

PENGARUH LIMBAH BETON TERHADAP DAYA DUKUNG TANAH UNTUK TANAH LEMPUNG

Damaryana Ilhamy¹, R. A Mariyana²

Mahasiswa Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang²

damarylhamy22@gmail.com¹, raden.ajeng@polinema.ac.id²

ABSTRAK

Proyek Pembangunan Jalan Tol Probolinggo-Banyuwangi Paket II, memiliki jenis tanah lempung, tanah lempung memiliki daya dukung yang rendah, maka dilakukan stabilisasi tanah dengan menambahkan limbah beton, limbah beton yang digunakan itu sendiri berbentuk balok dengan mutu Fc 45 Mpa. Stabilisasi tanah dengan limbah beton pada penelitian ini menggunakan variasi limbah beton sebesar 7%, 10%, 15%, dan 20%, dengan waktu pemeraman 1, 7, dan 11 hari. Pengujian laboratorium tanah asli yang dilakukan berupa batas-batas atterberg dengan hasil nilai *Liquid Limit* 59,07%, *Plastic Limit* 25,08%, *Plasticity Index* 34,00%, dimana dengan tambahan limbah beton 20% terjadi penurunan nilai *Liquid Limit* menjadi 45,87%, *Plastic Limit* 28,36%, *Plasticity Index* 17,51%. Pada sistem klasifikasi AASHTO tanah asli termasuk dalam kelompok A-7-6, dimana tanah tersebut merupakan tanah lempung berbutir halus dengan plastisitas yang sangat tinggi. Hasil dari pengujian *proctor modified* menghasilkan berat volume kering dan kadar air terus meningkat seiring peningkatan besarnya variasi campuran limbah beton dan lama nya waktu pemeraman. Hasil nilai berat volume kering maksimum tanah asli sebesar 1,489 gram/cm³ dan *OMC* 25,89% pada waktu pemeraman 11 hari, nilai *MDD* yang terbesar dihasilkan pada campuran 20% dengan waktu pemeraman 11 hari dengan nilai *MDD* sebesar 1,554 gram/cm³ dan *OMC* 23,15%. Hasil nilai *CBR unsoaked* dan *soaked* mengalami peningkatan disetiap penambahan campuran dan lama nya waktu pemeraman. Nilai *CBR unsoaked* terbesar didapat dari campuran 20% dengan pemeraman 11 hari sebesar 25,85% pada penetrasi penurunan 2,5mm dan 26,81% pada penetrasi 5mm, dan *CBR soaked* 11,13% pada penetrasi penurunan 2,5mm dan 12,31% pada penetrasi 5mm, dengan swelling terkecil yaitu sebesar 1,70%, nilai swelling tanah asli sebesar 3,14%, hasil nilai *CBR* yang di peroleh telah memenuhi syarat sebagai lapis tanah dasar untuk jalan tol yaitu (>10%).

Kata kunci : Limbah Beton, Tanah Lempung, Perbaikan Tanah, *California Bearing Ratio*

ABSTRACT

Probolinggo-Banyuwangi Toll Road Construction Project Package II, has a type of clay soil, clay soil has a low bearing capacity, so the soil is stabilized by adding concrete waste, the concrete waste used itself is in the form of blocks with a quality of Fc 45 Mpa. Soil stabilization with concrete waste in this study uses variations of concrete waste of 7%, 10%, 15%, and 20%, with curing times of 1, 7, and 11 days. Laboratory testing of the original soil carried out in the form of Atterberg limits with the results of the Liquid Limit value of 59.07%, Plastic Limit 25.08%, Plasticity Index 34.00%, where with the addition of 20% concrete waste there is a decrease in the Liquid Limit value to 45.87%, Plastic Limit 28.36%, Plasticity Index 17.51%. In the AASHTO classification system the original soil is included in the A-7-6 group, where the soil is a fine-grained clay soil with very high plasticity. The results of the modified proctor test produced a dry volume weight and water content that continued to increase as the variation of the concrete waste mixture and the length of the curing time increased. The results of the maximum dry volume weight value of the original soil were 1.489 grams / cm³ and OMC 25.89% at a curing time of 11 days, the largest MDD value was produced in a 20% mixture with a curing time of 11 days with an MDD value of 1.554 grams / cm³ and OMC 23.15%. The results of the unsoaked and soaked CBR values increased with each addition of the mixture and the length of the curing time. The largest unsoaked CBR value was obtained from a mixture of 20% with 11 days of curing at 25.85% at a penetration of 2.5mm settlement and 26.81% at a penetration of 5mm, and soaked CBR 11.13% at a penetration of 2.5mm settlement and 12.31% at a penetration of 5mm, with the smallest swell of 1.70%, the original soil swelling value of 3.14%, the results of the CBR value obtained have met the requirements as a base layer for toll roads namely (>10%).

Keywords : Concrete Waste, Clay Soil, Soil Improvement, *California Bearing Ratio*

1. PENDAHULUAN

Tanah berperan sangat penting dalam sebuah konstruksi, yaitu konstruksi jalan, jembatan, bangunan dan konstruksi-konstruksi lainnya. Tanah yang memiliki nilai daya dukung yang kurang stabil akan mempengaruhi pada suatu konstruksi. Salah satu tanah yang mempunyai sifat kohesif dan plastis, seperti tanah lempung. Tanah lempung merupakan salah satu agregat partikel-partikel berukuran mikroskopik dan submikroskopik yang berasal dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan dan bersifat plastis dalam selang kadar air sedang sampai luas. Oleh karena itu, diperlukan stabilisasi tanah sebagai cara untuk memperbaiki sifat-sifat fisis tanah sebagai daya dukung. Salah satu cara ukur daya dukung tanah diantaranya dengan menggunakan nilai dari *California Bearing Ratio (CBR)*. Dari permasalahan di atas, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sifat dan klasifikasi tanah asli serta pengaruh penggunaan limbah Beton sebagai bahan stabilisasi pada campuran tanah lempung dengan persentase diatas terhadap nilai CBR dan Penambahan limbah Beton sebagai bahan campuran diharapkan dapat meningkatkan stabilitas dan daya dukung tanah.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh campuran limbah beton terhadap tanah asli untuk nilai CBR pada tanah lempung dengan variasi campuran 7%, 10%, 15%, dan 20% dengan waktu pemeraman 1, 7, dan 11 hari, dan untuk meningkatkan nilai daya dukung tanah, sehingga tanah tersebut dapat digunakan sebagai tanah dasar pada jalan tol serta dapat mengurangi limbah beton sebagai bahan stabilisasi.

2. METODE

Pengujian Sifat Fisis Tanah

Tanah yang terdiri dari dua atau tiga bagian. Dalam tanah yang kering, hanya terdiri dari dua bagian yaitu butir-butir tanah dan pori-pori udara. Dalam tanah yang jenuh juga terdapat dua bagian, yaitu bagian padat atau butiran dan air pori. Dalam keadaan tidak jenuh, tanah terdiri dari tiga bagian yaitu bagian padat (butiran), pori-pori udara, dan air pori. Berikut rumus untuk mengklasifikasikan jenis tanah menurut standar *AASHTO*, sesuai dengan pengujian nya.

Pengujian Kadar Air,

didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air (W_w) dengan berat tanah kering (W_s) dalam tanah tersebut, dinyatakan dalam persen (%).

$$W = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad (1)$$

Pengujian Berat Isi Tanah Basah

Berat Volume basah (γ_b) adalah perbandingan antara butiran tanah termasuk air dan udara (W) dengan volume total tanah (V).

$$\gamma_b = \frac{W_{\text{tanah basah}}}{V_{\text{total}}} \quad (2)$$

Berat volume kering (γ_d) adalah perbandingan antara berat tanah basah (W_s) dengan volume tanah total (V).

$$\gamma_d = \frac{W_{\text{tanah basah}}}{V_{\text{total}}} \quad (3)$$

Pengujian Atterberg Limit

Indeks Plastisitas adalah selisih antara batas cair dan batas plastis yang dinyatakan dalam bentuk persen, dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$PI = LL - PL \quad (4)$$

Keterangan:

PI = Indeks Plastisitas

LL = Nilai Batas Cair

PL = Nilai Batas Plastis

Pengujian Sifat Mekanis Tanah

Menurut Hardiyatmo (1995), pengujian ini untuk mengamati hubungan antara kadar air optimum (*OMC*) dan berat volume kering maksimum (*MDD*). Untuk berbagai jenis tanah. Derajat kepadatan tanah di ukur dari berat volume kering nya, hubungan berat volume kering (γ_d), berat volume basah (γ_b) dan kadar air (w), dinyatakan dalam persamaan:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1 + \text{kadar air}} \quad (5)$$

Keterangan:

γ_d = Berat volume kering (gr/cm^3)

γ_b = Berat volume basah (gr/cm^3)

W = Kadar air (%)

Untuk setiap percobaan, berat volume tanah basah (γ_b) dari tanah yang dipadatkan dapat dihitung:

$$\gamma_b = \frac{W_{\text{tanah basah}}}{V_{\text{total}}} \quad (6)$$

Keterangan:

W = Berat tanah yang dipadatkan dalam cetakan

V = Volume cetakan

Pengujian California Bearing Ratio

Menurut Sukirman (1999), daya dukung tanah dasar dinyatakan dengan nilai *CBR* nilai *CBR* adalah perbandingan antara beban yang dibutuhkan untuk penterasi 2,5mm dan 5mm dengan beban yang ditahan batu pecah standar.

$$CBR = \frac{\text{Beban penetrasi}}{\text{Beban Standar}} \times 100\% \quad (7)$$

Keterangan:

CBR = Nilai *California Bearing Ratio* (%)

Beban penetrasi = Tekanan (lbf/in^2)

Beban standar = Tekanan standar (kn)

Penelitian ini di dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang. Sampel tanah diambil ini dari Proyek Pembangunan Jalan Tol Probolinggo – Banyuwangi Paket II, tepatnya pada Sta. 16+650, kabupaten probolinggo. Pada lokasi ini dinyatakan tanah lempung dikarenakan tanah di lokasi ini bersifat plastis pada

kondisi kadar air sedang dan bersifat kering dan keras pada kondisi kadar air yang rendah. Untuk bahan tambah campuran limbah beton yang digunakan berasal dari *batching plant* proyek jalan tol tersebut. Pada penelitian dilakukan penambahan campuran dengan variasi 7%, 10%, 15%, dan 20%.

Metode pencampuran tanah dengan limbah beton yang dilakukan dengan cara penambahan variasi campuran 7%, 10%, 15%, dan 20% untuk dapat menentukan banyaknya limbah beton pada sebuah sampel adalah masing – masing persentase limbah beton dikalikan dengan berat sampel tanah. Selanjutnya dilakukan proses pencampuran sampel tanah dan limbah beton serta air dengan kadar tertentu. Pada proses ini tidak dilakukan cara khusus, hanya dilakukan pencampuran tanah dan limbah beton di dalam pan dan di aduk hingga merata kemudian tambahkan air, selanjutnya dimasukkan kedalam plastik sesuai dengan waktu pemeraman yang telah ditentukan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Tanah Asli

Berikut **Tabel 1** merupakan hasil dari pengujian tanah asli antara lain:

Tabel 1 klasifikasi tanah asli

Jenis Pengujian		Simbol	Hasil
Kadar Air		%	35,88
Analisa Saringan (lolos saringan No.200)		%	44,78
Atterberg Limit	Liquid Limit	%	59,07
	Plastic Limit		25,08
	Indeks		34,00
	Plastisitas		
Proctor Modified		gr/cm ³	
$\gamma_{d\text{maksimum}}$	1 hari	gr/cm ³	1,502
	7 hari		1,495
	11 hari		1,489
W _{optimum}	1 hari	%	23,79
	7 hari		24,93
	11 hari		25,89
Bacaan		mm	2,5 5
CBR	Unsoaked	%	
	1 hari		3,38 3,49
	7 hari		2,91 3,18
	11 hari		2,73 3,06
	1 hari		3 3,08
	7 hari		2,06 2,46
Soaked			1,74 2,23

Sumber: Hasil Penelitian

Sistem klasifikasi tanah berdasarkan *American Association of State Highway and Transportation Officials Classification (AASHTO)* digunakan sebagai penentuan kualitas tanah guna perencanaan timbunan jalan, *subbase* dan *subgrade*. Pada sistem ini, tanah diklasifikasikan ke dalam tujuh kelompok besar, yaitu A-1 sampai dengan A-7.

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan kelompok klasifikasi tanah A-7-6. Hal ini dibuktikan bahwa untuk lolos ayakan No. 200 didapatkan nilai 46,71% dengan syarat yaitu min 36%, nilai batas cair (LL) didapat 59,07% dengan syarat standarnya yaitu min 41% dan nilai Indeks Plastisitas (PI) didapat 34,00% dengan syarat standarnya yaitu min 11, artinya nilai tersebut masuk standar dan ketentuannya. Berdasarkan hasil pengujian untuk mengklasifikasi jenis tanah, tanah tersebut termasuk jenis tanah dengan tipe lempung dan masuk dalam subkelompok A-7-6.

Pengujian Tanah Asli + Limbah Beton

Pengujian Atterberg Limit

Berdasarkan hasil pengujian atterberg limit tanah asli dengan campuran limbah beton dengan variasi 7%, 10%, 15%, dan 20% dapat dilihat pada **Tabel 2** berikut.

Tabel 2 Hasil Atterberg Limit Campuran Limbah Beton

Campuran (%)	Batas cair (%)	Batas plastis (%)	Indeks Plastisitas (%)
TA	59,07	25,08	34,00
7	54,47	25,57	28,91
10	51,07	26,20	24,87
15	47,07	27,16	19,92
20	45,87	28,36	17,51

Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil pengujian liquid limit yang diperoleh dari tanah asli yaitu 59,07% nilai dari batas cair terjadi penurunan seiring besar nya variasi limbah beton. Penurunan nilai *liquid limit* maksimum terjadi pada campuran limbah beton 20% dengan nilai 45,87%. Hal ini dikarenakan dengan penambahan limbah beton mengurangi plastisitas tanah tersebut, dimana tanah menjadi lebih kaku dan tidak lengket, semakin besar campuran limbah beton pada tanah, nilai *liquid limit* menjadi semakin menurun.

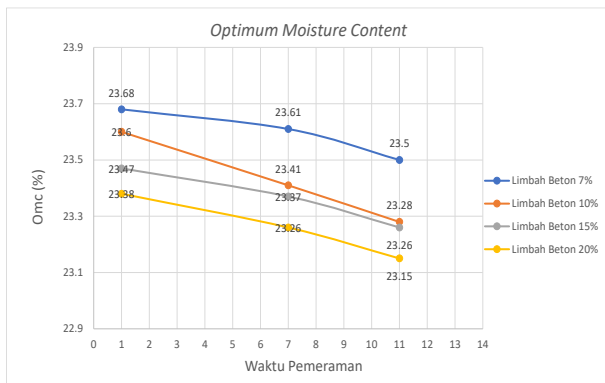
Berdasarkan hasil pengujian *plastic limit* yang diperoleh dari tanah asli yaitu 25,08% nilai dari *plastic limit* terjadi peningkatan seiring besar nya variasi limbah beton. Peningkatan nilai *liquid limit* maksimum terjadi pada campuran limbah beton 20% dengan nilai 28,36%. Hal ini dikarenakan dengan penambahan limbah beton mengurangi plastisitas tanah tersebut, dimana tanah menjadi lebih rentan terhadap perubahan air yang berlebih, semakin besar

campuran limbah beton pada tanah, nilai *liquid limit* menjadi semakin meningkat.

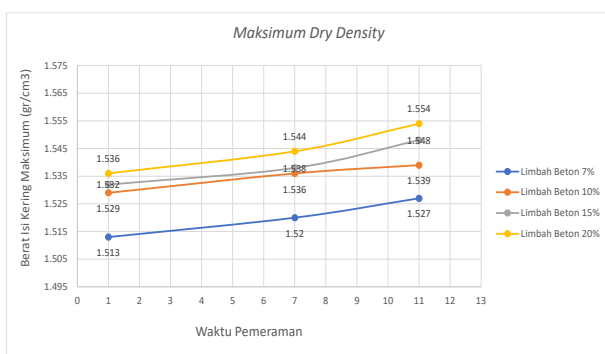
Berdasarkan hasil pengujian batas cair dan plastis dihasilkan nilai indeks plastisitas optimum yaitu pada campuran limbah beton 20% dengan nilai sebesar 17,51%, nilai indeks plastisitas tersebut menurun secara signifikan dari hasil tanah asli yaitu sebesar 34,00%, menurun nya nilai indeks plastisitas atau semakin kecil nilai indeks plastisitas yang dihasilkan, maka tanah tersebut mengalami penurunan sifat plastisitas nya. Penurunan nilai indeks plastisitas terjadi seiring besar nya variasi campuran limbah beton yang digunakan pada tanah tersebut. Hal ini dikarenakan dengan penambahan limbah beton menyebabkan tanah menjadi kurang plastis dan lebih kokoh.

Pengujian Proctor Modified

Berikut adalah niali pengujian pemadatan modifikasi antara tanah asli dan campuran limbah beton dapat dilihat pada **Gambar 1 – Gambar 2** berikut.



Gambar 1 Hubungan nilai Omc terhadap waktu pemeraman



Gambar 2 Hubungan nilai Mdd terhadap waktu pemeraman

Berdasarkan data hasil pengujian pemadatan pada **Gambar 1 – Gambar 2** grafik diatas, dimana nilai *MDD* semakin meningkat seiring bertambah besar nya persentase limbah beton dan lama nya waktu pemeraman yang dilakukan, dan nilai *OMC* semakin menurun seiring besar nya persentase limbah beton dan lama nya waktu pemeraman

yang dilakukan. Pengujian pemadatan dilakukan terhadap tanah asli dengan campuran variasi limbah beton 7%, 10%, 15%, dan 20%, dengan waktu pemeraman 1, 7, dan 11 hari. Berikutl hasil rekapitulasi pengujian pemadatan tanah asli dan campuran limbah beton yang dapat dilihat pada **Tabel 3** dibawah ini.

Tabel 3 Hasil Pengujian Proctor TA + Limbah Beton

Campuran (%)	Berat Isi Kering Maksimum (gr/cm ³)	Kadar Air Optimum (%)
TA	1	1,502
	7	1,495
	11	1,489
7	1	1,513
	7	1,520
	11	1,527
10	1	1,529
	7	1,536
	11	1,539
15	1	1,532
	7	1,538
	11	1,548
20	1	1,536
	7	1,544
	11	1,554

Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil dari **Tabel 3** diatas menunjukkan, bahwa nilai *OMC* pada tanah asli yaitu sebesar 25,89% pada waktu pemeraman 11 hari, dengan semakin besar nya campuran limbah beton dan pemeraman menyebabkan penurunan nilai *OMC*. *OMC* yang di hasilkan dengan campuran limbah beton yaitu pada variasi campuran limbah beton 20% dengan waktu pemeraman selama 11 hari dengan nilai yang dihasilkan yaitu 23,15%. Penurunan ini terjadi karena limbah beton tidak dapat menyerap air, yang menyebabkan kebutuhan air berkurang, yang dimana nilai *OMC* yang dihasilkan semakin kecil/menurun.

Berdasarkan hasil dari **Tabel 3** diatas menunjukkan, bahwa nilai *MDD* pada tanah asli yaitu sebesar 1,489 gr/cm³ pada waktu pemeraman 11 hari, dengan semakin besar nya campuran limbah beton dan pemeraman menyebabkan peningkatan nilai *MDD*. *MDD* yang di hasilkan dengan campuran limbah beton yaitu pada variasi campuran limbah beton 20% dengan waktu pemeraman selama 11 hari dengan nilai yang dihasilkan yaitu 1,554 gr/cm³. Peningkatan ini terjadi karena limbah beton mengisi rongga udara tanah yang kosong, yang menyebabkan tanah menjadi lebih padat dan berat volume kering maksimum nya meningkat.

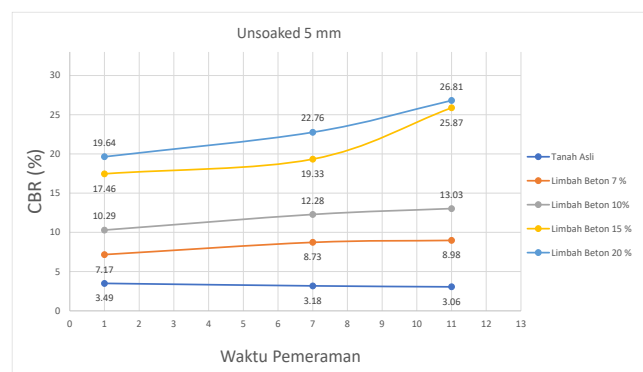
Pengujian California Bearing Ratio

Dari hasil uji *CBR* laboratorium, diperoleh nilai *CBR Unsoaked* dan *Soaked* Laboratorium seperti pada grafik pada **Gambar 3** berikut:



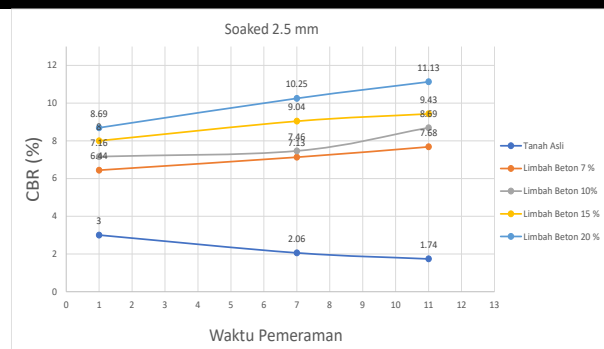
Gambar 3 Nilai *CBR Unsoaked* 2,5mm

Berdasarkan **Gambar 3** grafik diatas, *pengujian CBR Unsoaked* yang di hasilkan pada penetrasi 2,5 mm tanah asli nilai *CBR* semakin meningkat seiring besarnya variasi limbah beton dan lama nya waktu pemeraman. Nilai *CBR* tanah asli sebesar 2,73% dan nilai optimum yang dihasilkan dengan campuran limbah beton yaitu pada variasi 20% dengan nilai sebesar 25,85% dengan waktu pemeraman 11 hari.



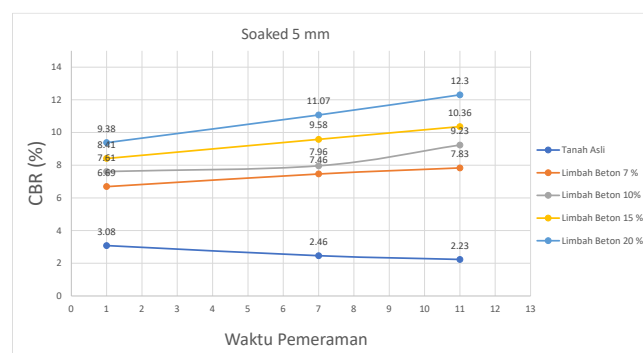
Gambar 4 Nilai *CBR Unsoaked* 5mm

Berdasarkan **Gambar 4** grafik diatas, *pengujian CBR Unsoaked* yang di hasilkan pada penetrasi 5 mm tanah asli nilai *CBR* semakin meningkat seiring besarnya variasi limbah beton dan lama nya waktu pemeraman. Nilai *CBR* tanah asli sebesar 3,06% dan nilai optimum yang dihasilkan dengan campuran limbah beton yaitu pada variasi 20% dengan nilai sebesar 26,81% dengan waktu pemeraman 11 hari.



Gambar 5 Nilai *Cbr Soaked* 2,5mm

Berdasarkan **Gambar 5** grafik diatas, *pengujian CBR Soaked* yang di hasilkan pada penetrasi 2,5 mm tanah asli nilai *CBR* semakin meningkat seiring besarnya variasi limbah beton dan lama nya waktu pemeraman. Nilai *CBR* tanah asli sebesar 1,74% dan nilai optimum yang dihasilkan dengan campuran limbah beton yaitu pada variasi 20% dengan nilai sebesar 11,13% dengan waktu pemeraman 11 hari.



Gambar 6 Nilai *CBR Soaked* 5mm

Berdasarkan **Gambar 6** grafik diatas, *pengujian CBR Soaked* yang di hasilkan pada penetrasi 5 mm tanah asli nilai *CBR* semakin meningkat seiring besarnya variasi limbah beton dan lama nya waktu pemeraman. Nilai *CBR* tanah asli sebesar 2,23% dan nilai optimum yang dihasilkan dengan campuran limbah beton yaitu pada variasi 20% dengan nilai sebesar 12,31% dengan waktu pemeraman 11 hari.

Berdasarkan hasil nilai *CBR Unsoaked* dan *Soaked* yang di peroleh pada penetrasi 2,5mm dan 5mm, nilai *CBR* yang dihasilkan dengan campuran limbah beton semakin meningkat seiring bertambah besar nya variasi limbah beton yang digunakan dan lama nya waktu pemeraman dan perendaman. Peningkatan nilai *CBR* ini dikarenakan dengan penambahan campuran limbah beton membantu memperbaiki struktur tanah tersebut, dimana pecahan limbah beton membantu mengisi rongga-rongga partikel tanah yang menjadikan antara partikel tanah dan pecahan limbah beton menyatu yang menjadikan nya lebih kokoh dna kuat.

4 KESIMPULAN

- 1 Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan yaitu setelah dilakukan pengujian tanah asli pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Probolinggo – Banyuwangi Paket II, tepatnya pada Sta.16+650, bahwa tanah tersebut berjenis tanah lempung dengan tipe A-7-6 menurut sistem klasifikasi *AASHTO*.
- 2 Berdasarkan hasil penelitian ini membuktikan bahwa variasi terbaik pada campuran 20% limbah beton dengan waktu pemeraman 11 hari pada pengujian pemadatan modifikasi meningkatkan nilai *MDD* dan menurunkan nilai kadar air disetiap variasi limbah yang digunakan. *MDD* terbesar yaitu 1,554 gr/cm³, dengan *OMC* 23,15%.
- 3 Berdasarkan hasil penelitian ini membuktikan bahwa nilai *CBR* yang dihasilkan terbaik yaitu pada campuran limbah beton 20% dengan waktu pemeraman 11 hari, dengan nilai *CBR Unsoaked* terbesar yaitu 25,85% pada penetrasi 2,5mm dan 26,81% pada penetrasi 5mm, untuk *CBR Soaked* nilai terbaik yang dihasilkan pada campuran limbah beton variasi 20% dengan waktu pemeraman 11 hari yaitu 11,13% pada penetrasi 2,5mm dan 12,30% pada penetrasi 5mm.
- 4 Penambahan limbah beton yang paling optimum terdapat pada persentase 20%, dilihat dari nilai *CBR Unsoaked* terbesar yaitu 25,85% pada penetrasi 2,5mm dan 26,81% pada penetrasi 5mm

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASTM D1556, *Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by the Sand-Cone Method*, ASTM International, West Conshohocken, 1987.
- [2] ASTM D1883, *Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soils*, ASTM International, 1987.
- [3] ASTM D2216, *Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil*, ASTM International, 1980.
- [4] ASTM D422, *Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*, ASTM International, 1972.
- [5] ASTM D43, *Standard Practice for Sampling Bituminous Materials*, ASTM International, 1984.
- [6] B. M. Das, *Mekanika Tanah 1*, Jakarta: Erlangga, 1995.
- [7] H. C. Hardiyatmo, *Mekanika Tanah 1*, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 1995.
- [8] S. Sukirman, "Perkerasan Jalan Lentur", Jakarta, 1999.