

PENAMBAHAN LIMBAH PLASTIK DAN KERTAS SEBAGAI BAHAN STABILISASI TANAH DASAR UNTUK JALAN TOL

Muhammad Syahril Mubarak¹, R. A Mariyana²

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

syahrilmubarak74@gmail.com¹, raden.ajeng@polinema.ac.id²

ABSTRAK

Tanah dasar memiliki peran penting dalam menahan beban konstruksi jalan. Pada penelitian ini tanah diambil di Proyek Jalan Tol Probolinggo–Banyuwangi Paket 2 pada Sta. 16+800. Menurut klasifikasi AASHTO, tanah asli termasuk kelompok A-7-6 karena nilai lolos saringan no. 200 sebesar 44,52%, pada pengujian *Atterberg limit* menunjukkan nilai batas cair 56,46%, batas plastis 28,45%, indeks plastisitas 26,01%, dan *Group Index* sebesar 7. Kelompok tanah A-7-6 termasuk kedalam tanah lempung yang cenderung memiliki daya dukung yang buruk. Untuk meningkatkan daya dukung, digunakan bahan stabilisasi berupa limbah botol plastik PET dengan variasi 7%, 10%, dan 15%, serta limbah kertas HVS 4%, 8%, dan 10%, dan kombinasi keduanya dengan masa pemeraman 1, 7, dan 11 hari. Pada pengujian *Atterberg Limit* campuran paling optimum diperoleh pada variasi plastik 15% dan kertas 10%, dengan penurunan batas cair menjadi 45,64%, peningkatan batas plastis menjadi 31,95%, dan penurunan indeks plastisitas menjadi 13,69%. Pengujian pemadatan *modified* menunjukkan tanah asli memiliki OMC 25,44% dan MDD 1,420 g/cm³ dan menurunkan nilai MDD dan meningkatkan nilai OMC seiring lama waktu pemeraman. Penambahan bahan stabilisasi cenderung menurunkan MDD, dengan penurunan terkecil pada plastik 7% pada masa pemeraman 1 hari (MDD 1,411 g/cm³). Nilai CBR tanah asli pada masa pemeraman 1 hari adalah 4,99% (*unsoaked*) dan 3,69% (*soaked*), dan menurun seiring lama waktu pemeraman. Peningkatan CBR tertinggi terdapat pada campuran kertas 8% dengan pemeraman 11 hari, yaitu 10,73% (*unsoaked*) dan 7,08% (*soaked*). Meski meningkat, nilai CBR *soaked* masih belum memenuhi syarat untuk tanah dasar jalan tol karena berada di bawah 10%.

Kata kunci : limbah botol plastik PET; limbah kertas HVS; stabilisasi tanah; *California Bearing Ratio*.

ABSTRACT

Groundland has an important role in bearing the burden of road construction. In this study, land was taken in the Probolinggo-Banyuwangi Toll Road Project Package 2 at Sta. 16+800. According to the AASHTO classification, the original soil belongs to group A-7-6 because the pass value of sieve no. 200 is 44.52%, the *Atterberg limit* test shows a liquid limit value of 56.46%, a plastic limit of 28.45%, a plasticity index of 26.01%, and a *Group Index* of 7. The soil group A-7-6 is included in the clay soil which tends to have poor carrying capacity. To increase the carrying capacity, stabilization materials are used in the form of PET plastic bottle waste with variations of 7%, 10%, and 15%, as well as HVS paper waste 4%, 8%, and 10%, and a combination of both with a curing period of 1, 7, and 11 days. In the *Atterberg test*, the most optimal mixture was obtained at 15% plastic and 10% paper variations, with a decrease in the liquid limit to 45.64%, an increase in the plastic limit to 31.95%, and a decrease in the plasticity index to 13.69%. Modified compaction testing showed the original soil had an OMC of 25.44% and an MDD of 1.420 g/cm³ and decreased the MDD value and increased the OMC value over the length of the watering time. The addition of stabilizing materials tends to lower MDD, with the smallest decrease in plastics being 7% at 1 day of curing (MDD 1,411 g/cm³). The CBR value of the original soil during the 1-day spraying period was 4.99% (*unsoaked*) and 3.69% (*soaked*), and decreased over the length of the spraying time. The highest increase in CBR was found in the 8% paper mixture with 11 days of fermentation, namely 10.73% (*unsoaked*) and 7.08% (*soaked*). Despite the increase, the soaked CBR value is still not eligible for toll road base land because it is below 10%.

Keywords : waste PET plastic bottles; HVS paper waste; soil stabilization; *California Bearing Ratio*.

1. PENDAHULUAN

Daya dukung tanah merupakan kemampuan tanah untuk menahan beban dari konstruksi yang dibangun di

atasnya, seperti konstruksi jalan. Tanah dengan daya dukung rendah tidak mampu menopang beban secara optimal, sehingga berpotensi menyebabkan kerusakan struktural pada

konstruksi di atasnya. Dalam kondisi seperti ini, diperlukan upaya perbaikan tanah melalui proses stabilisasi. Stabilisasi tanah adalah metode peningkatan karakteristik teknis tanah, baik secara fisik maupun kimiawi, dengan menambahkan bahan tertentu. Dua metode stabilisasi yang umum digunakan adalah stabilisasi mekanis dan stabilisasi kimiawi.

Stabilisasi mekanis dilakukan dengan menambahkan material sisipan ke dalam tanah guna meningkatkan sifat teknisnya, seperti kepadatan dan kekuatan geser. Sementara itu, stabilisasi kimiawi melibatkan penambahan bahan kimia yang memicu reaksi dengan partikel tanah, sehingga menghasilkan material baru dengan sifat yang lebih baik dari segi teknis. Pemilihan metode dan bahan stabilisasi sangat bergantung pada karakteristik tanah dan tujuan konstruksi.

Salah satu penelitian yang relevan dilakukan oleh Putra dan Praditya (2024) dari Universitas Islam Sultan Agung dengan judul "Perbaikan Tanah Lempung Lunak Dengan Pemanfaatan Limbah Rumah Tangga". Penelitian tersebut menggunakan tanah lempung dari kawasan UNISSULA, Semarang, dan memanfaatkan limbah plastik serta kertas sebagai bahan stabilisasi mekanis. Pengujian laboratorium yang dilakukan meliputi uji sifat fisik tanah, batas Atterberg, direct shear, pemadatan standar, dan CBR (California Bearing Ratio), dengan variasi campuran limbah sebesar 2%, 3%, 4%, 6%, dan 9%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi terbaik diperoleh pada campuran 85% tanah + 6% limbah kertas + 9% limbah plastik. Campuran ini berhasil menurunkan nilai batas cair dari 60,56% menjadi 47,5%, meningkatkan sudut geser dari 18,88° menjadi 21,98°, serta meningkatkan nilai CBR *unsoaked* dari 7,45% menjadi 9,2%.

Berdasarkan temuan tersebut, penelitian ini mengadopsi penggunaan limbah plastik dan kertas sebagai bahan stabilisasi tanah dasar pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Probolinggo – Banyuwangi Paket 2, tepatnya pada Sta. 16+800. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada kondisi eksisting yang merupakan area persawahan dengan tanah lempung yang memiliki kadar air tinggi, serta sifat mengembang saat basah dan menyusut saat kering. Hal ini sesuai dengan karakteristik tanah lempung yang dijelaskan oleh Das dan Shoban (2018), yaitu rentan mengalami perubahan volume akibat fluktuasi kadar air.

Dalam upaya meningkatkan daya dukung tanah di lokasi tersebut sekaligus mengurangi limbah rumah tangga masyarakat sekitar, digunakan limbah plastik jenis PET (*Polyethylene Terephthalate*) dari botol bekas yang dicacah dengan variasi penambahan 7%, 10%, dan 15%, serta limbah kertas HVS bekas yang diolah menjadi bubur kertas dan dikeringkan dengan variasi penambahan 4%, 8%, dan 10%.

Selain pengujian masing-masing bahan secara terpisah, kombinasi kedua bahan juga akan diteliti untuk memperoleh komposisi yang paling optimal dalam meningkatkan daya dukung tanah.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui klasifikasi tanah asli yang berada pada lokasi Sta. 16+800 di Proyek Pembangunan Jalan Tol Probolinggo – Banyuwangi Paket 2. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis hasil uji pemadatan pada tanah asli serta campuran tanah dengan limbah kertas, limbah plastik, dan kombinasi keduanya guna mengevaluasi pengaruhnya terhadap nilai kepadatan maksimum dan kadar air optimum. Selanjutnya, penelitian ini juga menganalisis nilai CBR dalam kondisi *soaked* dan *unsoaked* dari tanah asli maupun campurannya, untuk mengetahui perubahan daya dukung tanah setelah penambahan bahan stabilisasi. Akhirnya, penelitian ini bertujuan untuk menentukan persentase penambahan limbah kertas, plastik, dan kombinasi keduanya yang paling optimal dalam meningkatkan daya dukung tanah.

2. METODE
Pengklasifikasian Tanah

Tanah yang diambil pada lokasi Sta. 16+800 di Proyek Pembangunan Jalan Tol Probolinggo – Banyuwangi Paket 2 akan diklasifikasikan dengan menggunakan sistem AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) memerlukan pengujian analisa saringan agar mendapat nilai lolos saringan no.200 dan *atterberg limit* nilai batas cair, nilai indeks plastis dan *Group Index* (GI). Untuk pengklasifikasian menggunakan sistem AASHTO dapat melihat tabel berikut:

Tabel 1. Klasifikasi Tanah Menurut AASHTO

Klasifikasi umum Klasifikasi kelompok	Material Granuler (<35% lolos saringan No.200)						
	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisis saringan (% lolos)							
2,00 mm (no. 10)	50 maks	-	-	-	-	-	-
0,425 mm (no. 40)	30 maks	50 maks	51 min	-	-	-	-
0,075 mm (no. 200)	15 maks	25 maks	10 maks	35 maks	35 maks	35 maks	35 maks
Sifat fraksi lolos saringan no. 40							
Batas cair (LL)	-	-	-	40 maks	41 min	40 maks	41 min
Indeks plastis (PI)	6 maks	-	NP	10 maks	10 maks	11 min	11 min
Indeks kelompok (G)	0	-	0	0	-	-	4 maks
Tipe material yang pokok pada umumnya	Pecahan batu, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir			
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik						

Sumber: Hardiyatmo, 2006

Tabel 1. Lanjutan Klasifikasi Tanah Menurut AASHTO

Klasifikasi umum	Tanah Lanau - Lempung			
Klasifikasi kelompok	A-4	A-5	A-6	A-7 (A-7-5 / A-7-6)
Analisis saringan (% lolos)				
2,00 mm (no. 10)	-	-	-	-
0,425 mm (no. 40)	-	-	-	-
0,075 mm (no. 200)	36 min	36 min	36 min	36 min
Sifat fraksi lolos saringan no. 40				
Batas cair (LL)	40 maks	41 min	40 maks	41 min
Indeks plastis (PI)	10 maks	10 maks	11 min	11 min
Indeks kelompok (G)	8 maks	12 maks	16 maks	20 maks
Tipe material yang pokok pada umumnya	Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sedang sampai buruk			

Sumber: Sumber: Hardiyatmo, 2006

Pengujian Kadar Air (ASTM D 2216)

Pengujian kadar air adalah perbandingan antara berat air yang terkandung dalam massa tanah dengan berat partikel tanah kering, dinyatakan dalam bentuk persentase. Untuk mendapatkan nilai kadar air menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{W_w}{W_s} = \frac{(W_1 - W_2)}{(W_2 - W_3)} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

- Ww = Berat air (gram)
 Ws = Berat tanah kering (gram)
 W1 = Berat cawan + tanah basah (gram)
 W2 = Berat cawan + tanah kering (gram)
 W3 = Berat cawan (gram)

Pengujian Analisa Saringan (ASTM D 422)

Analisis ayakan adalah mengayak dan menggetarkan contoh tanah melalui suatu set ayakan dimana lubang – lubang ayakan tersebut makin kecil secara berurutan. Ayakan yang digunakan adalah ayakan 3/8”, No.4, No. 10, No. 20, No. 40, No.100, dan No. 200.

Pengujian Atterberg Limit (ASTM D 4138)

Pada tahun 1991, Atterberg mengembangkan metode untuk menggambarkan batas konsistensi tanah berbutir halus dengan memperhitungkan kandungan kadar airnya. Batas-batas tersebut meliputi batas air (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*). Batas cair (LL) adalah kadar air tanah yang menunjukkan batas antara kondisi cair dan kondisi plastis, yang juga menjadi batas atas dari kondisi plastis. Nilai batas cair diambil pada ketukan ke 25 pada grafik penentuan batas cair.

Sedangkan nilai batas plastis (*plastic limit*) adalah kadar air minimum pada sampel tanah yang berada dalam kondisi plastis, yaitu kadar air di antara wilayah plastis dan semi padat. Setelah mendapatkan nilai batas cair dan batas plastis, nilai indeks plastisitas dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$IP = LL - PL \quad (2)$$

Dengan keterangan:

- IP = Indeks plastisitas (%)
 LL = Batas cair (%)
 PL = Batas plastis (%)

Setelah itu menghitung nilai *Group Index* menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$GI = (F - 35) [0,2 + 0,005(LL - 40)] + 0,01(F - 15) (PI - 10) \quad (3)$$

Keterangan:

- GI = Indeks kelompok
 F = Persentase butir yang lolos saringan No. 200 (%)
 LL = Batas cair (%)
 PI = Indeks plastisitas (%)

Pengujian Pemadatan (ASTM D 1556)

Uji pemadatan tanah, atau dikenal sebagai *proctor*, merupakan metode laboratorium yang bertujuan menentukan kadar air optimal secara eksperimental sehingga jenis tanah tertentu dapat mencapai kepadatan maksimum dalam kondisi kering. Terdapat 2 metode dalam pengujian pemadatan yaitu *standar* dan *modified*. Berikut merupakan data - data yang didapatkan pada pengujian pemadatan tanah (ASTM D 1556):

1. Volume cetakan

$$V = 1/4 \times \pi \times D^2 \times t \quad (4)$$

Keterangan:

- V = Volume cetakan (cm³)
 D = Diameter cetakan (cm)
 t = Tinggi cetakan (cm)

2. Berat tanah basah (γ_b)

$$\gamma_b = \frac{(W_2 - W_1)}{V} \quad (5)$$

Keterangan:

- γ_b = berat isi basah (gram/cm³)
 W2 = berat cetakan dengan/tanpa alas + benda uji (gram)
 W1 = berat cetakan dengan/tanpa alas (gram)
 V = volume (cm³)

3. Kadar air

$$W = \frac{b - c}{c - a} \times 100\% \quad (6)$$

Keterangan:

- a = Nilai berat cawan (gram)
 b = Nilai berat cawan + tanah basah (gram)
 c = Nilai berat cawan + tanah kering (gram)

4. Berat volume tanah kering (γ_d)

$$(\gamma_d) = \frac{\gamma_b}{1 + w} \quad (7)$$

Keterangan:

- γ_d = berat isi tanah kering (gram/cm³)
 w = kadar air benda uji (gram)

Pengujian California Bearing Ratio (ASTM D 1883)

Menurut Hardiyatmo (2002), CBR adalah perbandingan antara beban penetrasi suatu bahan terhadap bahan standard dengan ke dalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Tujuan utama pengujian ini adalah untuk menentukan nilai CBR, yang menggambarkan kapasitas tanah dalam mendukung beban pada tingkat kepadatan dan

kadar air tertentu. Dengan kata lain, nilai CBR menunjukkan efektivitas tanah dalam menahan beban struktural yang diberikan di atasnya. Secara umum, nilai CBR Laboratorium diambil pada penetrasi 2,50 mm. Namun, jika nilai CBR pada penetrasi 5,00 mm ternyata lebih tinggi dibandingkan dengan nilai pada penetrasi 2,50 mm, maka pengujian perlu diulang. Jika pada pengujian ulang nilai CBR pada penetrasi 5,00 mm tetap lebih besar daripada pada penetrasi 2,50 mm, maka nilai CBR Laboratorium yang digunakan adalah nilai pada penetrasi 5,00 mm. Untuk perhitungan nilai CBR dapat dilihat pada persamaan berikut ini (ASTM D 1883):

$$\text{CBR} = (\text{Beban penetrasi})/(\text{Beban Standar}) \times 100\% \quad (8)$$

Bahan Stabilisasi

Pada penelitian ini akan menggunakan bahan stabilisasi berupa limbah botol plastik PET dan limbah kertas HVS dengan variasi penambahan sebagai berikut:

1. Tanah asli + limbah plastik (LP) dari botol plastik PET, dengan variasi penambahan sebesar 7%, 10%, dan 15%.
2. Tanah asli + limbah kertas (LK) dari kertas HVS, dengan variasi penambahan sebesar 4%, 8%, dan 10%.
3. Tanah asli + limbah plastik (LP) + limbah kertas (LK), dengan variasi penambahan sebesar 7% LP + 4% LK, 10% LP + 8% LK, dan 15% LP + 10% LK.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengklasifikasian Tanah

Didapatkan hasil pengujian terhadap tanah asli yang diambil pada lokasi Sta. 16+800 di Proyek Pembangunan Jalan Tol Probolinggo – Banyuwangi Paket 2 sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Pengujian Untuk Klasifikasi tanah

Jenis Pengujian		Hasil
Pengujian Analisa Saringan	Persentase lolos Ayakan No.200 (75mm)	44.52%
	Persentase fraksi pasir (No.4>D>No.200)	55.48%
	Persentase fraksi kerikil (No.4<D)	0.00%
Pengujian Atterberg Limit	Nilai Batas Cair (LL)	56,46%
	Nilai Batas Plastis (PL)	28,45%
	Nilai Indeks Plastisitas (IP)	26,01%

Sumber: Analisa Peneliti

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan hasil tanah yang lolos saringan no. 200 sebesar 44,52%, sedangkan pada pengujian *Atterberg limit* untuk nilai batas cair diperoleh hasil 56,46% dan nilai indeks plastisitas didapat 26,01% serta nilai *Group Index* sebesar 7 termasuk kedalam tanah lempung yang memiliki kekuatan sedang sebagai tanah

dasar. Dari hasil tersebut, sesuai dengan sistem klasifikasi tanah menggunakan AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) tanah asli termasuk kedalam kelompok klasifikasi A-7-6.

Pengujian Atterberg Limit + Bahan Stabilisasi

Dalam pengujian *atteberg limit* akan dilakukan untuk mendapat nilai batas cair, batas plastis, dan indeks plastisitas. Berikut merupakan hasil pengujiannya:

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Pengujian *Atterberg Limit*

SAMPEL	LL (%)	PL (%)	PI (%)
Tanah asli	54,46	28,45	26,01
Tanah + LP 7 %	53,72	29,65	24,08
Tanah + LP 10 %	52,92	30,34	22,58
Tanah + LP 15 %	51,39	31,62	19,77
Tanah + LK 4%	51,69	30,15	21,55
Tanah + LK 8%	50,27	31,40	18,87
Tanah + LK 10%	47,60	32,70	14,91
Tanah + LP 7% + LK 4%	50,74	29,77	20,97
Tanah + LP 10% + LK 8%	49,04	30,45	18,59
Tanah + LP 15% + LK 10%	45,64	31,95	13,69

Sumber: Analisa Peneliti

Pengujian Pemadatan Tanah Asli

Untuk pengujian pemadatan tanah asli pada lokasi Sta. 16+800 di Proyek Pembangunan Jalan Tol Probolinggo – Banyuwangi Paket 2 didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil Pengujian Pemadatan Tanah Asli

Sampel	<i>Optimum Moisture Content (OMC)</i> (%)	<i>Maximum Dry Density (MDD)</i> (gram/cm ³)
1 hari	25,44	1,420
7 hari	28,57	1,406
11 hari	30,34	1,399

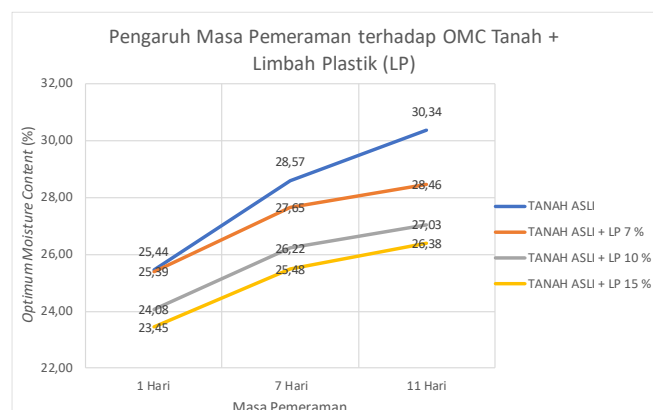
Sumber: Analisa Peneliti

Dari **Tabel 4.** dapat disimpulkan bahwa semakin lama masa pemeraman pada tanah asli, tanah akan mengalami kenaikan nilai OMC dan penurunan nilai MDD.

Pengujian Pemadatan Tanah + Plastik

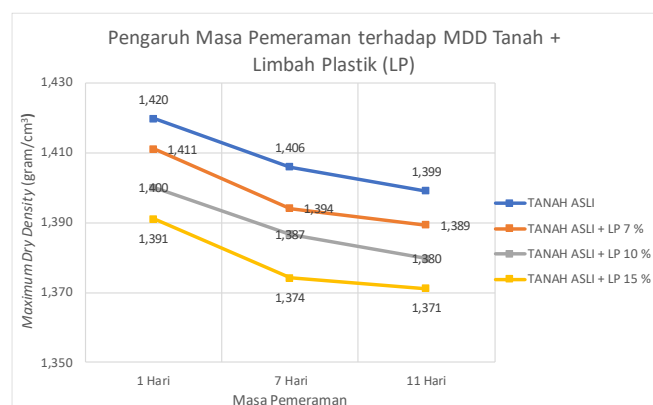
Untuk hasil pengujian pemadatan *modified* tanah + limbah plastik (LP) dari botol plastik PET (Polyethylene Terephthalate) dengan variasi penambahan 7%, 10%, dan 15% dengan masa pemeraman 1 hari, 7 hari, dan 11 hari yang

akan dibandingkan dengan pengujian pemadatan dari tanah asli dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 1. Pengaruh Masa Pemeraman Terhadap OMC Tanah + LP

Sumber: Analisa Peneliti



Gambar 2. Pengaruh Masa Pemeraman Terhadap MDD Tanah + LP

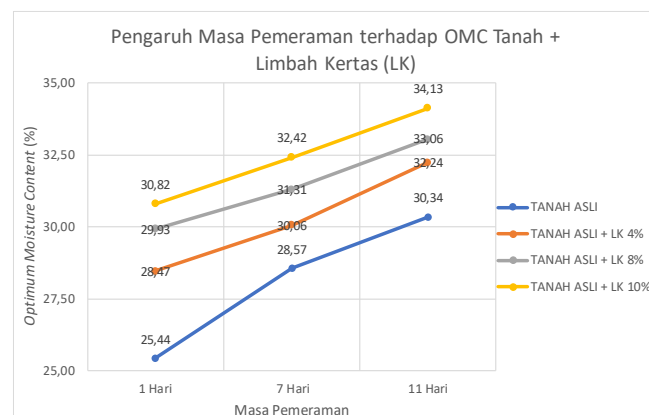
Sumber: Analisa Peneliti

Nilai OMC dan MDD dari setiap penambahan campuran limbah plastik di masing – masing masa pemeraman mengalami penurunan dibanding dengan tanah asli. Untuk nilai OMC dan MDD paling rendah ada pada campuran tanah + LP 15% dibanding dengan tanah asli dan variasi tanah + LP 10% serta tanah + LP 7% yaitu OMC sebesar 23,45% dan MDD sebesar 1,391 gram/cm³ pada masa pemeraman 1 hari, OMC sebesar 25,48% dan MDD sebesar 1,374 gram/cm³ pada masa pemeraman 7 hari, dan OMC sebesar 26,38% dan MDD sebesar 1,371 gram/cm³ pada masa pemeraman 11 hari.

Pengujian Pemadatan Tanah + Kertas

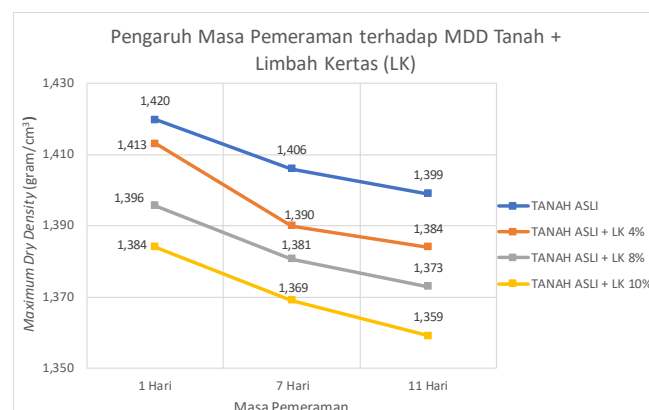
Untuk hasil pengujian pemadatan *modified* tanah + limbah kertas (LK) dari kertas HVS dengan variasi penambahan 4%, 8%, dan 10% dengan masa pemeraman 1

hari, 7 hari, dan 11 hari yang akan dibandingkan dengan pengujian pemadatan dari tanah asli dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 3. Pengaruh Masa Pemeraman Terhadap OMC Tanah + LK

Sumber: Analisa Peneliti



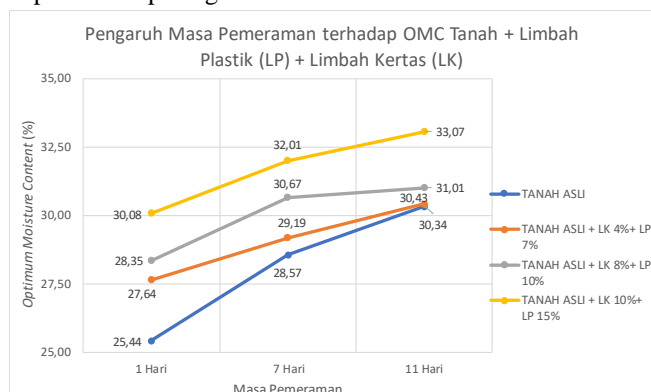
Gambar 4. Pengaruh Masa Pemeraman Terhadap MDD Tanah + LK

Sumber: Analisa Peneliti

Pada setiap penambahan campuran limbah kertas di masing – masing masa pemeraman, nilai OMC mengalami kenaikan dibanding dengan tanah asli dan nilai MDD mengalami penurunan dibanding dengan tanah asli. Untuk nilai OMC yang mengalami kenaikan paling besar dan MDD paling kecil ada pada campuran tanah + LK 10% dibanding dengan tanah asli dan variasi tanah + LK 4% serta tanah + LK 8% dengan nilai OMC sebesar 30,82% dan MDD sebesar 1,384 gram/cm³ pada masa pemeraman 1 hari, OMC sebesar 32,42% dan MDD sebesar 1,369 gram/cm³ pada masa pemeraman 7 hari, dan OMC sebesar 34,13% dan MDD sebesar 1,359 gram/cm³ pada masa pemeraman 11 hari.

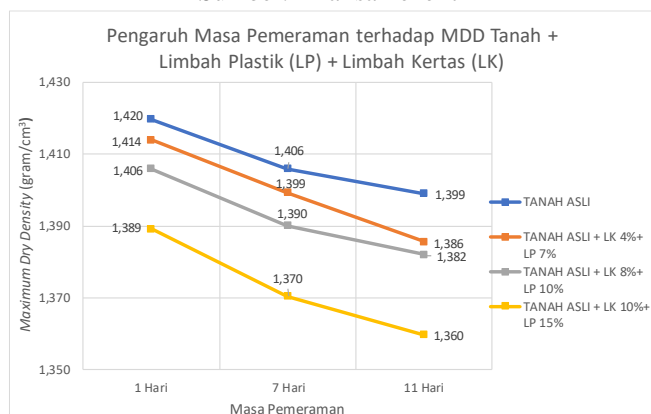
Pengujian Pemadatan Tanah + Plastik + Kertas

Untuk hasil pengujian pemadatan *modified* tanah + limbah plastik (LP) dari botol plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) + limbah kertas dari kertas HVS dengan variasi penambahan tanah + LP 7% + LK 4%, tanah + LP 10% + LK 8%, dan tanah + LP 15% + LK 10% dengan masa pemeraman 1 hari, 7 hari, dan 11 hari yang akan dibandingkan dengan pengujian pemadatan dari tanah asli dapat dilihat pada grafik berikut:



Gamabr 5. Pengaruh Masa Pemeraman Terhadap OMC Tanah + LP + LK

Sumber: Analisa Peneliti



Gambar 6. Pengaruh Masa Pemeraman Terhadap MDD Tanah + LP + LK

Sumber: Analisa Peneliti

Pada setiap penambahan limbah plastik dan kertas limbah kertas di masing – masing masa pemeraman, nilai OMC mengalami kenaikan dibanding dengan tanah asli dan nilai MDD mengalami penurunan dibanding dengan tanah asli. Untuk nilai OMC yang mengalami kenaikan paling besar dan MDD paling kecil ada pada campuran tanah + LP 15% + LK 10% dibanding dengan tanah asli dan variasi tanah + LP 7% + LK 4% serta tanah + LP 10% + LK 8%, dengan nilai OMC sebesar 30,08% dan MDD sebesar 1,389 gram/cm³ pada masa pemeraman 1 hari, OMC sebesar 32,01% dan MDD sebesar 1,370 gram/cm³ pada masa pemeraman 7 hari, dan OMC sebesar 33,07% dan MDD sebesar 1,360 gram/cm³ pada masa pemeraman 11 hari.

Pengujian CBR Tanah Asli

Untuk hasil pengujian CBR tanah asli yang diambil dari Proyek Pembangunan Jalan Tol Probolinggo – Banyuwangi Paket 2 pada Sta. 16+800 dengan masa pemeraman untuk sampel *unsoaked* dan perendaman untuk sampel *soaked* selama 1 hari, 7 hari dan 11 hari:



Gambar 7. Rekapitulasi Hasil CBR Tanah Asli

Sumber: Analisa Peneliti

Nilai CBR baik pada penetrasi 2,5 mm dan 5 mm seiring lama masa pemeraman mengalami penurunan baik *unsoaked* maupun *soaked*. Nilai CBR *unsoaked* terbesar ada pada masa pemeraman 1 hari dengan nilai CBR 2,5 sebesar 4,89% dan CBR 5 mm sebesar 4,99%, sedangkan nilai CBR *unsoaked* paling kecil ada pada masa pemeraman 11 hari dengan nilai CBR 2,5 mm sebesar 3,39% dan CBR 5 mm sebesar 3,62%. Untuk nilai CBR *soaked* paling besar ada pada masa pemeraman 1 hari dengan nilai CBR 2,5 sebesar 3,36% dan CBR 5 mm sebesar 3,69%, sedangkan nilai CBR *soaked* paling kecil ada pada masa pemeraman 11 hari dengan nilai CBR 2,5 mm sebesar 1,69% dan CBR 5 mm sebesar 1,83%.

Pengujian CBR Tanah + Plastik

Berikut merupakan hasil CBR tanah + limbah plastik (LP) dari botol plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dengan variasi penambahan 7%, 10%, dan 15% dengan masa pemeraman untuk sampel *unsoaked* dan perendaman untuk sampel *soaked* selama 1 hari, 7 hari dan 11 hari yang akan dibandingkan dengan hasil CBR tanah asli dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5. Hasil Nilai CBR Tanah + Plastik

Pemeraman / Perendaman	Variasi	Unsoaked		Soaked	
		2,5 mm	5 mm	2,5 mm	5 mm
1 Hari	Tanah Asli	4,89	4,99	3,36	3,69
	LP 7%	4,70	4,80	2,71	2,92
	LP 10%	4,61	4,74	2,55	2,74
	LP 15%	3,86	3,99	1,74	2,00

7 Hari	Tanah				
	Asli	4,33	4,49	2,64	2,78
	LP 7%	3,95	4,18	2,32	2,55
	LP 10%	3,76	3,93	2,20	2,31
	LP 15%	2,82	3,24	1,35	1,46
11 Hari	Tanah				
	Asli	3,39	3,62	1,69	1,83
	LP 7%	3,01	3,49	1,30	1,54
	LP 10%	2,92	3,31	1,21	1,40
	LP 15%	2,16	2,93	0,88	1,11

Sumber: Analisa Peneliti

Dapat dilihat bahwa penambahan limbah plastik cenderung menurunkan nilai CBR dari hasil CBR tanah asli. Nilai CBR *unsoaked* limbah plastik dengan penurunan paling kecil terhadap nilai CBR tanah asli ada pada campuran tanah + LP 7% dibanding campuran lainnya, pada pemeraman 1 hari mendapat nilai 4,70% pada penetrasi CBR 2,5 dan 4,80% pada penetrasi CBR 5 mm, pada masa pemeraman 7 hari memiliki nilai 3,95% pada penetrasi CBR 2,5 mm dan 4,18% pada penetrasi CBR 5 mm, serta pada pemeraman 11 hari mendapat nilai 3,01% pada penetrasi CBR 2,5 mm 3,49% pada penetrasi CBR 5 mm.

Sedangkan untuk nilai CBR *soaked* limbah plastik dengan penurunan paling kecil terhadap nilai CBR tanah asli ada pada campuran tanah + LP 7% dibanding campuran lainnya, pada pemeraman 1 hari mendapat nilai 2,71% pada penetrasi CBR 2,5 dan 2,92% pada penetrasi CBR 5 mm mendapat, pada masa pemeraman 7 hari memiliki nilai 2,32% pada penetrasi CBR 2,5 mm dan 2,55% pada penetrasi CBR 5 mm, serta pada pemeraman 11 hari mendapat nilai 1,30% pada penetrasi CBR 2,5 mm dan 1,54% pada penetrasi CBR 5 mm.

Pengujian CBR Tanah + Kertas

Berikut merupakan hasil CBR tanah + limbah kertas (LK) dari dari kertas HVS dengan variasi penambahan 4%, 8%, dan 10% dengan masa pemeraman untuk sampel *unsoaked* dan perendaman untuk sampel *soaked* selama 1 hari, 7 hari dan 11 hari yang akan dibandingkan dengan hasil CBR tanah asli dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 6. Hasil Nilai CBR Tanah + Kertas

Pemeraman / Perendaman	Variasi	Unsoaked		Soaked	
		2,5 mm	5 mm	2,5 mm	5 mm
1 Hari	Tanah				
	Asli	5,83	5,99	3,36	3,69
	LK 4%	7,71	7,98	4,36	4,60
	LK 8%	6,96	7,11	4,94	5,32
	LK 10%	5,83	5,99	4,57	4,92
7 Hari	Tanah				
	Asli	4,33	4,49	2,64	2,78

7 Hari	LK 4%	6,68	6,86	4,71	4,85
	LK 8%	8,18	8,48	5,66	5,80
	LK 10%	7,34	7,74	5,06	5,41
	Tanah				
	Asli	3,39	3,62	1,69	1,83
11 Hari	LK 4%	7,90	8,17	4,92	5,14
	LK 8%	10,44	10,73	6,84	7,08
	LK 10%	9,40	9,67	6,03	6,25
	Tanah				
	Asli	3,39	3,62	1,69	1,83

Sumber: Analisa Peneliti

Dapat dilihat bahwa penambahan limbah kertas cenderung menaikkan nilai CBR dari hasil CBR tanah asli. Campuran tanah + limbah kertas yang memiliki penambahan nilai CBR *unsoaked* paling besar ada pada tanah + LK 8% dibanding dengan campuran lainnya. Berikut penambahan nilai CBR terhadap tanah asli, pada pemeraman 1 hari mendapat nilai 7,71% pada penetrasi CBR 2,5 dan 7,98% pada penetrasi CBR 5 mm mendapat, pada masa pemeraman 7 hari memiliki nilai 8,18% pada penetrasi CBR 2,5 mm dan 8,48% pada penetrasi CBR 5 mm, serta pada pemeraman 11 hari mendapat nilai 10,44% pada penetrasi CBR 2,5 mm dan 10,73% pada penetrasi CBR 5 mm.

Sedangkan untuk campuran yang mengalami kenaikan nilai CBR *soaked* paling besar terhadap nilai CBR *soaked* tanah asli ada pada campuran tanah + LK 8%. Pada pemeraman 1 hari mendapat nilai 4,94% pada penetrasi CBR 2,5 dan 5,32% pada penetrasi CBR 5 mm mendapat, pada masa pemeraman 7 hari memiliki nilai 5,66% pada penetrasi CBR 2,5 mm dan 5,80% pada penetrasi CBR 5 mm, serta pada pemeraman 11 hari mendapat nilai 6,84% pada penetrasi CBR 2,5 mm dan 7,08% pada penetrasi CBR 5 mm.

Pengujian CBR Tanah + Plastik + Kertas

Berikut merupakan hasil CBR tanah + limbah kertas (LK) dari dari kertas HVS dengan variasi penambahan LP 7% + LK4%, LP 10% + LK 8%, dan LP15% + LK10% dengan masa pemeraman untuk sampel *unsoaked* dan perendaman untuk sampel *soaked* selama 1 hari, 7 hari dan 11 hari yang akan dibandingkan dengan hasil CBR tanah asli dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 7. Hasil Nilai CBR Tanah + Plastik + Kertas

Pemeraman	Variasi	Unsoaked		Soaked	
		2,5 mm	5 mm	2,5 mm	5 mm
1 Hari	Tanah Asli	5,83	5,99	3,36	3,69
	LP 7% + LK 4%	5,45	5,74	3,97	4,20
	LP 10% + LK 8%	6,68	6,99	4,78	5,11
	LP 15% + LK 10%	5,27	5,55	3,76	3,98
	Tanah Asli	4,33	4,49	2,64	2,78
7 Hari	LP 7% + LK 4%	6,21	6,43	4,45	4,75
	LP 10% + LK 8%	7,81	7,92	5,10	5,40
	LP 15% + LK 10%	6,02	6,24	4,13	4,34
	Tanah Asli	4,33	4,49	2,64	2,78

11 Hari	Tanah Asli	3,39	3,62	1,69	1,83
	LP 7% + LK 4%	7,52	7,92	4,66	4,88
	LP 10% + LK 8%	8,65	8,80	6,10	6,45
	LP 15% + LK 10%	6,96	7,11	4,43	4,77

Sumber: Analisa Peneliti

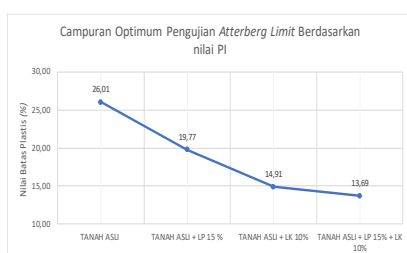
Dapat dilihat bahwa penambahan limbah plastik dan limbah kertas cenderung menaikkan nilai CBR dari hasil CBR tanah asli. Campuran tanah + limbah kertas yang memiliki penambahan nilai CBR *unsoaked* paling besar ada pada tanah LP 10+ LK 8% dibanding dengan campuran lainnya. Berikut penambahan nilai CBR terhadap tanah asli, pada pemeraman 1 hari mendapat nilai 6,68% pada penetrasi CBR 2,5 dan 6,99% pada penetrasi CBR 5 mm mendapat, pada masa pemeraman 7 hari memiliki nilai 7,81% pada penetrasi CBR 2,5 mm dan 7,92% pada penetrasi CBR 5 mm, serta pada pemeraman 11 hari mendapat nilai 8,65% pada penetrasi CBR 2,5 mm dan 8,80% pada penetrasi CBR 5 mm.

Sedangkan untuk campuran yang mengalami kenaikan nilai CBR *soaked* paling besar terhadap nilai CBR *soaked* tanah asli ada pada campuran tanah LP 10% + LK 8%. pada pemeraman 1 hari mendapat nilai 4,78% pada penetrasi CBR 2,5 dan 5,11% pada penetrasi CBR 5 mm mendapat, pada masa pemeraman 7 hari memiliki nilai 5,10% pada penetrasi CBR 2,5 mm dan 5,40% pada penetrasi CBR 5 mm, serta pada pemeraman 11 hari mendapat nilai 6,10% pada penetrasi CBR 2,5 mm dan 6,45% pada penetrasi CBR 5 mm.

Nilai CBR *unsoaked* dan *soaked* akan mengalami penurunan jika persentase penambahan limbah kertas lebih dari 8% dan limbah plastik lebih dari 10%.

Campuran Optimum

1. Pengujian Atterberg Limit



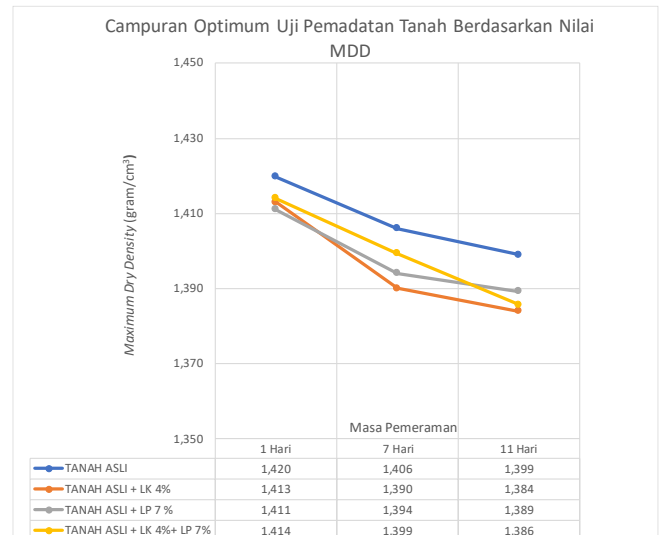
Gambar 8. Campuran Optimum Berdasarkan Nilai PI

Sumber: Analisa Peneliti

Variasi optimum penambahan limbah plastik (PET) terdapat pada campuran tanah + LP 15% dengan penurunan PI sebesar 19,77%. Untuk limbah kertas, optimum pada tanah + LK 10% dengan penurunan PI sebesar 14,91%. Kombinasi terbaik terdapat pada tanah + LP 15% + LK 10% dengan penurunan PI terbesar, yakni 13,69%. Penurunan nilai PI ini menunjukkan bahwa penambahan limbah plastik dan kertas efektif dalam

menstabilkan tanah dengan mengurangi risiko perubahan bentuk akibat kadar air.

2. Pengujian Pemadatan



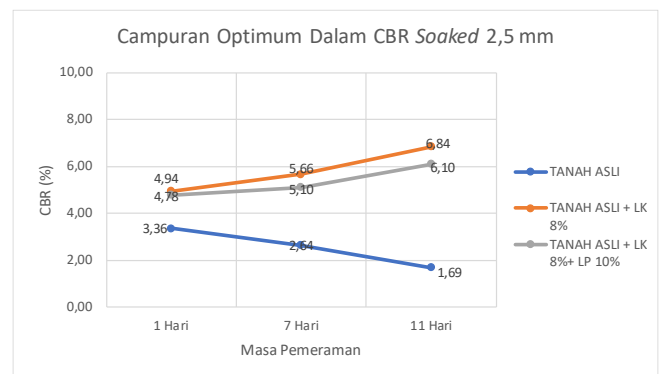
Gambar 9. Campuran Optimum Berdasarkan Nilai MDD

Sumber: Analisa Peneliti

Penambahan plastik PET cenderung menurunkan MDD, dengan nilai MDD tertinggi pada campuran tanah + LP 7% sebesar 1,411 g/cm³. Penambahan limbah kertas juga menurunkan MDD, dengan nilai tertinggi pada tanah + LK 4% sebesar 1,413 g/cm³. Kombinasi plastik PET dan kertas menunjukkan nilai MDD tertinggi pada campuran tanah + LP 7% + LK 4% sebesar 1,414 g/cm³. Secara keseluruhan, penambahan limbah plastik dan kertas berdampak kecil terhadap nilai MDD tanah.

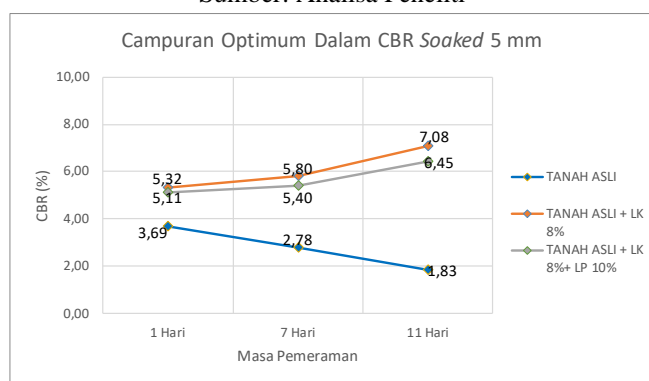
3. Pengujian CBR

Menurut Akbar (2011), dalam mendesain tebal perkerasan diambil nilai CBR terendah dari nilai CBR yang dihasilkan dari beberapa benda uji maka diambil dari benda uji soaked. Berikut merupakan rekapan nilai pengujian CBR soaked dari tanah asli, tanah asli + LP, tanah asli + LK, dan tanah asli + LP + LK:



Gambar 10. Campuran Optimum CBR Soaked 2,5 mm

Sumber: Analisa Peneliti



Gambar 11. Campuran Optimum CBR *Soaked* 5 mm
Sumber: Analisa Peneliti

Penambahan limbah kertas HVS meningkatkan nilai CBR, dengan kenaikan terbesar pada campuran tanah + LK 8%. Nilai CBR tertinggi tercapai pada pemeraman 11 hari, yakni 6,84% (penetrasi 2,5 mm) dan 7,08% (5 mm). Sementara kombinasi plastik PET dan kertas HVS (tanah + LP 10% + LK 8%) juga meningkatkan CBR, dengan nilai tertinggi pada pemeraman 11 hari sebesar 6,10% (2,5 mm) dan 6,45% (5 mm). Jadi, penambahan limbah kertas dan kombinasinya dengan plastik efektif meningkatkan daya dukung tanah. Namun nilai CBR *unsoaked* dan *soaked* akan mengalami penurunan jika persentase penambahan limbah kertas lebih dari 8% dan limbah plastik lebih dari 10%.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan penulis dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan hasil pengujian analisa saringan menunjukkan tanah yang lolos saringan no. 200 sebesar 44,52%, sedangkan pada pengujian Atterberg limit untuk nilai batas cair diperoleh hasil 56,46% dan nilai indeks plastisitas didapat 26,01% serta nilai Group Index sebesar 7 termasuk kedalam tanah lempung yang memiliki kekuatan sedang sebagai tanah dasar. Dari hasil tersebut, sesuai dengan sistem klasifikasi tanah menggunakan AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Official) tanah pada Sta. 16+800 di Proyek Pembangunan Jalan Tol Probolinggo – Banyuwangi Paket 2 termasuk kedalam kelompok klasifikasi A-7-6.
2. Berdasarkan pengujian pemadatan pada tanah pada Sta. 16+800 di Proyek Pembangunan Jalan Tol Probolinggo – Banyuwangi Paket 2 didapatkan pada masa pemeraman 1 hari memiliki nilai OMC sebesar 25,44% dan nilai MDD sebesar 1,420 gram/cm³. Seiring lamanya masa pemeraman pada tanah asli nilai OMC

akan naik dan nilai MDD akan menurun. Adapun untuk tanah yang ditambah bahan stabilisasi plastik mengalami penurunan pada nilai OMC dan MDD seiring bertambahnya limbah plastik, nilai penurunan terkecil nilai MDD ada pada campuran tanah + limbah plastik 7% dengan nilai MDD memiliki 1,411 gram/cm³ dan OMC 25,39%. Sedangkan tanah yang ditambah bahan stabilisasi kertas mengalami kenaikan pada nilai OMC dan penurunan nilai MDD, penurunan nilai MDD terkecil terhadap tanah asli ada pada campuran tanah + kertas 4% dengan nilai 1,413 gram/cm³ dan nilai OMC sebesar 28,47%. Dan tanah yang ditambah dengan penggabungan limbah plastik dan kertas mengalami kenaikan nilai OMC dan penurunan nilai MDD, penurunan nilai MDD terkecil terhadap tanah asli ada pada campuran tanah + limbah plastik 7% + limbah kertas 4% dengan nilai 1,414 gram/cm³ dan OMC senilai 27,64%.

3. Berdasarkan hasil pengujian CBR pada Sta. 16+800 di Proyek Pembangunan Jalan Tol Probolinggo – Banyuwangi Paket 2 didapatkan nilai CBR *unsoaked* pada masa pemeraman 1 hari sebesar 4,99% dan CBR *soaked* sebesar 3,69%. Seiring lamanya masa pemeraman pada tanah asli nilai CBR *unsoaked* dan *soaked* mengalami penurunan. Adapun untuk tanah yang ditambah bahan stabilisasi plastik mengalami penurunan nilai CBR baik *unsoaked* dan *soaked*, penurunan nilai CBR terkecil terhadap tanah asli ada pada campuran tanah + plastik 7% pada masa pemeraman 1 hari dengan nilai CBR *unsoaked* 4,80 % dan 2,92% pada CBR *soaked*. Sedangkan tanah yang ditambah dengan kertas mengalami kenaikan nilai CBR, kenaikan nilai CBR terbesar terhadap tanah asli ada pada campuran tanah + kertas 8% pada masa pemeraman 11 hari, mendapat nilai sebesar 10,73% pada CBR *unsoaked* dan 7,08% pada CBR *soaked*. Dan tanah yang ditambah dengan penggabungan limbah plastik dan kertas mengalami kenaikan nilai CBR, kenaikan nilai CBR terbesar terhadap tanah asli ada pada campuran tanah + plastik 10% + kertas 8% pada masa pemeraman 11 hari, dengan nilai sebesar 8,80% pada CBR *unsoaked* dan sebesar 6,45% pada CBR *soaked*.
4. Berdasarkan pengujian *California Bearing Ratio* (CBR), campuran yang optimum dalam meningkatkan daya dukung tanah ada pada campuran tanah + limbah kertas 8% pada masa pemeraman 11 hari mendapat nilai sebesar 10,73% pada CBR *unsoaked* dan 7,08% pada CBR *soaked* dan pada campuran tanah + limbah plastik 10% + limbah kertas 8% pada masa pemeraman 11 hari,

dengan nilai sebesar 8,80% pada CBR *unsoaked* dan sebesar 6,45% pada CBR *soaked*. Meskipun nilai CBR naik setelah ditambah bahan stabilisasi, nilai tersebut masih belum memenuhi syarat nilai CBR sebagai tanah dasar untuk jalan tol karena nilai CBR *soaked* masih di bawah 10%. Pada pengujian *attemberg limit* campuran yang optimum dalam menurunkan nilai indeks plastisitas ada pada campuran tanah + limbah plastik 15% + limbah kertas 10% dengan nilai indeks plastis sebesar 13,69%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASTM D1883, *Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory Compacted Soils*: ASTM International, United State, 1987.
- [2] ASTM D1556, *Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by the SandCone Method*, ASTM International, West Conshohocken, 1987.
- [3] ASTM D2216, *Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil*, ASTM International, United State, 1980.
- [4] ASTM D422, *Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*, ASTM International, United State, 1972.
- [5] ASTM D4318, *Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index Soils*, United State, 2005.
- [6] H.A.R. Putra & J.G Praditya, “Perbaikan Tanah Lempung Lunak Dengan Pemanfaatan Limbah Rumah Tangga”, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang, Juli. 2024.
- [7] B. M. Das & K. Sobhan, *Principles of Geotechnical Engineering Ninth Edition*, Amerika Serikat: RPK Editorial Services, Inc, 2018.
- [8] H. C. Hardiyatmo, *Mekanika Tanah I*, Edisi keempat, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2006.
- [9] J. S. Akbar, “Ratio Nilai Soaked Dan Unsoaked CBR Subgrade Terhadap Tebal Perkerasan Runway Bandara Malikussaleh Lhokseumawe”, *Teras Jurnal*, vol.1, no.1, hh 262 – 271, 2011.