.

Untuk tanah-tanah dengan harga PI yang jauh lebih besar 10, biasanya bila terendam air maka tanah ini akan mengalami :

- Tanah menjadi lunak, dan
- Tanah mengembang (swelling);

Sehingga kepadatan tanah di permukaan menjadi relatif rendah. Kedua hal di atas menyebabkan daya dukung tanah turun drastis bila kena hujan. Jadi untuk jalan, terutama di tanah-ta-

nah berkohepsi dengan nilai plastisitas yang tinggi, adalah penting sekali dijaga agar jangan sampai tanah dasar menjadi jenuh air. Oleh sebab itu, sangat penting bagi jalan-jalan di tanah seperti ini untuk memiliki sistim drainase yang baik sehingga air hujan dapat segera dialirkan dan tidak menggenangi di badan jalan.

4. Faktor kelenturan dari lapisan pendukung

Lapisan yang fleksibel (lentur) umumnya lebih tahan mendukung beban roda kendaraan dari pada lapisan yang kaku. Lapisan yang lebih kaku haruslah memiliki kekuatan tekan yang jauh lebih tinggi bila diharuskan mendukung beban roda kendaraan tanpa terjadi keretakan pada perkerasan tersebut. Oleh sebab itu kelenturan lapisan sangat perlu untuk jalan tanah.

Untuk jalan-jalan dengan lapisan perkerasan (pavement), lapisan perkerasan sudah direncanakan dengan kekuatan dan ketebalan sedemikian rupa sehingga memenuhi syarat-syarat berikut :

- a. Lapisan perkerasan sendiri kuat menahan gaya-gaya tekan, geser, dan cabut dari roda kendaraan tanpa mengalami kerusakan selama umur rencananya perkerasan.
- b. Tanah dasar tidak langsung menahan gaya-gaya roda, tetapi yang diteruskan terutama ialah gaya/tegangannya. Gaya-gaya lainnya (geser dan cabut) sebagian besar dipikul oleh perkerasannya.
- c. Lapisan perkerasan dapat menyebarkan tegangan roda kendaraan ke lapisan tanah asli (subgrade) sedemikian sehingga daya dukung tanah yang terendah (saat saturated) masih jauh lebih besar dibanding tegangan tekan yang bekerja di atas lapisan tersebut.
- d. Air hujan tidak langsung mengenai tanah dasar, tetapi bila saluran drainasenya tidak baik air hujan ini

dapat menggenang menyebabkan tanah dasar jenuh air.

Jadi bila jalan memiliki lapisan perkerasan, titik berat perencanaan bagi tanah dasar ialah daya dukungnya pada kondisi yang terlemah (jenuh air). Oleh sebab itu, untuk jalan raya pada umumnya parameter pengujian untuk tanah dasar (subgrade), juga lapisan subbase dan base, cukup ditentukan berdasarkan harga kepadatan dan harga CBR tanah tersebut (yang ekuivalen dengan daya dukungnya terhadap tekan) dalam kondisi jenuh air. Karena daya dukung tanah dasar sudah direncanakan berdasarkan kondisi jenuh air, sebetulnya adanya air tidak mempengaruhi perkerasan. Hanya saja drainase jalan tetap penting diperhatikan agar jalannya dalam kenyataannya lebih baik dari pada rencananya (untuk faktor keamanan).

Situasi ini akan sangat berbeda bila yang dibahas adalah jalan-jalan tanah, atau jalan-jalan dengan tanah yang distabilisasi, yang diberi lapisan perkerasan di atasnya. Jalan-jalan seperti ini selain langsung terkena air hujan juga langsung menerima gaya-gaya tekan, geser, dan cabut dari roda kendaraan. Jadi penentuan kekuatan tanah hanya berdasarkan CBR dan kepadatan saja tidaklah cukup.

Untuk menahan gaya tekan, cukup diketahui persyaratan kekuatannya terhadap beban tekan yang dapat dilihat dari harga CBR tanah tersebut. Harga CBR ini mungkin juga memiliki korelasi dengan kekuatan terhadap geser tanah, akan tetapi harga CBR ini tidaklah dapat menggambarkan kekuatan tanah terhadap tegangan tarik yang dihasilkan oleh roda kendaraan. Oleh sebab itu tanah-tanah yang memiliki harga CBR tinggi belum tentu tahan terhadap “gerusan” dan kerusakan oleh roda kendaraan.

Dari hasil uji-coba stabilisasi tanah, telah dicobakan 2 jenis stabilisasi tanah : soil-cement dan C444+CX (Consolid+Conservex). Tanahnya adalah tanah lempung dengan nilai PI cukup tinggi (PI = 45). Pada waktu pengujian di laboratorium didapatkan harga-harga kekuatan “con-

vensional” seperti CBR, kokoh tekan, nilai Plasticity Index tanah yang jauh lebih baik untuk stabilisasi soil-cement dari pada Stabilisasi C444+CX. Demikian pula bila benda uji direndam air, benda uji soil – cement menunjukkan performance yang jauh lebih baik dari pada C444+CX. Tetapi pada kenyataan di lapangan terbalik

Sampai dua tahun dari pelaksanaan uji coba, jenis stabilisasi tanah C444+CX ternyata masih dalam kondisi relatif baik sedangkan stabilisasi dengan soil-cement jauh lebih buruk kondisinya, walaupun relatif masih lebih baik dari tanah-tanah yang distabilisasi. Rupanya dapat dipelajari hasilnya dari lapangan bahwa tanah-tanah yang distabilisasi dengan bahan kimia (di sini C444+CX) ternyata dapat mendukung beban-beban kendaraan yang melewatinya (umumnya kendaraan ringan), tetap fleksibel tetapi tetap dapat mempertahankan integritasnya pada saat adanya air. Asalkan materialnya itu cukup fleksible, kekuatan kokoh tekan bahan dari jalan-jalan tanah pada umumnya cukup memadai untuk mendukung beban tekan lalu lintas.

Pada saat kering memang tanah yang distabilisasi C444+CX ini menjadi retak-retak (karena plastisitasnya yang tinggi) tetapi retak-retak tersebut akan “merekat” kembali nanti bila ada air (hujan). Pada saat hujan, lapisan ini juga membentuk lapisan yang relatif kedap air yang melindungi tanah-tanah asli di bawahnya. Apalagi dengan waktu bahan kimia tersebut juga dapat menjalar ke tanah asli di bawahnya dan memperbaiki sifat tanah di bawahnya tersebut.

Pada jalan soil-cement, walaupun kekuatannya pada awalnya sangat tinggi, bila kena beban roda yang berat lapisan soil-cement ini dapat retak; dan bila terjadi retak maka retak tersebut permanent dan tidak dapat menjadi “sembuh” kembali. Jadi lama kelamaan akan timbul banyak keretakan pada permukaan jalan sehingga air hujan dengan mudah masuk membasahi tanah di bawahnya. Dengan kondisi ini tanah asli di bawah lapisan soil-cement menjadi lebih mudah rusak yang diikuti

pula dengan kerusakan pada lapisan soil-cementnya.

Jadi dari pengalaman terdahulu di lapangan dapat disimpulkan bahwa hasil penyelidikan di laboratorium tidak dapat sepenuhnya dipakai sebagai pedoman untuk menilai ketahanan/kekuatan jangka panjang suatu jalan tanah yang distabilisasi. Diperlukan pengujian langsung di lapangan dan evaluasi jangka panjang untuk memberikan penilaian yang sebenarnya.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini akan dilakukan seluruhnya di laboratorium. Adapun prosedur pelaksanaan penelitian yang dilakukan mengikuti langkah-langkah sebagai berikut :

1. Tanah asli diambil dari daerah Pejaten, Kabupaten Tabanan, yang telah dikenal dengan sifat kembang-susut yang besar dan nilai plastisitas yang tinggi.
2. Pada tanah asli tersebut dilakukan tes pemadatan metoda Modified Proctor (ASTM D-698) untuk mengetahui kadar air optimum dan kepadatan maksimumnya, untuk 5 (lima) benda uji. Demikian pula tanah asli tersebut dapat diuji untuk mencari besarnya harga Atterberg's Limits, yaitu :
LL = Liquefied Limit,
PL = Plasticity Limit,
SL = Shrinkage Limit, dan
PI = Plasticity Index.
3. Sebagai variabel kadar bahan serbuk marmer dipilih kadar bahan 3%, 6%, 9%, dan 12% dalam campuran. Rentang ini diambil karena pada stabilisasi tanah dengan bahan kapur umumnya didapatkan kadar optimum antara 5% s/d 10% (Sudirham (1994) dan Ingles dan Metcalf (1972)). Untuk bahan stabilia dipilih kadar bahan 0,3%, 0,5%, 1%, dan 3%. Rentang kadar 0,3-1,0% adalah kadar yang disarankan oleh pembuatnya (PT. Olah Bumi Mandiri, 1994).
4. Semua bahan stabilisasi dicampur dengan tanahnya dan diperam selama 24 jam, barulah kemudian dilakukan pengujian berikutnya seperti Test Atterberg's Limits, dan pemadatan dengan Modified Proctor.
5. Dari masing-masing kadar bahan campuran dan tanah asli akan dilakukan pengujian-pengujian sebagai berikut:
 - a. Test Atterberg's Limits : LL, PL, SL, dan PI pada campuran sebelum dipadatkan.
 - b. Semua campuran dipadatkan dengan kadar air yang sama dengan kadar air optimum tanah asli dititik no.2 di atas.
 - c. Pada 2 (dua) buah benda uji dengan kadar bahan dan kadar air awal yang sama dilakukan Unconfined Compression Test. Test ini dilakukan terhadap benda uji dengan ukuran yang sama dengan benda uji triaxial (diameter $\pm 1 \frac{1}{4}$ inch dan tinggi 2,5 inch).
 - d. Dilakukan pengujian perendaman untuk mengetahui besarnya pengembangan (*swelling*) dan tebal penetrasi air untuk masa perendaman yang berbeda yaitu : 0 jam, 3 jam, 12 jam, 24 jam, dan 4 hari.
 - e. Untuk pengujian "*swelling*" ini dibuat total $5 \times 9 = 45$ buah benda uji.
6. Untuk pengujian no. 5c, dilakukan lagi pengujian ulang untuk kadar air yang sama di "*dry-side*" dan "*wet-side*" kadar air optimum, kemudian masing-masing 2 (dua) benda uji per kadar bahan dan kadar air yang sama dilakukan Unconfined Compression Test (UC test) untuk mendapatkan kokoh tekannya. Total uji $2 \times 2 \times 9 = 36$ benda uji.
7. Untuk percobaan ini dibuat total $5 + 18 + 45 + 36 = 104$ benda uji.

HASIL DAN ANALISA

Pengujian Terhadap Tanah Asli

Tanah asli berasal dari Pejaten, Kabupaten Tabanan dan hasil pengujian awal adalah sebagai berikut :

1. Analisa Pembagian Butir
 - fraksi kerikil = 4%
 - fraksi pasir = 28%
 - fraksi lanau dan lempung = 68% (fraksi lempung ≈ 43%)
2. Klasifikasi Tanah :
Klasifikasi tanah menurut USCS adalah tanah CII (lempung organik dan plastisitas tinggi).
3. Parameter lain :

Parameter	Hasil Penelitian	Pratama (1995)
- Nilai LL (%)	58.31	63.50
- Nilai PL (%)	24.60	23.53
- Nilai PI (%)	33.53	39.97
- Nilai SL (%)	12.51	
- Nilai Aktivitas A Swelling Category menurut Seed dkk (1962)	0,88 "high"	1,05 "high"

Perubahan Plastisitas Tanah

Harga plastisitas tanah dapat dinyatakan dalam batas-batas Atterberg (= Atterberg's Limits) yaitu Liquid Limit, LL,

(Batas cair), Plastic Limit, PL, (Batas plastis); Shrinkage Limit, SL, (Batas Kerut); Plasticity Index, PI, (Index Plastis Tanah yang merupakan harga LL-PL). Untuk perubahan harga plastisitas tanah asli dicampur bahan serbuk marmer atau bahan Stabilia dengan berbagai kadar bahan dapat dilihat pada Tabel 1, Gambar 1 dan 2.

Pada Table 1, Gambar 1 dan 2 dilihat beberapa kondisi sebagai berikut :

1. Hampir tidak terjadi perubahan Liquid Limit, LL, pada campuran dengan serbuk marmer, dan hanya sedikit saja penurunan Liquid Limit, LL, pada campuran Stabilia.
2. Demikian juga dengan harga Plastic Limit, PL, untuk campuran dengan serbuk marmer, dan hanya terjadi kenaikan harga PL untuk campuran Stabilia.
3. Sebagai hasilnya harga Plasticity Index, PI = LL-PL juga praktis tidak berubah bagi campuran dengan marmer, tetapi terjadi sedikit perubahan pada campuran dengan Stabilia, terutama untuk kadar Stabilia > 1%.

Dari hasil diatas sepertinya campuran marmer maupun Stabilia kurang memiliki pengaruh yang berarti pada perubahan harga plastisitas tanah.

Table 1. Perubahan Plastisitas Tanah

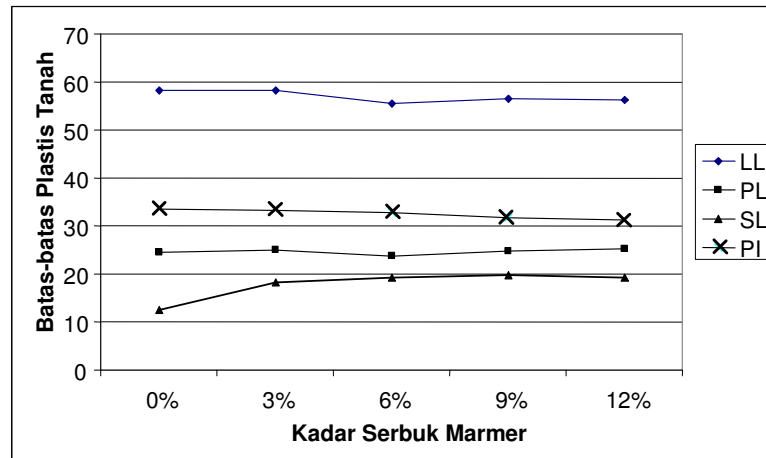
Komposisi	Tanah Asli (= TA)	TA + Serbuk Marmer (kadar %)				TA + Stabilia (kadar %)			
		3%	6%	9%	12%	0,3%	0,5%	1,0%	3,0%
Liquid Limit,LL (%)	58.13	58.13	55.49	56.52	56.35	58.47	59.01	55.56	50.2
Plastic Limit,PL (%)	24.6	24.92	23.63	24.66	25.18	24.37	25.29	27.51	29.93
Shrinkage Limit,SL(%)	12.51	18.37	1.33	19.68	19.24	22.85	22.49	23.28	23.22
Plasticity Index,PI(%)= LL-PL	33.53	33.21	32.63	31.86	31.17	34.1	33.72	28.05	20.27
LL-SL (= Swelling Index)	45.62	39.76	36.16	36.84	37.11	35.62	36.52	32.28	26.98

Untuk campuran dengan marmer, hasil di atas agak berbeda dengan hasil dari Fansyuri (1995) yang mendapatkan bahwa serbuk marmer dapat menurunkan harga plastisitas tanah) yaitu seperti Tabel 2. Pada Tabel 2 terlihat bahwa penurunan harga Plascity Index, PI, yang cukup besar

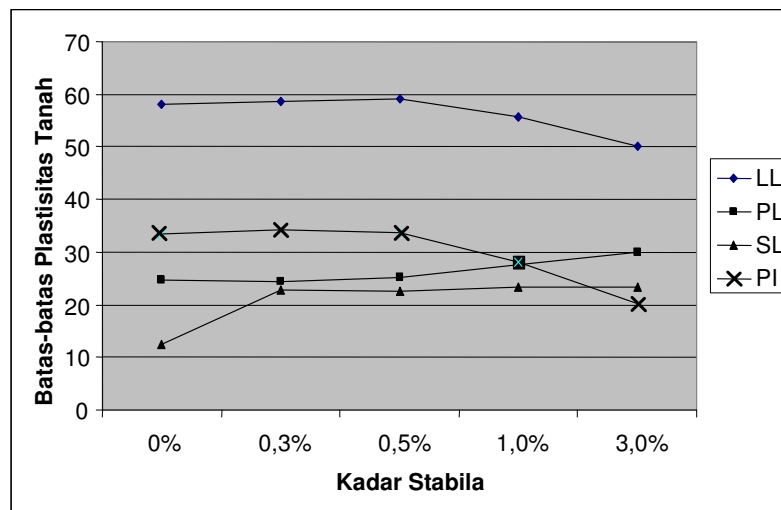
terjadi karena penurunan yang nyata dari Liquid Limit, LL, dan kenaikan relatif sedikit harga Plastic Limit, PL. Dari hasil Fansyuri (1995) tersebut juga diketahui bahwa penurunan harga PI juga tergantung waktu pemeraman (sampai dengan 8 minggu). Makin lama waktu pemeraman,

makin kecil harga PI. Pada penelitian ini pemeraman dilakukan hanya 24 jam (= 1 hari). Jadi diharapkan walaupun setelah dipadatkan di lapangan, perubahan harga

LL dan PI tanah masih akan terus berlangsung, sebagaimana hasil pengujian oleh Fansyuri (1995).



Gambar 1. Perubahan Harga Plastisitas Tanah untuk Campuran dengan Serbuk Marmer



Gambar 2. Perubahan Harga Plastisitas Tanah untuk Campuran dengan Serbuk Stabilia

KESIMPULAN

Telah diuraikan di depan secara panjang lebar hasil-hasil penelitian, berikut ini kesimpulannya.

1. Stabilisasi dengan serbuk marmer maupun Stabilia hanya sedikit menurunkan nilai Liquid Limit, dan sedikit mempengaruhi harga Plasticity Index dari tanah asli. Hasil ini agak berbeda dengan pendapat peneliti yang terdahulu. Tetapi pada intinya perubahan harga-harga plastisitas tanah ini lebih merupakan pedoman kasar saja, kare-

na harga-harga LL, PL, dan PI untuk suatu tanah sangat bervariasi akibat ketidakseragaman di lapangan dan “operator errors”.

2. Kekuatan tanah yang distabilisasi pada kondisi kepadatan maximum $W_{c_{opt}}$ memenuhi syarat untuk mendukung beban roda kendaraan berat. Permasalahannya ialah setelah tanah mengembang, harga kepadatan γ_d dan kokoh tekan, q_u , tanah mengecil sehingga diperkirakan tidak lagi memenuhi syarat.

3. Tanah yang distabilisasi dengan Stabilia memiliki kenaikan kokoh tekan yang setara dengan tanah yang distabilisasi dengan kapur. Dalam hal ini stabilisasi tanah yang serbuk marmer tidak menunjukkan hasil yang memuaskan.
4. Akibat adanya pengaruh air dan genangan di permukaan tanah, tanah akan mengembang di bagian permukaan saja; kemudian dengan waktu air meresap dan mulai mempengaruhi lapisan tanah di bawahnya. Pengaruh air ini sampai 4 hari perendaman masih relatif kecil (pengaruh air < 8 cm lapisan tanah teratas), bahkan pada sebagian tanah yang distabilisasi bahan serbuk marmer ataupun Stabilia, pengaruh perendaman ini hanya terlihat pada lapisan tanah 5 cm teratas.
5. Lapisan tanah yang distabilisasi secara teoritis hanya memerlukan tebal sebesar 1 lapis pengurangan (20-30 cm). Akan tetapi kondisi ini hanya untuk keadaan bila asal air hanya dari permukaan (hujan) saja. Kalau air tanah dapat naik sampai menggenangi permukaan jalan, tebal teoritis ini tidak memenuhi lagi dan harus dihitung berdasarkan teori penyebaran tegangan, dengan memperhitungkan pula beban lapisan surcharge yang dapat mengurugi total *swelling*.
6. Untuk kasus stabilisasi tanah yang diteliti, harga Shrinkage Limit > kadar air tanah saat pemadatan, baik pada kondisi kadar air *dry-side* maupun *wet-side* optimum. Jadi diperkirakan besar total *swelling* relatif sama untuk kondisi *dry-side* dan *wet-side* optimum (dengan kondisi kepadatan $\gamma_a \approx 95\% \gamma_{dmax}$). Demikian juga dengan kokoh tekan tanahnya, praktis tidak ada perubahan yang berarti antara kondisi dry dan wet tersebut.
7. Bila dilihat dari rasio kenaikan kokoh tekan, hasil penelitian menunjukkan rasio kenaikan kokoh tekan yang sama sebagai fungsi dari kadar bahan stabilisasi.
8. Kadar optimum bahan hanya didapatkan dari besarnya pengembangan tanah yaitu $\pm 10\%$ untuk serbuk marmer dan 0,5% untuk Stabilia. Akan tetapi bila ditinjau dari kekuatannya/kokoh tekan tanahnya, makin tinggi kadar bahan, makin besar kokoh tekan tanahnya.
9. Bila dilihat kinerjanya secara keseluruhan, bahan Stabilia merupakan bahan stabilisasi tanah yang lebih baik dari pada serbuk marmer.
10. Masih belum dapat dibuktikan bagaimana kelakuan *swelling* tanah bengan bahan Stabilia ini bila dibandingkan stabilisasi dengan bahan kapur karena selama ini metoda pengukuran *swelling* yang dilakukan orang tidak mengukur secara langsung harga *swelling* maksimum dari pori tanahnya, akan tetapi hanya *swelling* dari sebagian lapisan tanah paling atas saja.
11. Spesifikasi stabilisasi tanah yang mengembang harus menyertakan besar "*maximum true swelling*" sedemikian rupa sehingga kepadatan tanah setelah *swelling*, $= \gamma_{dmax}$ dapat ditentukan berdasarkan kokoh tekan tanahnya yang memenuhi syarat mendukung beban.

DAFTAR PUSTAKA

- Fansyuri, D. 1995. Studi Penggunaan Bahan Limbah Industri Marmer Untuk Stabilisasi Tanah Mengembang, Studi kasus Tanah Lempung Bojonegoro, *Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS*.
- Holtz, W.G. 1959. "Expansive Clays-Properties and Problems", *Quarterly of the Colorado School of Mines*, Vol.54.NHo.4, hal 89-125.
- Ingles, O.G and Metealf, J.B. 1972. *Soil Stabilization - Principal and Practice*, Butterworth.