

ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH GYPSUM DAN GEOCELL DARI BOTOL PLASTIK TERHADAP NILAI CBR PADA TANAH DASAR

Niken Ayu Hapsari¹, Dandung Novianto²

Mahasiswa Program Studi D-IV Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang²

Email: niken8594@gmail.com, dandung.novianto@polinema.ac.id

ABSTRAK

Tanah dasar pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Probolinggo–Banyuwangi Paket 2, khususnya di STA 16+650 – 16+750, memiliki daya dukung yang rendah dengan nilai CBR Point di bawah 6%, sehingga tidak memenuhi standar yang disyaratkan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perbaikan tanah dasar melalui metode stabilisasi kimiawi menggunakan limbah gypsum dan perkuatan mekanis dengan Geocell yang terbuat dari limbah botol plastik. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen di laboratorium dengan pendekatan kuantitatif. Variasi penambahan limbah gypsum yang diuji adalah 10%, 12%, dan 14%, sedangkan Geocell dibuat dengan ketinggian 5 cm dan 10 cm. Parameter utama untuk mengukur peningkatan daya dukung adalah nilai CBR (*California Bearing Ratio*) yang diuji menggunakan metode CBR Model skala laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan tanah asli tergolong klasifikasi A-7-5(1) (tanah berlempung) dengan nilai CBR model sebesar 16,26%. Penambahan limbah gypsum pada kadar optimum 10,73% mampu meningkatkan nilai CBR menjadi 22,50%. Sementara itu, penggunaan Geocell 10 cm lebih efektif, yang mampu meningkatkan nilai CBR menjadi 26,78%. Kombinasi paling efektif, yaitu pada penambahan limbah gypsum 10,73% dengan Geocell 10 cm, yang meningkatkan nilai CBR secara signifikan hingga mencapai 32,57%, atau mengalami kenaikan sebesar 100,31% dari nilai CBR model tanah asli. Hasil ini membuktikan bahwa kombinasi dari stabilisasi limbah gypsum dan penggunaan Geocell dari limbah botol plastik merupakan solusi yang sangat efektif untuk meningkatkan daya dukung tanah dasar.

Kata kunci : Tanah Dasar; Stabilisasi; Gypsum; Geocell; CBR

ABSTRACT

The subgrade soil at the Probolinggo–Banyuwangi Toll Road Project, specifically at STA 16+650 – 16+750, has low bearing capacity with a CBR Point value below 6%, which does not meet the required standards. This research aims to analyze the effect of subgrade improvement through chemical stabilization methods using gypsum waste and mechanical reinforcement with Geocells from plastic bottle waste. The research method used is a laboratory experiments with a quantitative approach. The variations of gypsum waste added that were tested are 10%, 12%, and 14%, while the Geocell was made with heights of 5 cm and 10 cm. The main parameter to measure the improvement of bearing capacity was the California Bearing Ratio (CBR) tested using a laboratory-scale CBR model method. The results show that the original soil was classified as A-7-5(1) (clayey soil) with a model CBR value of 16.26%. The addition of gypsum waste at an optimum content of 10.73% was able to increase the CBR value to 22.50%. Meanwhile, the use of a 10 cm geocell reinforcement is more effective, increasing the CBR value to 26.78%. The most effective combination was the addition of 10.73% gypsum waste combined with 10 cm geocell reinforcement, which significantly increases the CBR value to 32.57%, representing an improvement of 100.31% from the original soil CBR value. These results proves that the combination of gypsum waste stabilization and geocell reinforcement made from plastic bottle waste is a highly effective solution to enhance the load-bearing capacity of subgrade soil.

Keywords : Soil Subgrade; Stabilization; Gypsum; Geocell; CBR

1. PENDAHULUAN

Tanah merupakan elemen penting dalam struktur fondasi bangunan. Bangunan dapat berdiri dengan kokoh dan stabil diatas tanah yang memiliki daya dukung tinggi. Namun tidak

semua jenis tanah memiliki daya dukung yang tinggi contohnya seperti tanah lempung. Tanah lempung memiliki sifat kohesif yang membuat tanah tersebut sangat keras dalam keadaan kering dan sangat mudah dipadatkan

(dibentuk) ketika dalam keadaan basah. Tanah lempung juga sangat sensitif jika terdapat perubahan kadar air karena mempengaruhi kembang susut dari tanah yang mengakibatkan tanah tersebut tidak stabil dan dapat menimbulkan kerusakan fondasi seperti fondasi terangkat, membuat jalan bergelombang, dan kerusakan lainnya [1]. Oleh karena itu, perlu dilakukan stabilisasi tanah untuk memperbaiki dan meningkatkan kualitas dari tanah lempung agar dapat memenuhi suatu standar tertentu. Stabilisasi tanah dalam penelitian ini menggunakan metode kimiawi dengan memanfaatkan zat kimia yang ada pada limbah gypsum.

Terdapat beberapa penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa penggunaan limbah gypsum dapat meningkatkan daya dukung tanah lempung berdasarkan hasil uji CBR yang meningkat dan nilai *Swelling* yang berubah dari *High Swelling* menjadi *Medium Swelling* [2]. Adapun penelitian lainnya yang menyatakan bahwa penggunaan limbah gypsum pada perbaikan tanah lempung mampu meningkatkan daya dukung dari tanah tersebut sebagai tanah timbunan dasar [5]. Selain itu, terdapat penelitian yang menyatakan bahwa penggunaan Geocell pada tanah dasar berupa tanah liat merah dapat meningkatkan kekakuan dan kekuatan dari tanah tersebut [6]. Oleh karena itu, penulis memilih menggunakan limbah gypsum sebagai bahan stabilisasi kimiawi dan Geocell inovatif dari limbah botol plastik sebagai stabilisasi mekanisnya. Tujuan dari kedua metode tersebut dilakukan adalah untuk mengetahui pengaruh dari penggunaan limbah gypsum dan Geocell dari limbah botol plastik terhadap tanah lempung dengan menggunakan parameter nilai CBR yang berasal dari pengujian CBR Model. Limbah gypsum atau gypsum merupakan mineral yang banyak digunakan dalam dunia konstruksi. Mineral ini adalah mineral alami yang masih melimpah ketersediannya. Mineral ini banyak mengandung kalsium (Ca) yang dapat mengikat tanah organik sehingga dapat mengurangi keretakan pada tanah lempung [8]. Selain itu tidak menimbulkan pencemaran udara, tahan api, dan tahan deteriorasi oleh faktor biologis serta tahan terhadap zat kimia [8].

Tanah asli yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Proyek Pembangunan Jalan Tol Probolinggo – Banyuwangi Paket 2 Ruas Kraksaan – Paiton tepatnya di STA 16+650 – 16+750. Tanah di lokasi tersebut merupakan tanah lempung yang memiliki Nilai CBR Point dibawah 6% dari hasil pengujian DCP langsung di lokasi. Yang dimana hal tersebut tidak sesuai dengan standar minimum kepadatan tanah pada Spesifikasi Umum Jalan Bebas Hambatan dan Jalan Tol oleh Direktorat Jendral Bina Marga Tahun 2020.

Pada penelitian ini menggunakan persentase 10%, 12%, dan 14% berdasarkan berat benda uji. Dengan menggunakan masa peram selama 1, 4, dan 11 hari. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari penambahan limbah gypsum terhadap tanah lempung.

2. METODE

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan melakukan serangkaian pengujian untuk memperoleh data. Data yang dihasilkan dari serangkaian pengujian tersebut yang nantinya akan dijadikan parameter untuk menentukan klasifikasi tanah berdasarkan sistem AASHTO dan indeks dari pengaruh penambahan limbah gypsum dan Geocell. Berikut ini adalah serangkaian pengujian yang dilakukan:

1. Pengujian Sifat Fisik Tanah Asli berupa Kadar Air, Berat Isi, Berat Jenis, Analisa Ukuran Butiran, Batas – batas Atterberg.
2. Pengujian Sifat Mekanis Tanah Asli berupa Pemadatan Modified dan CBR Laboratorium.
3. Pengujian Sifat Fisik yaitu batas – batas Atterberg dan Sifat Mekanis yaitu Pemadatan Modified dan CBR Laboratorium untuk tanah asli yang ditambah limbah gypsum.
4. Pengujian CBR Model untuk Tanah Asli dan Limbah Gypsum.
5. Pengujian CBR Model untuk Tanah Asli, Limbah Gypsum, dan Geocell.

Pengujian sifat fisik dan mekanis untuk tanah menggunakan standar SNI yang berlaku. Serangkaian pengujian diatas dilakukan untuk mengetahui kelompok tanah berdasarkan klasifikasi AASHTO dan menggunakan persamaan untuk menentukan Group Index (GI) dari tanah asli beserta kalsifikasinya seperti pada **Persamaan 1** dan **Tabel 1** berikut ini.

Tabel 1. Klasifikasi Nilai GI berdasarkan AASHTO

Nilai GI (<i>Group Index</i>)	Keterangan <i>Subgrade</i>
0 – 1	Sangat Baik (<i>Good</i>)
2 – 4	Baik/Cukup (<i>Fair</i>)
5 – 9	Buruk (<i>Poor</i>)
10 – 20	Sangat Buruk (<i>Very Poor</i>)

Sumber : (AASHTO, 1978 dalam [4])

$$GI = (F - 35)[0,2 + 0,005(LL - 40)] + 0,01(F - 15)(PI - 10) \quad (1)$$

Dimana :

- F = Persentase butiran yang lolos ayakan No. 200
 LL = Batas Cair (LL)
 PI = Indeks Plastisitas

Serta menganalisis nilai Indeks Plastisitas (IP) / *Plasticity Index* (PI) dengan menggunakan **Tabel 2** untuk menentukan sifat dari tanah asli.

Tabel 2. Batasan Nilai Indeks Plastisitas beserta Macam Tanahnya

PI	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
0	Non plastis	Pasir	Non kohesif
< 7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesif sebagian
7 – 17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesif
>17	Plastisitas tinggi	Lempung	kohesif

Sumber : (Hardiyatmo, 2010) [3]

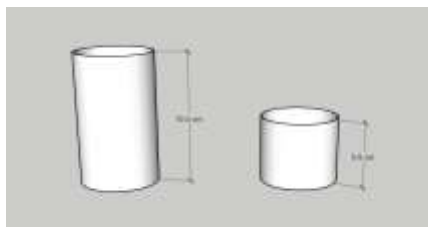
Selain itu juga menganalisis Potensi Pengembangan (*Swelling*) seperti pada **Tabel 3** berikut ini.

Tabel 3. Hubungan Indeks Plastisitas dengan Potensi Pengembangan

Swelling Potential (%)	Swelling Degree
0 – 1,5	Low
1,5 – 5	Medium
5 – 25	High
>25	Very High

Sumber : (Rinawati, 2022) [2]

Pengujian CBR Model diasumsikan sebagai pengujian CBR Lapangan yang dilakukan didalam laboratorium. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari penambahan limbah gypsum dan penggunaan Geocell jika dilakukan di lapangan. Penambahan limbah gypsum hanya menggunakan persentase paling optimum yang didapatkan dari grafik perbandingan OMC dan persentase limbah gypsum pada pengujian Pemadatan Modified. Penggunaan Geocell yang berasal dari botol bekas berukuran 600 ml yang dipotong setinggi 5 cm dan 10 cm seperti pada **Gambar 2**, lalu dirangkai membentuk cetakan 1 x 1 meter dengan tinggi 35 cm seperti pada **Gambar 3** lalu diasumsikan tinggi tanah didalam cetakan.



Gambar 1 Bentuk Potongan Botol Plastik



Gambar 2 Pemasangan Geocell pada Cetakan

Perhitungan CBR Laboratorium dan CBR Model menggunakan **Persamaan (3)** sebagai berikut:

$$CBR = \frac{\text{Beban Penetrasi}}{\text{Beban Standar}} \times 100\% \quad (3)$$

Dimana :

Beban Penetrasi (Pt) = Nilai beban pada penetrasi 2,5 mm dan 5,0 mm

Beban Standar (Ps) = Pembagi beban terkoreksi yang secara berurutan 1350,08 Kg untuk penetrasi 2,5 mm dan 2035,32 Kg untuk penetrasi 5,0 mm

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Sifat Fisik dari Tanah Asli serta Klasifikasi Sistem AASHTO

Pengujian sifat fisik menggunakan sampel tanah tidak terganggu (*undisturb*) dari lokasi pengambilan tanah asli. Berikut ini adalah hasilnya:

Tabel 4. Hasil Pengujian Sifat Fisik Tanah Asli

Pengujian	Simbol	Satuan	Hasil
Kadar Air	w	%	30,37
Berat Isi Tanah	γ	Gr/cm ³	1,67
Berat Jenis Tanah	Gs	-	2,65
Batas Plastis	PL	%	33,75
Batas Cair	LL	%	45,50
Indeks Plastisitas	IP	%	11,75
Kerikil (Lolos Ayakan No. 4)	-	%	2,71
Pasir Kasar (Lolos Ayakan No. 10)	-	%	30,87
Pasir Sedang (Lolos Ayakan No. 40)	-	%	14,35
Pasir Halus (Lolos Ayakan No. 100)	-	%	15,34
Lanau/ Lempung (Lolos Ayakan No. 200)	-	%	36,73

$$\begin{aligned}
 GI &= (F - 35)[0,2 + 0,005(LL - 40)] + 0,01(F - 15)(PI - 10) \\
 &= (36,73 - 35)[0,2 + 0,005(45,50 - 40)] + 0,01 \\
 &\quad (36,73 - 15)(11,75 - 10) \\
 &= 0,77 \approx 1
 \end{aligned}$$

Dari **Tabel 4** diatas, tanah asli dapat dikelompokkan sebagai tanah kelompok A-7-5(1) berdasarkan AASHTO, dengan tipe material dominan tanah berlempung dan berdasarkan **Tabel 1** memiliki penilaian baik jika digunakan sebagai tanah dasar. Namun tetap harus dilakukan stabilisasi tanah dikarenakan memiliki nilai IP 11,75% yang termasuk kedalam macam tanah lempung berlanau dengan tingkat plastisitas sedang berdasarkan **Tabel 2**. Tanah dengan tingkat plastisitas sedang perlu dilakukan stabilisasi untuk mengurangi resiko penurunan daya dukung akibat adanya perubahan kadar air.

Hasil Pengujian Sifat Mekanis dari Tanah Asli

Berikut ini adalah hasil pengujian sifat mekanis dari tanah asli yaitu sebagai berikut:

Tabel 5. Hasil Pengujian Pemadatan Modified Tanah Asli

Pemadatan Modified	Masa Peram (Hari)	OMC (%)	MDD (Gr/cm ³)
Tanah Asli	1	22,1	1,473
	4	22,7	1,480
	11	23,5	1,457

Dari **Tabel 5** diatas dapat diketahui kadar air optimum dari masa peram 1 hari yaitu sebesar 22,1%, 4 hari sebesar 22,7%, dan 11 hari sebesar 23,5%. Selain itu didapatkan nilai kepadatan kering maksimum pada masa peram 1 hari yaitu sebesar 1,473 gr/cm³, 4 hari sebesar 1,480gr/cm³, dan 11 hari sebesar 1,457 gr/cm³.

Tabel 6. Rekapitulasi Hasil Pengujian CBR Laboratorium Tanah Asli

CBR	Hari	CBR Tanpa Rendaman (%)		CBR Rendaman (%)	
		Pen. 2,5 mm	Pen. 5 mm	Pen. 2,5 mm	Pen. 5 mm
Tanah Asli	1	9,89	10,69	1,21	1,35
	4	10,67	11,42	2,40	2,47
	11	11,04	11,23	1,05	1,10

Dari **Tabel 6** diatas didapatkan hasil pengujian CBR Lab Tanpa Rendaman paling kecil senilai 9,89% pada masa peram 1 hari dan hasil pengujian CBR Lab Rendaman paling kecil senilai 1,05% pada masa peram 11 hari. Dan dapat disimpulkan bahwa tanah asli sangat rentan jika terdapat perubahan kadar air.

Hasil Pengujian Sifat Fisik dan Mekanis dari Tanah Asli + Limbah Gypsum

Berikut ini adalah hasil pengujian sifat fisik yaitu batas – batas Atterberg dan sifat mekanis yaitu pemadatan modified serta CBR Laboratorium dari tanah asli + limbah gypsum sejumlah 10%, 12%, dan 14%.

Tabel 7. Hasil Pengujian Batas – Batas Atterberg Tanah Asli + Limbah Gypsum

Persentase	Batas Cair (LL)	Batas Plastis (PL)	Indeks Plastisitas (IP)
TA	45,50	33,75	11,75
TA + Limbah Gypsum 10%	43,30	33,34	9,96
TA + Limbah Gypsum 12%	37,30	30,59	6,71
TA + Limbah Gypsum 14%	35,70	27,97	7,73

Dari **Tabel 7** diatas dapat disimpulkan bahwa terdapat perubahan nilai IP seiring bertambahnya persentase limbah gypsum. Hal tersebut dipengaruhi oleh kandungan kalsium pada limbah gypsum yang mengurangi tingkat plastisitas tanah serta meningkatkan daya ikat antar partikel pada tanah, sehingga membuat tingkat plastisitas tanah lempung mengalami penurunan yaitu dari 11,75% menjadi 6,71%.

Tabel 8. Hasil Pnegujian Pemadatan Modified untuk Tanah Asli + Limbah Gypsum

Pemadatan Modified	Masa Peram (Hari)	OMC (%)	MDD (Gr/cm ³)
TA	1	22,1	1,473
	4	22,7	1,480
	11	23,5	1,457
TA + Limbah Gypsum 10%	1	18,1	1,498
	4	17,6	1,481
	11	17,1	1,541
TA + Limbah Gypsum 12%	1	17,8	1,512
	4	17,1	1,552
	11	17	1,532
TA + Limbah Gypsum 14%	1	16,1	1,549
	4	15,5	1,525
	11	15,8	1,508

Dari **Tabel 8** diatas dapat disimpulkan bahwa penambahan limbah gypsum terhadap tanah asli dapat memberikan perubahan, yaitu menurunkan kadar air optimum dan meningkatkan nilai kepadatan kering maksimum.

Berikut ini adalah tabel rekap optimum dari persentase dan OMC berdasarkan masa peram untuk mencari persentase optimum yang nantinya akan digunakan pada pengujian CBR Model.

Tabel 9. Hasil Rekap Optimum dari Persentase Limbah Gypsum dan OMC Per Masa Peram

Masa Peram	Persentase Optimum	OMC Optimum
1	10,9	18
4	10,5	17,6
11	11	17,1

Dari **Tabel 9** diatas lalu dibuat grafik perbandingan antara OMC Optimum dengan Persentase limbah optimum, untuk nantinya dicari titik puncaknya seperti grafik dibawah ini.



Gambar 4 Perbandingan OMC dan Persentase limbah yang paling Optimum

Dari **Gambar 4** diatas didapatkan bahwa persentase optimum yang nantinya akan digunakan pada pengujian CBR Model adalah sebesar 10,73%.

Berikut ini adalah hasil pengujian CBR Laboratorium tanpa rendaman (*unsoaked*) dan rendaman (*soaked*).

Tabel 10. Hasil Pengujian CBR Lab Tanpa Rendaman Tanah Asli + Limbah Gypsum

Persentase	Har i	CBR Tanpa Rendaman (%)	
		Pen. 2,5 mm	Pen. 5 mm
TA	1	9,89	10,69
	4	10,67	11,42
	11	11,04	11,23
TA + Limbah Gypsum 10%	1	38,03	38,32
	4	40,74	44,07
	11	37,81	41,15
TA + Limbah Gypsum 10,73%	1	37,17	37,78
	4	38,95	41,16
	11	36,45	39,13
TA + Limbah Gypsum 12%	1	35,66	36,82
	4	35,85	38,84
	11	34,07	35,62
TA + Limbah Gypsum 14%	1	40,92	42,92
	4	48,66	49,97
	11	42,44	43,36

Tabel 11. Hasil Pengujian CBR Lab dengan Rendaman Tanah Asli + Limbah Gypsum

Persentase	Hari	CBR Rendaman (%)		
		Pen. 2,5 mm	Pen. 5 mm	Swelling (%)
TA	1	1,21	1,35	7,4
	4	2,40	2,47	8,5

TA + Limbah Gypsum 10%	11	1,05	1,10	11,1
	1	5,78	5,93	2,6
	4	8,04	8,13	3,1
	11	7,78	7,96	4,5
TA + Limbah Gypsum 12%	1	6,52	6,63	1,9
	4	9,55	9,78	2,8
	11	12,70	12,77	3,7
	1	7,00	7,25	1,5
TA + Limbah Gypsum 14%	4	9,81	10,15	2,6
	11	12,37	12,46	3,1

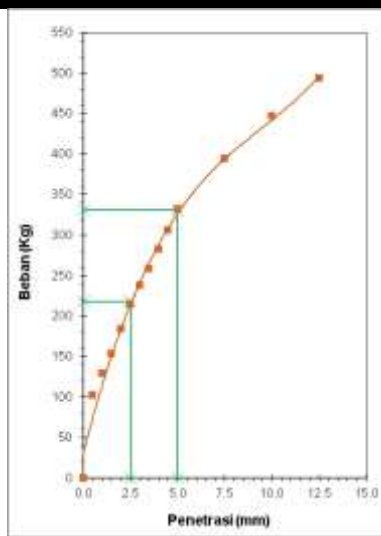
Dari **Tabel 10** diatas dapat disimpulkan bahwa nilai CBR tanpa rendaman mengalami kenaikan seiring bertambahnya persentase limbah gypsum. Namun jika dilihat dari masa peram, untuk nilai CBR tanpa rendaman mengalami kenaikan pada masa peram 1 hari hingga 4 hari, sedangkan pada 11 hari mengalami penurunan. Lalu terdapat persentase 10,73% yang didapat dari hasil interpolasi nilai CBR 10% dengan 12%. Dari **Tabel 10**, persentase tersebut mengalami kenaikan dibandingkan dengan persentase 12%.

Untuk nilai CBR rendaman pada **Tabel 11** terus mengalami kenaikan pada tiap penambahan persentase limbah gypsum. Hanya saja berbeda pada campuran persentase 10%, dari masa rendaman 1 hari menuju 4 hari mengalami kenaikan, tetapi pada masa rendaman 11 hari mengalami penurunan. Sedangkan untuk persentase 12% dan 14% tidak mengalami penurunan seperti pada persentase 10%.

Selain itu, terdapat perubahan nilai swelling yang semakin menurun seiring bertambahnya persentase limbah gypsum. Hal tersebut dipengaruhi oleh limbah gypsum yang berperan sebagai bahan pengisi (*filler*) sehingga pori-pori tanah berkurang dan mengurangi potensi penyerapan air. Berdasarkan **Tabel 3**, dengan penambahan limbah gypsum mampu mengubah derajat pengembangan tanah asli dari *High Swelling* menjadi *Medium Swelling*.

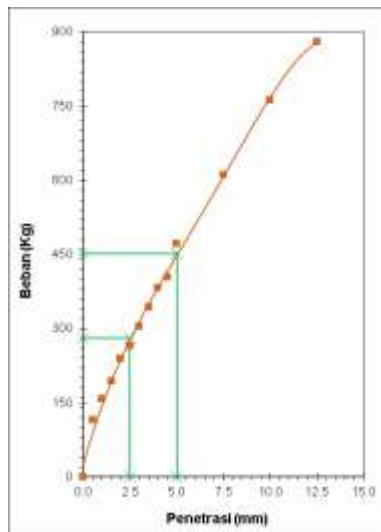
Hasil Pengujian CBR Model dari Tanah Asli + Limbah Gypsum Optimum + Geocell

Berikut ini adalah hasil pengujian CBR Model yang sudah dilakukan di Laboratorium.



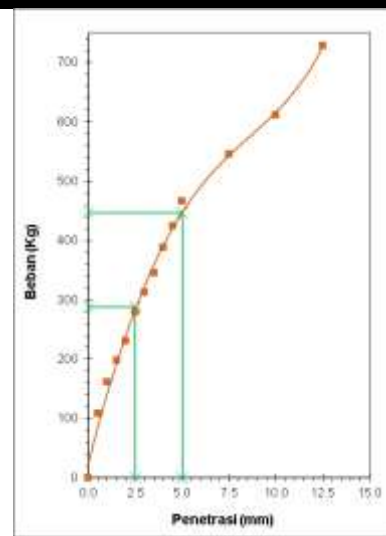
Gambar 8. Hasil Pengujian CBR Model untuk Tanah Asli

Dari **Gambar 8** diatas untuk penetrasi 2,5 mm didapat nilai beban penetrasi (P_t) = 218 Kg, beban standar (P_s) = 1350,08 Kg, dihasilkan nilai CBR = 16,15%. Sedangkan untuk penetrasi 5 mm didapat nilai beban penetrasi (P_t) = 331 Kg, beban standar (P_s) = 2035,32 Kg, dihasilkan nilai CBR = 16,26%.



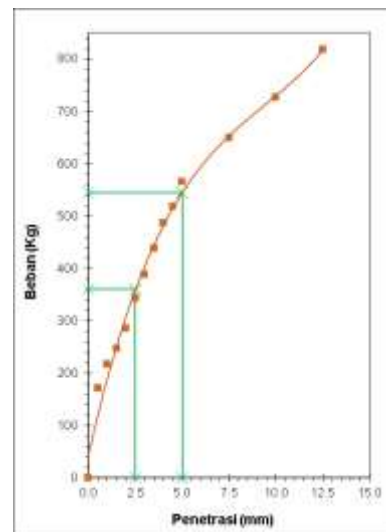
Gambar 9 Hasil Pengujian CBR Model untuk Tanah Asli yang ditambah Limbah Gypsum 10,73%

Dari **Gambar 9** diatas untuk penetrasi 2,5 mm didapat nilai beban penetrasi (P_t) = 280 Kg, beban standar (P_s) = 1350,08 Kg, dihasilkan nilai CBR = 20,74%. Sedangkan untuk penetrasi 5 mm didapat nilai beban penetrasi (P_t) = 452 Kg, beban standar (P_s) = 2035,32 Kg, dihasilkan nilai CBR = 22,21%.



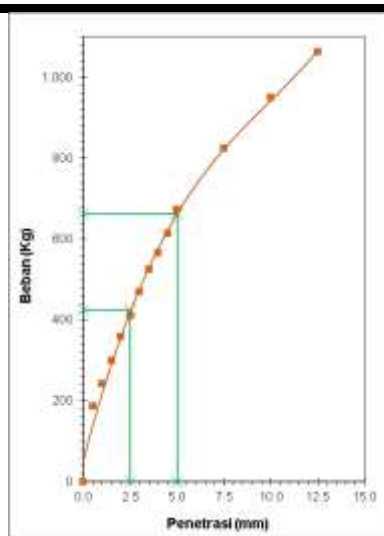
Gambar 10 Hasil Pengujian CBR Model untuk Tanah Asli menggunakan Geocell setinggi 5 cm

Dari **Gambar 10** diatas untuk penetrasi 2,5 mm didapat nilai beban penetrasi (P_t) = 288 Kg, beban standar (P_s) = 1350,08 Kg, dihasilkan nilai CBR = 21,33%. Sedangkan untuk penetrasi 5 mm didapat nilai beban penetrasi (P_t) = 447 Kg, beban standar (P_s) = 2035,32 Kg, dihasilkan nilai CBR = 21,96%.



Gambar 11 Hasil Pengujian CBR Model untuk Tanah Asli menggunakan Geocell setinggi 10 cm

Dari **Gambar 11** diatas untuk penetrasi 2,5 mm didapat nilai beban penetrasi (P_t) = 360 Kg, beban standar (P_s) = 1350,08 Kg, dihasilkan nilai CBR = 26,67%. Sedangkan untuk penetrasi 5 mm didapat nilai beban penetrasi (P_t) = 545 Kg, beban standar (P_s) = 2035,32 Kg, dihasilkan nilai CBR = 26,78%.



Gambar 12. Hasil Pengujian CBR Model untuk Tanah Asli dengan Limbah Gypsum 10,73% dan Geocell 10 cm

Dari **Gambar 12** diatas untuk penetrasi 2,5 mm didapat nilai beban penetrasi (P_t) = 425 Kg, beban standar (P_s) = 1350,08 Kg, dihasilkan nilai CBR = 31,48%. Sedangkan untuk penetrasi 5 mm didapat nilai beban penetrasi (P_t) = 663 Kg, beban standar (P_s) = 2035,32 Kg, dihasilkan nilai CBR = 32,57%.

Berikut ini adalah rekapitulasi nilai CBR dari hasil pengujian CBR Model.

Tabel 12 Rekapitulasi Hasil Pengujian CBR Model

Persentase	Nilai CBR Model	
	Pen. 2,5 mm	Pen. 5 mm
Tanah Asli	16,15	16,26
Tanah Asli + LG 10,73%	20,74	22,21
Tanah Asli + Geocell 5 cm	21,33	21,96
Tanah Asli + LG 10,73% + Geocell 5 cm	26,22	26,53
Tanah Asli + Geocell 10 cm	26,67	26,78
Tanah Asli + LG 10,73% + Geocell 10 cm	31,48	32,57

Dari **Tabel 12** diatas dapat disimpulkan bahwa penambahan limbah gypsum dan Geocell mampu meningkatkan nilai CBR tanah asli secara signifikan, dibuktikan dari nilai CBR tanah asli 16,26% lalu meningkat pada kombinasi tanah asli yang ditambah limbah gypsum 10,73% dan Geocell 10 cm menjadi 32,57%.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang sudah dilakukan pada pembahasan sebelumnya maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Penambahan limbah gypsum 10%, 12% dan 14% terbukti dapat meningkatkan nilai CBR Laboratorium tanah asli yang berasal dari Proyek Pembangunan Jalan Tol Probolinggo-Banyuwangi Paket 2 tepatnya di STA 16+650-16+750.
2. Penggunaan limbah gypsum optimum sejumlah 10,73% dan Geocell dapat meningkatkan nilai CBR pada tanah asli yang berasal dari Proyek Pembangunan Jalan Tol Probolinggo-Banyuwangi Paket 2 tepatnya di STA 16+650-16+750.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rizekika Arny Wijayanti, Qunik Wiqoyah, "Efektifitas Gypsum Sebagai Bahan Stabilisasi Terhadap Nilai Penurunan Konsolidasi Subgrade Jalan Sukodono Sragen," Solo, 2017.
- [2] T. Y. Rinawati, "Pengaruh Penambahan Limbah Gypsum Terhadap Nilai CBR dan Nilai Swelling Tanah Lempung (Effect Of Added Of Gypsum Waste On CBR Value And Swelling Value of Clay Soil)," Yogyakarta, 2022.
- [3] H. C. Hardiyatmo, Mekanika Tanah 1, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2010.
- [4] Braja, M Das, diterjemahkan oleh Noor Endah dan Indrasurya B. Mochtar, Mekanika Tanah (Prinsip - prinsip Rekayasa Geoteknis), Jakarta: Erlangga, 1995.
- [5] Irwandy Muzaidi, Muhammad Fitriansyah, Elia Angraini, Zainul Azmul Fauza,, "Stabilisasi Tanah Lempung Kota Banjarmasin dengan Penambahan Limbah Gypsum sebagai Timbunan Dasar (Subgrade)," dalam *Seminar Nasional Teknik Sipil UMS*, Barito Kuala, 2024.
- [6] X. W. Luo, Z. Lu, J. B. Zhang, H. L. Yao, "Study on performanse of geocell-reinforced red clay subgrade," *Geosynthetics International*, vol. Vol. 31, no. 6, pp. 968 - 980, 2024.
- [7] J. Bowles, Sifat - sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah), Jakarta: Erlangga, 1991.
- [8] R. Edi Purwadi, Sadan Widarmana, Paribotro Sutigno, "Sifat Fisis Mekanis Gyps dari Sabut Kelapa," IPB University, Bandung, 1993.