

PENGGUNAAN TERRASIL SEBAGAI MATERIAL MODIFIER UNTUK PERBAIKAN DAYA DUKUNG SUBGRADE

Hanif Firman Hakim Wasis, Hardiyanti Setia Utami,
Djoko Purwanto, Bagus Hario Setiadji

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl.Prof.Soedarto,SH., Tembalang, Semarang, 50239,
Telp: (024) 7474770, Fax: (024) 7460060, Email: bhsetiadji@undip.ac.id

ABSTRAK

Tanah dasar merupakan lapisan terbawah dari sistem perkerasan jalan yang berfungsi untuk mendukung lapisan di atasnya dalam menahan beban kendaraan. Di sisi lain, tanah dasar merupakan komponen terlemah, karena mudah berkurang daya dukungnya sebagai akibat pengaruh air. Untuk mengatasi masalah tersebut, maka penelitian ini melakukan kegiatan perbaikan daya dukung tanah dengan menggunakan material modifier berupa Terrasil, yang berfungsi sebagai penolak air (water repellent atau waterproofing). Untuk mengevaluasi keefektifan penggunaan Terrasil maka pada penelitian ini digunakan tiga proporsi Terrasil terhadap air, yaitu 1:400, 1:600 dan 1:800, yang diaplikasikan pada sampel tanah di dua lokasi pengujian. Sampel tanah yang dipilih diperlakukan pada dua kondisi, yaitu kondisi kering dan kondisi terekspos air. Untuk mengevaluasi daya dukung tanah pada dua kondisi tersebut pada keadaan sebelum dan sesudah Terrasil digunakan, maka dilakukan pengukuran parameter California Bearing Ratio (CBR). Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan Terrasil pada tanah tidak akan memberikan dampak yang signifikan pada hilangnya nilai CBR antara dua kondisi tersebut, kecuali tanah tersebut dalam kondisi padat. Penelitian ini juga merekomendasikan proporsi Terrasil terhadap air 1:600 karena dapat menghasilkan nilai CBR wet losses yang paling minimum. Dengan proporsi ini, dapat diperoleh nilai CBR wet losses hanya sebesar 11,93%, yaitu pada lokasi dengan kepadatan tertingggi.

Kata kunci: *Subgrade, soil improvement, bahan modifier, Terrasil, CBR*

ABSTRACT

Subgrade is the bottom layer that functions to support the upper layer to withstand against vehicle loads. However, subgrade is also the weakest component of the structure due to losses of carrying capacity as a result of water infiltration. To minimize the losses of carrying capacity of the subgrade, a study was conducted by proposing a modifier, namely Terrasil, that function as water repellent. In this reaserch, three proportions of Terrasil to water, i.e. 1:400, 1:600, and 1:800, were used in two test locations. Two conditions were applied on soil in the test locations, i.e. dry condition (unsoaked) and wet condition (soaked). To evaluate the carrying capacity of the subgrade before and after Terrasil application, California Bearing Ratio (CBR) measurement was conducted. The results showed that the use of Terrasil on the soil did not affected significantly on the carrying capacity losses due to water infiltration, unless soil compaction has been formerly applied. In addition, proportion of Terrasil to water 1:600 was recommended as optimum proportion for maximum water-repellent, with the condition that it should be applied on

compacted soil. With this proportion, it can be obtained CBR wet losses only 11.93% at location with better density.

Keywords: *Subgrade , soil improvement, modifier material, Terrasil, CBR*

PENDAHULUAN

Tanah dasar adalah permukaan tanah asli, permukaan galian, atau permukaan tanah timbunan yang merupakan permukaan untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya. Fungsi tanah dasar adalah menerima tekanan akibat beban lalu lintas yang ada di atasnya oleh karena itu tanah dasar harus mempunyai kapasitas daya dukung yang optimal sehingga mampu menerima gaya akibat beban lalu lintas tanpa mengalami kerusakan.

Permasalahan yang sering terjadi pada subgrade adalah nilai CBR yang rendah, salah satu yang menyebabkan penurunan nilai CBR adalah pengaruh air. Untuk itu dalam penelitian ini dicoba untuk digunakan suatu bahan modifier, yang dimaksud bahan modifier adalah suatu zat yang ditambahkan pada suatu bahan (tanah) dengan proporsi tertentu yang dicampurkan ke tanah sehingga dapat memproteksi tanah dasar dari gangguan air, sehingga kehilangan nilai CBR akibat tanah basah tidak terlalu signifikan.

TINJAUAN PUSTAKA

Terrasil adalah zat cair kimia yang mengandung berbagai zat seperti Silane Organo dan Silika. Material modifier ini mampu mengikat silika di tanah, sehingga membentuk semacam nano membran yang tidak dapat ditembus oleh air.

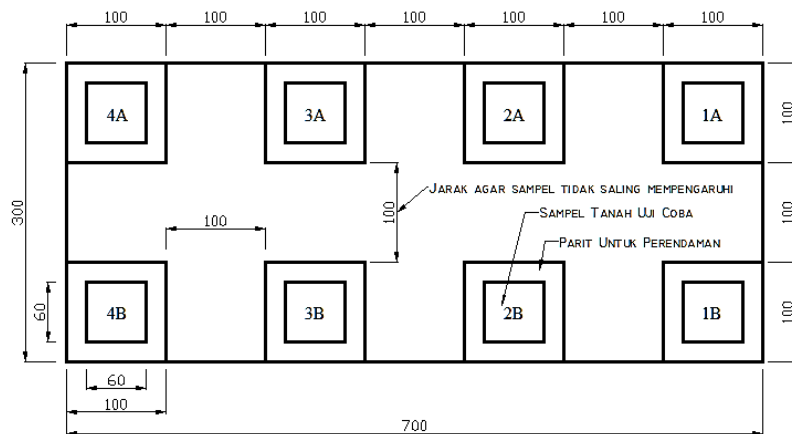
Penggunaan Terrasil dapat dipergunakan pada tanah jenis ML, CL, CH dan CI. Proporsi Terrasil untuk masing-masing jenis adalah sebagai berikut :

- ML & CL (Low Index Plastic) = 1kg : 600 liter air Dengan penyemprotan seluas 1m²/ liter
- CH & CI (Medium & High Index Plastic) = 1kg : 300 liter air Dengan penyemprotan seluas 1,5m²/ liter

Selain menjadi material yang dapat mengurangi pengaruh air, Terrasil juga dapat mengurangi kehilangan daya dukung tanah akibat tanah yang basah (Zydex , 2010).

METODOLOGI PENELITIAN

Untuk memperoleh lokasi tanah yang akan menjadi lokasi sampling, maka dilakukan studi pustaka dan orientasi lapangan. Kemudian, setelah orientasi lapangan dilakukan, maka ditentukan titik lokasi definitif. Pada studi ini, lokasi titik sampling tanah ditentukan pada 2 titik lokasi. Sampel tanah diuji di laboratorium untuk mengetahui apakah sampel tanah sesuai dengan kondisi tanah yang dibutuhkan. Jika sampel tanah sesuai maka persiapan pelaksanaan penelitian di lapangan dilakukan dengan pembersihan lahan dan menyiapkan petak-petak untuk setting pengujian seperti pada **Gambar 1**, sedangkan apabila sampel tanah tidak sesuai, maka dilakukan kembali langkah awal, yaitu orientasi lapangan untuk penentuan lokasi sampling.

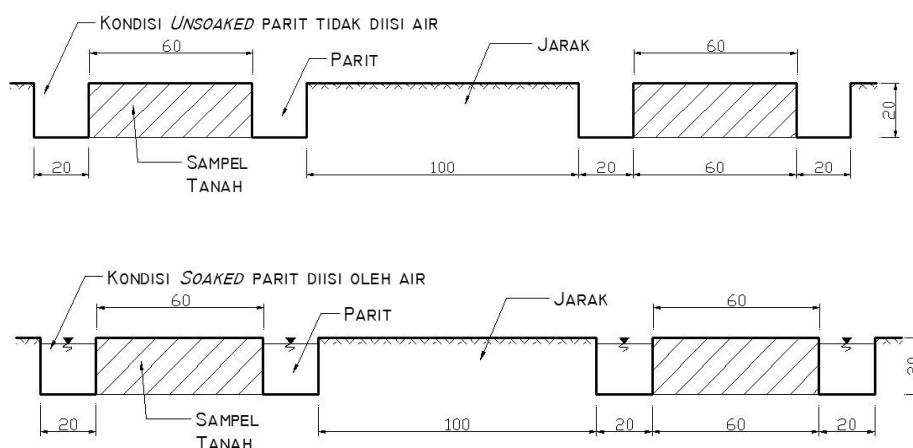


Gambar 1. Denah Lokasi Pengujian

Variabel bebas dalam penelitian ini yaitu variasi proporsi material modifier Terrasil terhadap air yang akan digunakan untuk menstabilisasi lapisan *subgrade*. Proporsi ratio Terrasil dengan air yang dipilih pada studi ini adalah :

1. 1 kg Terrasil : 800 liter air atau (1,25 gr Terrasil : 1 liter air) diaplikasi pada 4A dan 4B
2. 1 kg Terrasil : 600 liter air atau (1,67 gr Terrasil : 1 liter air) diaplikasi pada 2A dan 2B
3. 1 kg Terrasil : 400 liter air atau (2,50 gr Terrasil : 1 liter air) diaplikasi pada 3A dan 3B

Untuk 1A dan 1B adalah sampel tanah tanpa Terrasil. Aplikasi di lapangan, dilakukan dengan penyemprotan sebesar 1 liter/m². Pengambilan proporsi material modifier tersebut didasarkan pada penggunaan proporsi yang disarankan oleh produsen material modifier (Zydex, 2010). Selanjutnya variasi proporsi material modifier tersebut dijadikan sebagai data primer. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kondisi CBR (*California Bearing Ratio*) tanah yang diukur dengan *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) pada kondisi kering (*unsoaked*) dan kondisi terinfiltrasi air (*soaked*). Kondisi *unsoaked* dan *soaked* dapat diilustrasikan seperti pada **Gambar 2** berikut ini.



Gambar 2. Ilustrasi Kondisi Kering dan Terendam dari Sampel Tanah

ANALISIS DATA

Pengujian Tanah (*Soil Test*)

Pengujian awal pada tanah dilakukan untuk mendapat klasifikasi jenis tanah, indeks plastisitas tanah dan kepadatan tanah. Pengujian dilakukan pada dua lokasi yaitu, Lokasi-1 dan Lokasi-2. Dari hasil pengujian di laboratorium untuk *soil test* pada dua lokasi dapat dilihat pada **Tabel 1** sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil Pengujian *Soil Test* Lokasi-1 dan Lokasi-2

No.	<i>Soil Test</i>	Lokasi-1	Lokasi-2
1	Kedalaman Sampel	-0,5 m	-0,5 m
2	Kadar Air	24,19 %	38,41 %
3	Berat Jenis (Gs)	2,625	2,670
4	Berat Isi (γ_b)	1,75 gr/cm ³	1,77 gr/cm ³
5	Liquid Limit (LL)	57,00 %	52,60 %
6	Plastic Limit (PL)	29,80 %	27,05 %
7	Plasticity Index (PI)	27,20 %	25,55 %

Sumber : Hasil Analisis Data Laboratorium

Dari **Tabel 1** di atas dapat disimpulkan bahwa dengan nilai indeks plastis Lokasi-1 yang lebih besar menandakan tanah tersebut bersifat lebih plastis dan lebih ekspansive. Untuk mendapatkan klasifikasi tanah dilanjutkan dengan pengujian *Sieve Analysis* dan *Hydrometer Analysis* untuk melihat gradasi butir halus dan kasar pada tanah sehingga dapat mengklasifikasi menurut gradasi butir dan nilai dari *Liquid Limit*, *Plastic Limit* dan *Plasticity Index*.

Klasifikasi Tanah

Berdasarkan data-data Hydrometer Analysis, Sieve Analysis dan Soil Test dibuat klasifikasi tanah menurut metode AASHTO (2004). Untuk melengkapi klasifikasi menurut AASHTO (2004), dilakukan pula penentuan nilai *Group Index* (GI) untuk memberikan *rating* terhadap tanah yang terdiri dari material berbutir halus (*fine-grained*) agar sesuai penggunaannya pada konstruksi jalan, dengan menggunakan persamaan berikut (Shroff dan Shah, 2003).

$$\text{Group Index (GI)} = (F-35) \{0,2+0,005(LL-40)\} + 0,01(F-15)(PI-10) \quad (1)$$

dimana F = persentase tanah lolos saringan no. 200 (0,076 mm), LL = *liquid limit* dan PI = *plasticity index*.

Berdasarkan hasil pengujian tanah, analisis saringan dan hidrometer, serta dengan menggunakan Tabel Klasifikasi Tanah menurut Sistem AASHTO (2004), maka diperoleh bahwa tanah di kedua lokasi tersebut mempunyai klasifikasi yang sama, yaitu A-7-6. Sedangkan berdasarkan persamaan (1), diperoleh bahwa nilai GI untuk Lokasi-1 dan Lokasi-2 adalah GI = 22 dan GI = 18. Selengkapnya, klasifikasi tanah untuk Lokasi-1 adalah A-7-6 (22), sedangkan untuk Lokasi-2 adalah A-7-6 (18).

Dengan menggunakan informasi di atas, maka dapat disimpulkan bahwa walaupun tanah di kedua lokasi mempunyai klasifikasi yang sama, namun demikian tanah pada Lokasi-1 lebih buruk dari tanah pada Lokasi-2, karena nilai PI, GI dan kadar lempung tanah pada Lokasi-1 lebih besar dari nilai PI, GI dan kadar lempung tanah pada Lokasi-2.

Pemeriksaan Nilai CBR Tanah Uji

Pemeriksaan nilai CBR sampel tanah diawali dengan pemeriksaan kepadatan tanah di lapangan kondisi awal (*fresh condition*). Kepadatan tanah akan mempengaruhi nilai CBR itu sendiri pada saat kondisi kering maupun kondisi sampel basah. Setelah pemeriksaan kepadatan dilakukan pemeriksaan nilai CBR dalam kondisi *unsoaked*. Dilanjutkan dengan dilakukan pengujian CBR *soaked*. Alat yang digunakan untuk pemeriksaan kepadatan tanah adalah *sandcone* dan nilai CBR adalah *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP).

Pengujian Kepadatan Tanah

Pengujian kepadatan tanah dilakukan dengan pengujian *Sandcone*. Data hasil pengujian sebagai berikut :

- **Lokasi-1**
 1. Kadar Air tanah rata-rata tanah adalah 19,72 %
 2. Kepadatan tanah = 94,64 %
- **Lokasi-2**
 1. Kadar Air tanah rata-rata tanah adalah 19,23 %
 2. Kepadatan tanah = 111,43 %

Dari hasil analisis kepadatan tanah dari Lokasi-1 dan Lokasi-2 dapat disimpulkan bahwa nilai kepadatan tanah pada Lokasi-2 lebih tinggi daripada tanah Lokasi-1. Kepadatan tanah pada kondisi ini adalah kepadatan eksisting yang bersifat alami, artinya tidak dilakukan proses pemadatan sebelumnya.

Dengan nilai kepadatan yang lebih tinggi maka secara otomatis nilai CBR tanah tersebut juga tinggi. Sedangkan untuk pengaruh tanah terhadap air dengan kepadatan yang lebih tinggi membuat air lebih sukar dalam merembes masuk kedalam pori-pori tanah. Sehingga tanah dengan kepadatan yang tinggi jika terpengaruh oleh air, kehilangan nilai CBR pada tanah tidak begitu besar karena pori-pori tanah kecil sehingga air sukar merembes masuk.

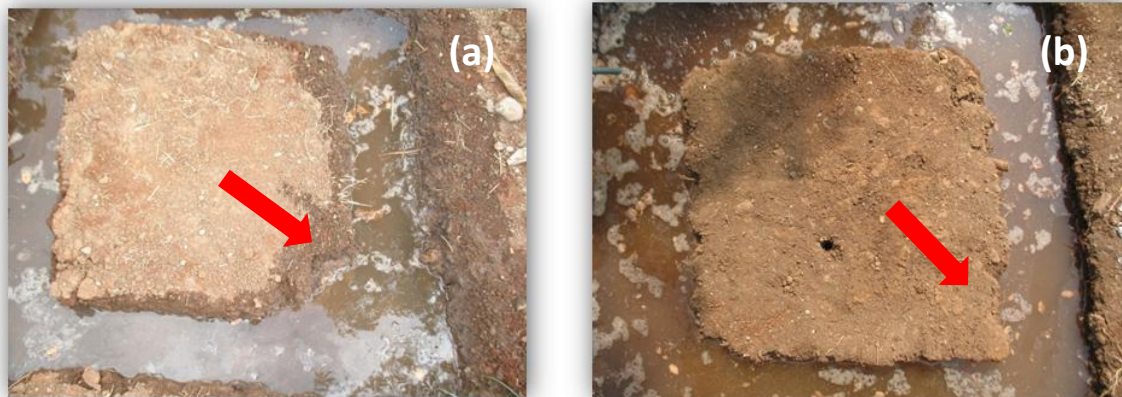
Pengujian CBR Menggunakan DCP (Dynamic Cone Penetrometer)

Untuk mengetahui kondisi CBR tanah menggunakan alat *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP). Pengujian menggunakan konus 60° digunakan untuk tanah keras atau tanah lanau. Untuk tanah yang lembek atau lempung menggunakan konus 30°. Tanah yang akan diuji termasuk tanah keras atau lanau maka digunakan konus 60°.

Perhitungan CBR Wet Losses Akibat Perendaman

Pemeriksaan nilai CBR yang hilang adalah selisih dari nilai CBR kondisi awal (*fresh condition*) dan nilai CBR akibat pengaruh air setelah perendaman. Dari nilai kehilangan

CBR dapat dilihat pengaruh dari material modifier Terrasil terhadap sampel tanah. Untuk pengujian rendaman dapat dilihat seperti pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Kondisi Sampel Tanah pada Saat Parit Terisi Air, (a) Sampel Tanah tanpa Terrasil; (b) Sampel Tanah dengan Terrasil

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa Terrasil mampu mencegah infiltrasi air masuk ke dalam sampel tanah. Berikut adalah nilai CBR *Wet Losses* akibat perendaman sampel atau kondisi *soaked*.

a. CBR *Wet Losses* Lokasi-1

Tabel 2 CBR *Wet Losses* Lokasi-1

Proporsi	Tanpa Terrasil	1 : 800	1 : 600	1 : 400
CBR				
Wet Losses (%)	26,62	25,37	24,95	21,24

Sumber : Hasil Analisis Data Lapangan

b. CBR *Wet Losses* Lokasi-1

Tabel 3 CBR *Wet Losses* Lokasi-2

Proporsi	Tanpa Terrasil	1 : 800	1 : 600	1 : 400
CBR				
Wet Losses (%)	29,04	20,04	11,93	11,13

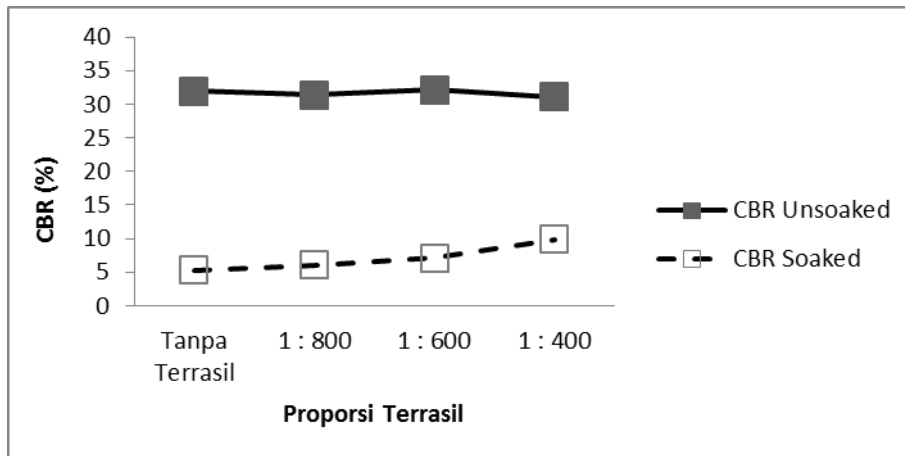
Sumber : Hasil Analisis Data Lapangan

Nilai CBR *Wet Losses* untuk Lokasi-1 dan Lokasi-2 ada perbedaan yang cukup besar. Lokasi-1 memiliki nilai CBR *Wet Losses* yang lebih besar dibandingkan dengan nilai CBR *Wet Losses* Lokasi-2 hal ini disebabkan karena nilai kepadatan tanah pada Lokasi-2 lebih tinggi dibandingkan dengan Lokasi-1. Karena kepadatan tanah pada Lokasi-2 lebih tinggi maka nilai pori Lokasi-2 lebih kecil daripada Lokasi-1. Karena nilai pori Lokasi-2 lebih kecil maka air lebih sukar untuk merembes ke dalam tanah, sehingga dihasilkan nilai CBR *Wet Losses* yang lebih kecil daripada Lokasi-1.

Analisis Hasil Pengujian

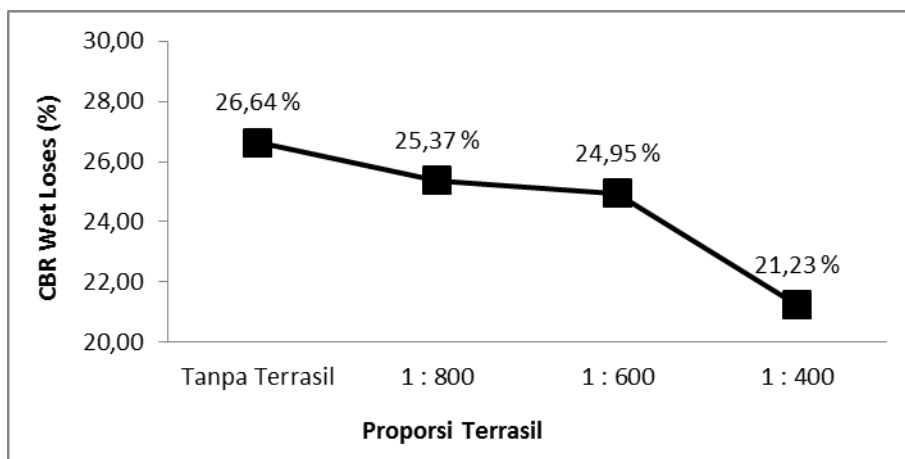
Analisis Hasil Pengujian Lokasi-1

Dari **Gambar 4** dapat dilihat nilai CBR awal pada Lokasi-1 dan setelah dilakukan perendaman terlihat bahwa terdapat penurunan nilai CBR yang cukup signifikan dari nilai CBR awal.



Gambar 4. Grafik Perbandingan CBR *Unsoaked* dan CBR *Soaked* dengan Proporsi Terrasil Lokasi-1

Dari **Gambar 5** dapat dilihat nilai kehilangan CBR kondisi setelah perendaman bahwa kondisi sampel tanah tanpa Terrasil pada Lokasi-1 memiliki nilai CBR *Wet Loses* yang cukup besar. Kondisi sampel tanah tanpa Terrasil mempunyai nilai CBR *Wet Loses* sebesar 26,62%, proporsi 1:800 sebesar 25,37%, proporsi 1:600 sebesar 24,95%, dan proporsi 1:400 sebesar 21,24%. Data tersebut disajikan pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Grafik Perbandingan CBR *Wet Loses* dengan Proporsi Terrasil Lokasi-1

Dari grafik tersebut dapat dianalisis bahwa *treatment* Terrasil memberikan dampak positif untuk sampel tanah di Lokasi-1. Sampel tanah tanpa Terrasil dibandingkan dengan sampel tanah proporsi 1:800 memiliki nilai CBR *Wet Loses* yang tidak jauh berbeda, sedangkan sampel dengan proporsi 1:600 dibandingkan dengan sampel tanpa Terrasil sudah memiliki

perbedaan yang cukup tinggi. Proporsi 1:400 menghasilkan nilai CBR *Wet Loses* yang paling kecil dan signifikan dibanding dengan proporsi yang lain.

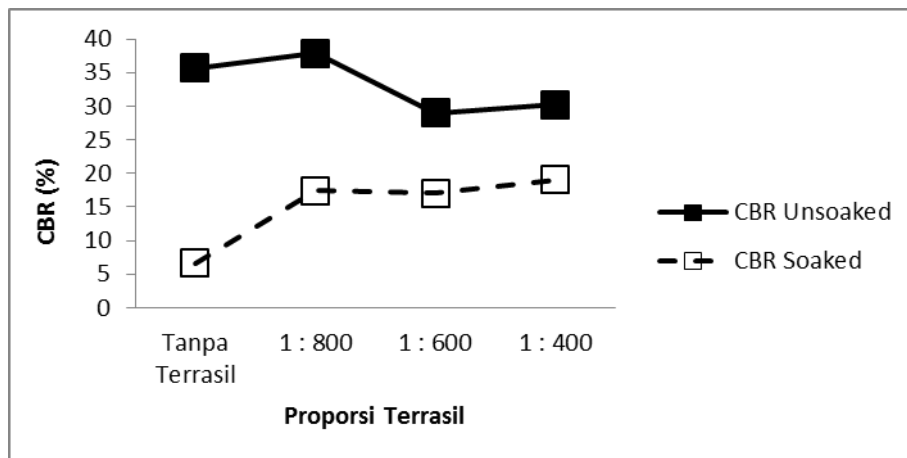
Selain itu juga di analisis tentang rate hubungan antara penambahan berat Terrasil (gr) dengan 1 liter air terhadap penurunan nilai CBR *Wet Loses*, sebagai berikut:

- a. Selanjutnya dari proporsi 1:800 ke proporsi 1:600 berarti ditambahkan Terrasil sebesar 0,42 gram mengakibatkan penurunan nilai CBR *Wet Loses* sebesar 0,42% berarti pada fase ini penambahan 1 gram Terrasil juga menurunkan nilai CBR *Wet Loses* sebesar 1%.
- b. Penambahan Terrasil dari proporsi 1:600 menjadi proporsi 1:400 berarti ditambahkan Terrasil sebesar 0,83 gram yang mengakibatkan penurunan CBR *Wet Loses* sebesar 3,71% jadi pada fase ini penambahan 1 gram Terrasil dapat menurunkan nilai CBR *Wet Loses* sebesar 4,47 %.

Jadi, menurut analisis diatas dapat disimpulkan bahwa pada Lokasi-1 penambahan 1 gram Terrasil terhadap 1 liter air dapat menurunkan nilai CBR *Wet Loses* sekitar 2,74%.

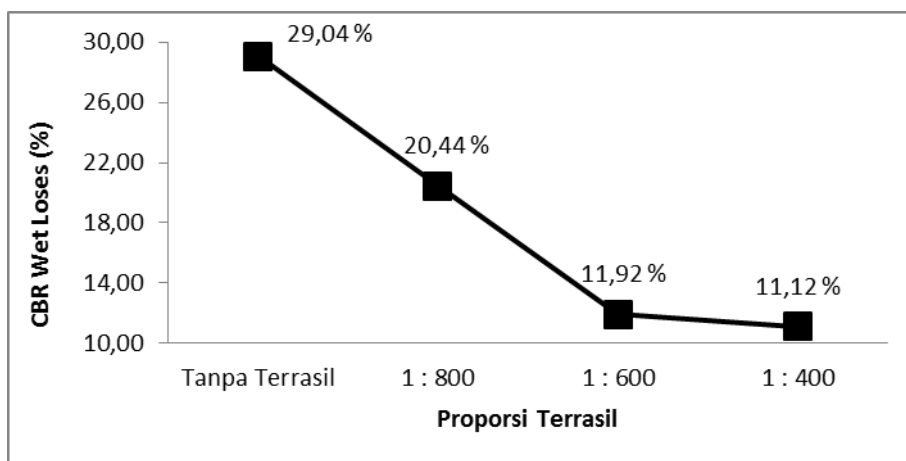
Analisis Hasil Pengujian Lokasi-2

Dari **Gambar 6** menunjukkan nilai CBR *unsoaked* untuk masing-masing sampel di Lokasi-2 cukup tinggi, hal ini dipengaruhi karena tingkat dari kepadatan yang lebih tinggi daripada Lokasi-1. Setelah dilakukan perendaman terdapat penurunan nilai CBR dari nilai CBR awal.



Gambar 6. Grafik Perbandingan CBR *Unsoaked* dan CBR *Soaked* dengan Proporsi Terrasil Lokasi-2

Untuk hasil pengujian Lokasi-2 didapatkan hasil yang berbeda dengan Lokasi-1. Kondisi sampel tanah tanpa Terrasil pada Lokasi-2 memiliki nilai CBR *Wet Loses* yang cukup besar yaitu 29,04 %. Sedangkan nilai CBR *Wet Loses* dari sampel tanah dengan *treatment* Terrasil dengan proporsi 1:800 sebesar 20,41 % , proporsi 1:600 sebesar 11,93 %, dan proporsi 1:400 sebesar 11,13 % data tersebut disajikan pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Grafik Perbandingan CBR *Wet Losses* dengan Proporsi Terrasil Lokasi-2

Dari hasil tersebut dapat dianalisa bahwa *treatment* Terrasil memberikan dampak positif karena dapat memperkecil nilai CBR *Wet Losses* dari proporsi 1:800; 1:600 ; 1:400.

Namun pada sampel tanah dengan proporsi 1:800 masih menunjukkan nilai CBR *Wet Losses* yang tidak jauh berbeda dengan sampel tanah tanpa Terrasil artinya proporsi 1:800 belum cukup efektif untuk mengurangi nilai CBR *Wet Losses*. Sedangkan sampel tanah dengan proporsi 1:400 memberikan dampak yang sangat signifikan untuk mengurangi nilai CBR *Wet Losses* dibandingkan dengan sampel tanah tanpa Terrasil maupun sampel tanah dengan proporsi 1:800, tetapi jika diterapkan di lapangan dan dikaitkan dengan nilai ekonomis maka proporsi 1:400 dinilai kurang ekonomis. Sedangkan sampel tanah dengan proporsi 1:600 memiliki nilai CBR *Wet Losses* yang tidak jauh berbeda dengan proporsi 1:400, proporsi 1:600 juga sudah dinilai sangat signifikan dalam menurunkan nilai CBR *wet losses* dibandingkan dengan sampel tanpa Terrasil dan sampel dengan proporsi 1:800.

Dari segi nilai ekonomis proporsi 1:600 juga lebih ekonomis dibandingkan dengan proporsi 1:400, karena penggunaan bahan lebih sedikit tetapi sudah mendapatkan penurunan CBR *wet losses* yang signifikan.

Selain itu juga di analisis tentang rate hubungan antara penambahan berat Terrasil (gr) dengan 1 liter air terhadap penurunan nilai CBR *Wet Losses*, sebagai berikut:

- a. Selanjutnya dari proporsi 1:800 ke proporsi 1:600 berarti ditambahkan Terrasil sebesar 0,42 gram mengakibatkan penurunan nilai CBR *Wet Losses* sebesar 8,48% berarti pada fase ini penambahan 1 gram Terrasil juga menurunkan nilai CBR *Wet Losses* sebesar 20,19 %.
- b. Penambahan Terrasil dari proporsi 1:600 menjadi proporsi 1:400 berarti ditambahkan Terrasil sebesar 0,83 gram yang mengakibatkan penurunan CBR *Wet Losses* sebesar 0,6 % jadi pada fase ini penambahan 1 gram Terrasil dapat menurunkan nilai CBR *Wet Losses* sebesar 0,72 %.

Jadi, menurut analisis diatas dapat disimpulkan bahwa pada Lokasi-2 penambahan 1 gram Terrasil terhadap 1 liter air dapat menurunkan nilai CBR *Wet Losses* sekitar 10,46 %. Untuk

nilai penurunan CBR dengan perbedaan yang signifikan dengan Lokasi-1 dimungkinkan disebabkan karena beberapa faktor antara lain kepadatan tanah.

KESIMPULAN

Dari analisis masing-masing didapat proporsi yang paling efektif dan ekonomis adalah proporsi 1:400 untuk Lokasi-1 dan 1:600 untuk Lokasi-2. Terlihat ada perbedaan yang sangat signifikan antara nilai CBR *Wet Loses* Lokasi-1 dengan Lokasi-2. Untuk sama-sama menghasilkan nilai CBR *Wet Loses* sebesar 21%, Lokasi-2 membutuhkan proporsi lebih kecil dibandingkan dengan Lokasi-1. Lokasi-2 hanya butuh proporsi 1:800 sedangkan Lokasi-1 membutuhkan proporsi 1:400 untuk mencapai CBR sebesar 21,24 %.

Hal itu dapat disebabkan karena nilai kepadatan tanah pada Lokasi-2 jauh lebih tinggi daripada Lokasi-1 sehingga nilai CBR lapangan Lokasi-2 juga lebih tinggi. Dan karena nilai kepadatannya tinggi maka nilai pori tanahnya juga kecil sehingga air lebih sukar untuk meresap kedalam. Oleh karena itu nilai CBR *Wet Loses* yang dihasilkan Lokasi-2 lebih kecil dibandingkan dengan Lokasi-1.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO, (2004). *Standard Specification for Transportation Materials and Method of Sampling and Testing*
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), (2008). *Cara Uji Coba CBR dengan Dynamic Cone Penetrometer*, Dinas Pekerjaan Umum, Jakarta
- Shroff, A.V. dan Shah, D.L. 2003. *Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, A.A. Balkena Publisher.
- Zydex, (2010). *Terrasil Brochure*, Zydex, India.