

## PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH ABU SEKAM DAN GEOTEXTILE DARI LIMBAH BOTOL AIR MINERAL TERHADAP NILAI CBR

**Veiron Rabbani Athallah Shidqi<sup>1,\*</sup>, Dandung Novianto<sup>2</sup>**

Mahasiswa Program Studi D-IV Manajemen Rekayasa Konstruksi, Politeknik Negeri Malang 1, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang <sup>2</sup>

Email: [veironrabbani@gmail.com](mailto:veironrabbani@gmail.com), [dandung.novianto@polinema.ac.id](mailto:dandung.novianto@polinema.ac.id)

### ABSTRAK

Tanah dasar dengan daya dukung rendah menjadi salah satu penyebab utama kerusakan jalan, terutama di wilayah pedesaan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan abu sekam dan geotekstil dari limbah botol air mineral terhadap nilai CBR (California Bearing Ratio) tanah. Sampel tanah diambil dari Desa Sidorejo, Kecamatan Pagelaran, Kabupaten Malang. Variasi abu sekam digunakan sebesar 4%, 8%, dan 12% terhadap berat tanah kering, dengan masa pemeraman 1, 4, dan 11 hari. Selain itu, digunakan geotekstil hasil anyaman limbah botol plastik dengan lebar anyaman 0,75 cm dan 1,00 cm yang dikombinasikan dengan abu sekam pada uji model skala laboratorium. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan abu sekam dapat meningkatkan nilai CBR, dengan nilai optimum pada kadar 8,8%. Kombinasi abu sekam dan geotekstil memberikan hasil terbaik, dengan nilai CBR tertinggi dicapai pada kombinasi abu sekam 8,8% dan geotekstil 1,00 cm pada penetrasi 2,5 mm dengan nilai 21.33% dan pada penetrasi 5,0 mm bernilai 21.03%. Penambahan abu sekam juga menurunkan indeks plastisitas dan meningkatkan kepadatan maksimum tanah. Penelitian ini membuktikan bahwa limbah abu sekam dan botol plastik dapat dimanfaatkan sebagai bahan stabilisasi tanah yang efektif dan ramah lingkungan.

**Kata kunci** : tanah dasar, CBR, abu sekam, geotekstil, stabilisasi tanah.

### ABSTRACT

*Low-bearing-capacity subgrade soil is a major cause of road damage, particularly in rural areas. This study investigates the effect of adding rice husk ash and geotextiles made from recycled mineral water bottles on the California Bearing Ratio (CBR) value of soil. Soil samples were collected from Sidorejo Village, Pagelaran District, Malang Regency, with rice husk ash variations of 4%, 8%, and 12% by dry soil weight and curing periods of 1, 4, and 11 days. Geotextiles woven from recycled plastic bottles with weave widths of 0.75 cm and 1.00 cm were combined with rice husk ash for laboratory-scale model tests. Results indicate that rice husk ash improves CBR values, with an optimum value at 8.8%, while the combination of 8.8% rice husk ash and 1.00 cm geotextile produced the highest CBR of 21.33% at 2.5 mm penetration and 21.03% at 5.0 mm penetration. Additionally, rice husk ash reduced the plasticity index and increased the soil's maximum dry density. The findings demonstrate that rice husk ash and recycled plastic bottle waste can serve as effective and eco-friendly soil stabilization materials..*

**Keywords** : subgrade, CBR, rice husk ash, geotextile, soil stabilization.

### 1. PENDAHULUAN

Daya dukung tanah merupakan aspek fundamental dalam konstruksi bangunan sipil seperti gedung, jalan, dan jembatan. Hal ini merujuk pada kemampuan tanah untuk menahan beban tanpa mengalami penurunan atau keruntuhan yang berlebihan. Namun, tidak semua jenis tanah memiliki karakteristik fisis yang baik, sehingga diperlukan upaya perbaikan tanah. Beragam metode stabilisasi telah

digunakan, termasuk penggunaan bahan kimia, material sintetis, dan geotekstil.

Salah satu metode alternatif yang dikembangkan adalah pemanfaatan limbah abu sekam padi. Penelitian Vella Anggreana (2024) [1] menunjukkan bahwa penambahan abu sekam sebanyak 7% dari berat isi kering tanah memberikan hasil yang optimal, namun masih belum memuaskan. Oleh karena itu, pada penelitian lanjutan, digunakan variasi campuran abu sekam sebesar 4%, 8%, dan 12% untuk

mengevaluasi efektivitas yang lebih tinggi. Abu sekam dikenal memiliki kandungan mineral seperti silika dan kalsium oksida, yang bersifat pozzolan. Sifat ini membantu meningkatkan stabilitas tanah serta mengurangi penyerapan air dan potensi perubahan volume tanah, yang kerap menyebabkan retakan dan deformasi. Selain itu, penggunaan abu sekam dinilai lebih ramah lingkungan karena mengurangi ketergantungan pada bahan kimia dan sumber daya alam yang terbatas.

Penelitian ini dilakukan di Desa Sidorejo, Kecamatan Pagelaran, Kabupaten Malang yang sering ditemui jalanan pedesaan yang mengalami kerusakan terutama akibat kurangnya perkuatan pada lapisan tanah dasar. Peneliti mengambil sampel tanah di daerah tersebut tentunya dengan tujuan melakukan perbaikan pada tanah di daerah tersebut menggunakan abu sekam dan geotextile dari limbah botol mineral bekas. Tentunya dengan diambilnya lokasi tersebut dapat membantu para petani padi dan warga sekitar dapat memanfaatkan limbah sekam selain menjadi bahan bakar batu bata merah. Dengan kandungan mineral yang terdapat pada abu sekam dan penambahan geotextile dari botol mineral bekas diharapkan dapat meningkatkan kekuatan tanah seperti pada penelitian sebelumnya.

Sehingga, dari hasil penelitian sebelumnya diharapkan dapat dijadikan referensi dalam pembangunan infrastruktur teknik sipil di daerah lain yang memiliki tanah kurang baik dan melimpahnya sekam padi. Dengan dicampurnya abu sekam dengan geotextile dari limbah botol air mineral terhadap tanah dapat mengalami perubahan nilai daya dukung tanah setelah diberikan abu sekam dan geotextile dari botol air mineral bekas.

## 2. METODE

Penelitian dilakukan melalui uji laboratorium di Laboratorium Mekanika Tanah Politeknik Negeri Malang. Sampel tanah diambil dari Desa Sidorejo, Pagelaran, Kabupaten Malang. Variasi abu sekam yang digunakan adalah 4%, 8%, dan 12% dari berat kering tanah, dengan pemeraman selama 1, 4, dan 11 hari. Geotekstil dari botol plastik didesain dalam dua ukuran lebar anyaman: 0,75 cm dan 1,00 cm.

Pengujian dilakukan meliputi:

- Uji sifat fisik tanah (kadar air, berat isi, berat jenis, batas Atterberg, analisa butiran).
- Uji pemadatan untuk mengetahui nilai OMC dan MDD.
- Uji CBR dalam kondisi unsoaked dan soaked.
- Uji model CBR skala laboratorium untuk kombinasi tanah dengan abu sekam dan geotekstil.

Nilai optimum ditentukan dari hasil optimum OMC dan persentase uji pemadatan.

Abu sekam yang digunakan tentunya terlebih dahulu diayak menggunakan ayakan no. 200 supaya butiran dari abu sekam menjadi lebih halus dan mempermudah saat pencampuran. Selanjutnya penggunaan geotekstil terbuat dari botol bekas berukuran 1,5 L. Kemudian botol bekas tersebut dipanaskan dan dipotong sesuai dengan kebutuhan (1,00 cm dan 0,75 cm). Setelah terpotong maka lembaran plastic tadi dapat dianyam menjadi geotekstil.

**Persamaan (1)** untuk mencari nilai GI sebagai berikut :

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

**Tabel 1** Hubungan Indeks Platisitas dengan derajat pengembangan

Plasticity Indeks (%)	Swelling Potential
0 – 15	Low
10 – 15	Medium
20 – 25	High
>35	Very high

Sumber : (ukroi, Djarwanti, dan Sujandari, 2013)

Dari **Tabel 2. 1** nilai Indeks plastisitas dapat diklasifikasikan menjadi 4 kategori, yaitu tertera pada tabel tersebut. Tabel tersebut menjelaskan tentang nilai Indeks plastisitas berpengaruh terhadap potensi pengembangan tanah.

**Tabel 2** Klasifikasi derajat ekspansif

Swelling potential (%)	Swelling degree
0 – 1,5	Low
1,5 – 5	Medium
5 – 25	High
> 25	Very High

Sumber : (ukroi, Djarwanti, dan Sujandari, 2013)

Perhitungan nilai CBR menggunakan **persamaan (2)** sebagai berikut

$$CBR = \frac{\text{Beban terkoreksi}}{\text{beban standar}} \times 100\%$$

Keterangan:

Beban penetrasi : nilai beban terkoreksi pada penetrasi 2,5mm dan 5,0 mm

Beban standar : nilai beban pada penetrasi 2,5 mm dibagi dengan 1350.08 kg dan pada penetrasi 5,0 mm dibagi dengan 2035.32 kg

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut adalah hasil uji karakteristik tanah asli yang telah dilakukan:

**Tabel 3** Hasil Uji Sifat Fisik Tanah Asli

Pengujian	simbol	satuan	nilai
kadar air	w	%	52.51
berat isi tanah	gt	gr/cm3	1.38

berat jenis tanah	GS	-	2.24
analisa ayakan (lolos saringan No. 200)	-	%	39.69
analisa hidrometer (lolos saringan No. 200)	-	%	72.91
batas Atterberg	IP	-	18.42
klasifikasi jenis tanah menurut AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Official)	-	-	A-7-5

Berdasarkan dari data diatas digunakan data untuk klasifikasi adalah : analisa saringan dengan persentase diatas dan batas batas atterberg (LL,PL, dan IP), data data tersebut dapat dilihat di tabel diatas. Selanjutnya untuk perhitungan GI digunakan **persamaan (1)** dengan hasil berikut:

$$GI = (39,69 - 35) [0,2 + 0,005 (50,15 - 40)] + 0,01 (39,69 - 15) (18,42 - 10)$$

$$GI = 3,254 \sim 3$$

Menurut klasifikasi AASHTO, tanah ini termasuk dalam kelompok A-7-5 (3), yang menunjukkan bahwa tanah mengandung tanah berlempung dengan bersifat biasa hingga jelek. Berikut adalah hasil pengujian batas batas Atterberg menggunakan bahan tambah berupa abu sekam sebagai berikut :

**Tabel 4** Hasil Uji batas Atterberg menggunakan abu sekam

Pengujian Batas Atterberg			
presentase AS	LL	PL	IP
TA + 4%	52.25	34.75	17.50
TA + 8%	56.15	40.20	15.95
TA + 12%	60.25	49.86	10.39

Dari **Tabel 4** menunjukkan jika penambahan abu sekam pada tanah asli menunjukkan pengaruh yang jelas terhadap nilai batas Atterberg, khususnya batas cair (LL), batas plastis (PL), dan indeks plastisitas (IP). Nilai LL dan PL cenderung

meningkat seiring dengan bertambahnya kadar abu sekam. Pada campuran 4% abu sekam, LL tercatat sebesar 52,25% dan PL 34,75%, sedangkan pada 12% abu sekam, LL naik menjadi 60,25% dan PL menjadi 49,86%. Kenaikan ini mengindikasikan bahwa tanah menjadi lebih plastis secara umum. Namun, nilai IP (indeks plastisitas) justru mengalami penurunan, dari 17,50 pada 4% abu sekam menjadi 10,39 pada 12% abu sekam. Ini menunjukkan bahwa meskipun tanah menjadi lebih plastis dalam kisaran kadar air tertentu, rentang plastisitasnya berkurang, yang berarti tanah menjadi kurang sensitif terhadap perubahan kadar air.

Berikut adalah hasil pengujian pemadatan menggunakan bahan stabilisasi abu sekam :

**Tabel 5** Hasil Uji CBR Tanah Asli + Abu Sekam

pengujian proctor Tanah Asli + abu sekam			
benda uji	pemeraman	OMC (%)	MDD (gr/cm3)
TA + 4% AS	1 hari	27	1.347
TA + 8% AS	1 hari	30.6	1.315
TA + 12% AS	1 hari	28	1.293
TA + 4% AS	4 hari	27	1.285
TA + 8% AS	4 hari	29.8	1.341
TA + 12% AS	4 hari	28.5	1.357
TA + 4% AS	11 hari	21.5	1.403
TA + 8% AS	11 hari	22	1.331
TA + 12% AS	11 hari	21.5	1.223

Hasil dari **Tabel 5** menunjukkan bahwa penambahan abu sekam dan waktu pemeraman berpengaruh terhadap nilai kadar air optimum (OMC) dan berat isi kering maksimum (MDD) tanah. Secara umum, penambahan abu sekam cenderung meningkatkan OMC, terutama pada hari ke-1 dan ke-4, di mana OMC tertinggi tercatat pada TA + 8% abu sekam hari ke-1 yaitu 30,6%. Namun, pada pemeraman 11 hari, OMC menurun drastis untuk semua variasi, dengan nilai terendah sebesar 21,5% pada 4% dan 12% abu sekam. Sementara itu, nilai MDD tidak menunjukkan pola yang konsisten, namun beberapa kecenderungan dapat diamati. Pada hari ke-1, MDD berkisar antara 1,293 hingga 1,347 gr/cm<sup>3</sup>. Setelah 4 hari, MDD sedikit meningkat untuk semua variasi, dan nilai tertinggi tercatat pada TA + 12% abu sekam sebesar 1,357 gr/cm<sup>3</sup>. Pada pemeraman 11 hari, nilai MDD untuk 4% dan 8% abu sekam meningkat menjadi 1,403 dan 1,331 gr/cm<sup>3</sup>, namun justru menurun pada campuran 12% abu sekam menjadi 1,223 gr/cm<sup>3</sup>.

**Tabel 6** Hasil Uji CBR Tanah Asli + Abu Sekam

(unsoaked)			
hasil uji CBR laboratorium unsoaked (%)			
benda uji	pemeraman (hari)	pen 2,5 mm	pen 5,00 mm
TA + 4% Abu sekam	1	25.74	23.83

TA + 4% Abu sekam	4	12.41	17.93
TA + 4% Abu sekam	11	26.59	26.29
TA + 8% Abu sekam	1	37.96	32.30
TA + 8% Abu sekam	4	31.66	30.95
TA + 8% Abu sekam	11	29.55	30.96
TA + 8,8% Abu sekam	1	38.03	33.16
TA + 8,8% Abu sekam	4	31.58	30.88
TA + 8,8% Abu sekam	11	30.74	32.34
TA + 12% Abu sekam	1	38.33	36.60
TA + 12% Abu sekam	4	31.26	30.58
TA + 12% Abu sekam	11	35.48	37.88

Berdasarkan hasil optimum presentase yang didapatkan dari hasil optimum uji pemadatan yaitu 8,8% maka didapatkan hasil interpolasi pada **Tabel 6**. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar abu sekam 8,8% memberikan nilai CBR unsoaked tertinggi dibandingkan 8% dan 12% pada semua waktu pemeraman. Pada hari ke-1, kadar 8,8% mencapai 38.03% (2,5 mm) dan 33.16% (5 mm). Nilai ini tetap lebih tinggi pada hari ke-4 dan hanya sedikit menurun pada hari ke-11. Sementara itu, kadar 8% dan 12% menunjukkan nilai yang lebih rendah dan cenderung tidak stabil. Dengan demikian, 8,8% merupakan kadar optimum dalam meningkatkan daya dukung tanah secara konsisten selama pemeraman.

**Tabel 7** Hasil Uji CBR Tanah Asli + Abu Sekam (*soaked*)

benda uji	pemeraman	2.5	5	swelling
TA	1 hari	2.11	2.48	1.13
TA + AS 4%	1 hari	2.37	2.43	1.23
TA + AS 8%	1 hari	2.85	3.07	0.23
TA + AS 12%	1 hari	2.92	3.439	0.95
TA	4 hari	0.41	0.54	1.02
TA + AS 4%	4 hari	1.11	1.43	2.78
TA + AS 8%	4 hari	2.15	2.33	2.16
TA + AS 12%	4 hari	2.97	3.19	2.32
TA	11 hari	0.59	0.84	2.75
TA + AS 4%	11 hari	3.37	3.81	4.54
TA + AS 8%	11 hari	4.81	5.95	2.15
TA + AS 12%	11 hari	4.78	6.46	1.48

Untuk kondisi soaked, campuran 12% abu sekam dengan pemeraman 11 hari menghasilkan nilai CBR sebesar 6,46% dengan nilai swelling paling rendah.

Uji model digunakan cetakan multiplek dengan ukuran 1 x 1 m dengan tinggi 35 cm. Untuk benda uji digunakan tebal

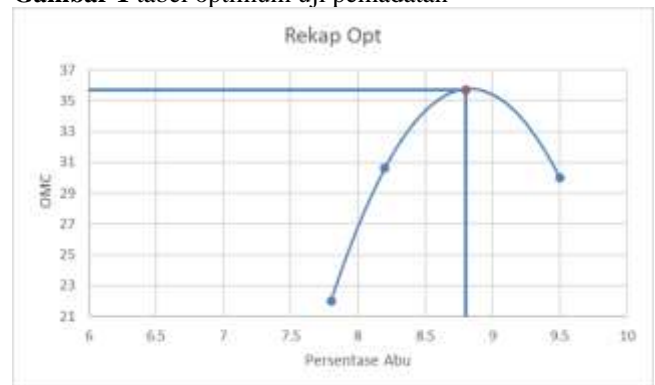
tanah timbunan 20 cm dengan masing masing layer 10 cm. Untuk mencari nilai OMC dan persentase optimal abu sekam digunakan cara sebagai berikut Setiap masa pemeraman dicari hasil optimum untuk kemudian direkap menjadi **Tabel 7** seperti dibawah ini.:

**Tabel 8** Hasil rekapitulasi pemadatan setiap masa pemeraman

pemeraman	Persentase (%)	OMC (%)
1 hari	8.2	30.6
4 hari	9.5	30
11 hari	7.8	22

Setelah didapatkan hasil optimum presentase dan OMC dari setiap masa pemeraman dilakukan rekapitulasi dari hasil optimum setiap masa pemeraman dengan grafik gabungan sebagai berikut:

**Gambar 1** tabel optimum uji pemadatan



Dari **Gambar 1** maka didapatkan hasil optimum presentase abu sekam dengan nilai 8,8% dan untuk OMC didapatkan pada nilai 35,7%.

**Tabel 9** Hasil Uji CBR Model

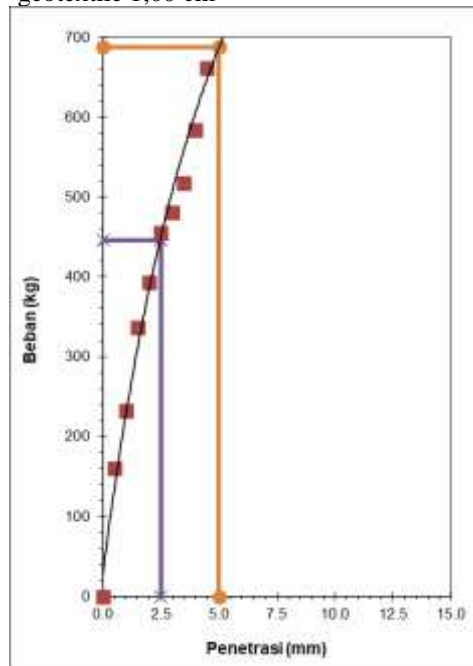
rekapitulasi hasil uji CBR	CBR model	
persentase	2,5 mm	5 mm
tanah asli	6.74	7.86
TA + Abu sekam 8,8%	18.96	20.93
TA + geotex 0,75 cm	7.93	7.96
TA + geotex 1,00 cm	9.85	9.68
TA + abu sekam 8,8% + geo 0,75	20.22	19.70
TA + abu sekam 8,8% + geo 1,00	21.33	21.03

Berdasarkan hasil pengujian CBR model pada **Tabel 9**, diketahui bahwa nilai CBR tertinggi diperoleh pada campuran tanah asli + abu sekam 8,8% + geotekstil 1,00 cm. Kombinasi ini menghasilkan peningkatan daya dukung yang signifikan pada kedua kedalaman penetrasi (0,25 mm dan 0,5 mm) dibandingkan dengan tanah asli maupun variasi tunggal abu sekam atau geotekstil saja. Penambahan abu sekam 8,8% secara mandiri juga meningkatkan nilai CBR dari tanah asli, begitu pula penggunaan geotekstil dengan ketebalan 0,75 cm

dan 1,00 cm. Namun, hasil terbaik diperoleh saat abu sekam dan geotekstil digunakan secara bersamaan, menunjukkan bahwa kombinasi stabilisasi abu sekam dan perkuatan geotextile lebih efektif dalam meningkatkan kekuatan tanah dasar.

Berikut adalah hasil pengujian untuk uji CBR model tanah asli dengan abu sekam 8,8% dan geotextile dari botol bekas dengan ukuran 1,00 cm lebar anyaman :

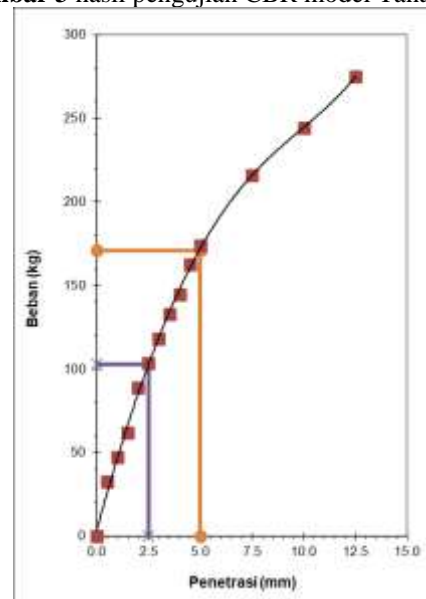
**Gambar 2** hasil pengujian CBR model TA + Abu Sekam + geotextile 1,00 cm



Pada **Gambar 2** didapatkan hasil bacaan yang dibagi dengan nilai konversi menjadi beban terkoreksi. Kemudian beban terkoreksi di masukkan pada tabel untuk didapatkan nilai beban standar. Beban standar pada setiap penetrasi didapatkan dengan cara dilihat pada setiap koordinat 2,5 mm dan 5,0 mm. Sehingga didapatkan pada penetrasi 2,5 mm didapat nilai beban penetrasi (Pt) sebesar 288 dan pada penetrasi 5,0 mm bernilai 428. Sehingga nilai tersebut dibagi dengan beban standar (Ps) pada penetrasi pada 2,5 mm 1350,08 kg dan 5,0 mm 2035,32. Sehingga dari nilai tadi pada beban terkoreksi digunakan **persamaan (2)** untuk didapatkan nilai CBR. Sehingga didapatkan nilai pada penetrasi 2,5 mm 21,33% dan pada penetrasi 5,0 mm bernilai 21,03%.

Kemudian berikut adalah hasil uji CBR model Tanah Asli

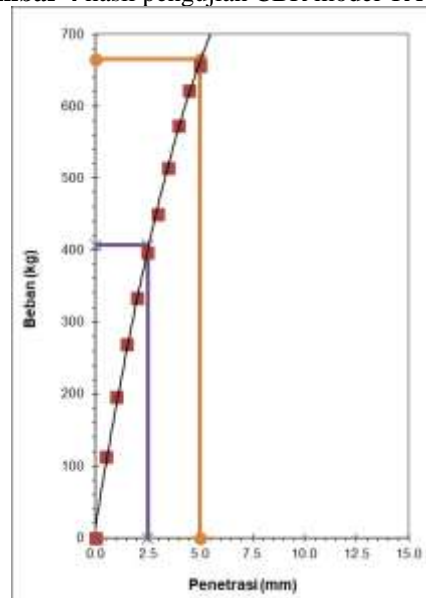
**Gambar 3** hasil pengujian CBR model Tanah Asli



Untuk tanah asli pada **Gambar 3** didapatkan nilai beban terkoreksi (Pt) pada penetrasi 2,5 mm bernilai 91 dan 5,0 mm bernilai 160. Dengan beban standar (Ps) pada penetrasi pada 2,5 mm 1350,08 kg dan 5,0 mm 2035,32. Sehingga jika dimasukkan pada **persamaan (2)** didapatkan nilai CBR pada penetrasi 2,5 mm dan 5,0 mm senilai 6,74 dan 7,86.

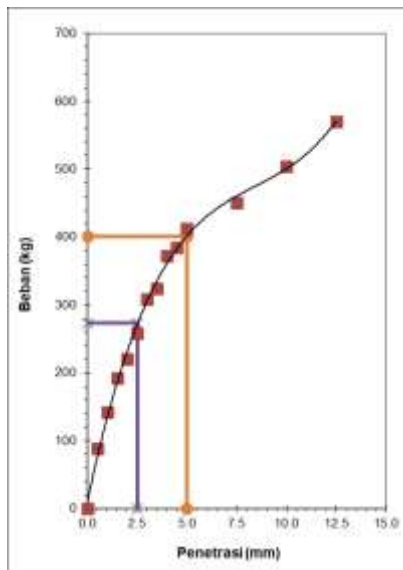
Berikut adalah hasil uji CBR model tanah asli dengan abu sekam 8,8% :

**Gambar 4** hasil pengujian CBR model TA + AS



Untuk tanah asli + abu sekam 8,8 % pada **Gambar 4** didapatkan nilai beban terkoreksi (Pt) pada penetrasi 2,5 mm bernilai 256 dan 5,0 mm bernilai 426. Dengan beban standar (Ps) pada penetrasi pada 2,5 mm 1350,08 kg dan 5,0 mm 2035,32. Sehingga jika dimasukkan pada **persamaan (2)** didapatkan nilai CBR pada penetrasi 2,5 mm dan 5,0 mm senilai 18,96 dan 20,93.

**Gambar 5** hasil pengujian CBR model geotex 0,75 cm dan abu sekam



Untuk tanah asli + abu sekam 8,8 % + geotextile 0,75 cm pada **Gambar 5** didapatkan nilai beban terkoreksi (Pt) pada penetrasi 2,5 mm bernilai 273 dan 5,0 mm bernilai 401. Dengan beban standar (Ps) pada penetrasi pada 2,5 mm 1350,08 kg dan 5,0 mm 2035,32. Sehingga jika dimasukkan pada **persamaan (2)** didapatkan nilai CBR pada penetrasi 2,5 mm dan 5,0 mm senilai 20,22 dan 19,70.

#### 4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan abu sekam dan geotekstil dari limbah botol plastik dapat meningkatkan nilai CBR tanah secara signifikan. Tanah asli diklasifikasikan sebagai A-7-5 (3) menurut AASHTO dengan kadar air tinggi dan indeks plastisitas sedang. Penambahan abu sekam 8,8–12% menghasilkan peningkatan nilai CBR terbaik, baik dalam kondisi unsoaked maupun soaked, serta menurunkan indeks plastisitas dan meningkatkan kepadatan maksimum tanah. Nilai tertinggi CBR diperoleh pada kombinasi 12% abu sekam dengan pemeraman 11 hari. Uji model CBR menunjukkan peningkatan signifikan dari 6,74 menjadi 18,96 dengan

penambahan abu sekam 8,8%. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan melakukan uji pemadatan secara berulang guna memperoleh kadar air optimum yang lebih akurat. Pastikan pencampuran bahan tambahan dilakukan merata agar hasil stabilisasi lebih optimal. Selain itu, penggunaan alat pemadat yang sesuai dalam uji CBR model skala laboratorium penting agar kepadatan tanah maksimal dapat tercapai.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. V. Anggreana, "Stabilisasi Tanah Menggunakan Abu Sekam," *Jurnal Rekayasa Sipil*, vol. 12, no. 1, pp. 15-22, 2024.
2. K. C. Mahendra et al., "Pengaruh Geotekstil terhadap Nilai CBR Tanah Lempung," *J. Tek. Sipil*, vol. 10, no. 2, 2020.
3. I. Adha, "Stabilisasi Tanah dengan Abu Sekam dan Semen," *Seminar Nasional Teknik Sipil*, 2011.
4. M. R. Abdurrozak dan D. N. Mufti, "Peningkatan Daya Dukung Tanah Menggunakan Abu Sekam dan Kapur," *Jurnal Sipil*, vol. 9, 2018.
5. G. D. Pandulu dan Suhudi, "Studi Pengaruh Abu Sekam terhadap Konsistensi Tanah," *Prosiding Teknik Sipil*, 2012.
6. Joseph E. Bowles, *Kajian buku 'Physical and Geotechnical Properties'* Bradley University, 1986
7. Darwis, *Kajian Buku, 'Dasar – dasar Mekanika Tanah'* Yogyakarta, 2018
8. Braja.M.Das, *Kajian Buku, 'Mekanika Tanah Prinsip – Prinsip Rekayasa Geoteknis'* University of Texas, 1998