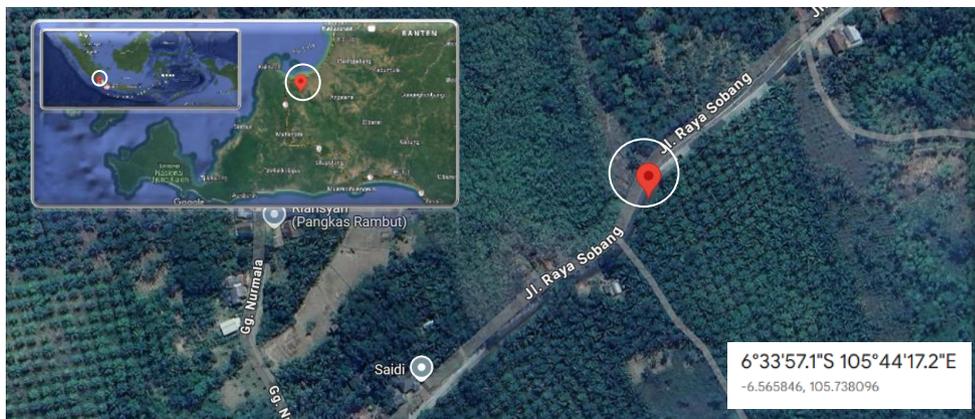


BAB 5

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Pendahuluan

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanis tanah dengan menambahkan bahan stabilisasi, sehingga tanah memiliki kekuatan dan kapasitas beban yang lebih baik dibandingkan kondisi awal. Sampel tanah yang digunakan diambil dari Jalan Raya Sobang, Desa Cimanis, Kecamatan Sobang, Kabupaten Pandeglang, Banten.



Gambar 5.1 Lokasi Pengambilan Sampel Tanah

(Sumber: Google Maps, 2025)

Metode pengambilan sampel tanah di lapangan dilakukan dengan menggali hingga kedalaman 5-10 cm dari permukaan. Penggalian dilakukan dengan hati-hati untuk memastikan bahwa sampel yang diambil merupakan tanah tak terganggu dan benar-benar mewakili kondisi tanah pada lapisan tersebut.

Sampel tanah dimasukkan ke dalam karung 10 kg dan dibawa ke Laboratorium Teknik Sipil Untirta di Cilegon untuk dilakukan pengujian sesuai prosedur, sampel tanah dihamparkan dan dikeringkan secara alami (kering udara) selama beberapa hari. Setelah proses pengeringan, tanah yang telah membentuk bongkahan dihancurkan terlebih dahulu agar dapat digunakan sebagai sampel penelitian.

Tahap penghancuran ini dilakukan menggunakan palu karet hingga tanah dapat lolos setidaknya melalui saringan No. 4. Untuk memastikan konsistensi sampel

tanah sebelum pengujian dilakukan tanah dikeringkan dalam *oven* hingga mencapai kondisi kering *oven*.

Bahan tambah dalam penelitian ini meliputi zeolit Bayah dari PT. Minerindo Trifa Buana yang lolos saringan No. 200, serta semen *Portland* Tipe 1.



Gambar 5.2 Zeolit Bayah

(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2025)



Gambar 5.3 Semen *Portland*

(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2025)

Beberapa pengujian yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik tanah meliputi kadar air, batas cair, batas plastis, berat jenis, analisis besar butir, uji pemadatan, dan CBR rendaman (*Soaked*). Pencampuran tanah dilakukan dengan variasi komposisi sebagai berikut: 10% Zeolit + 10% SP, 15% Zeolit + 10% SP, dan 20% Zeolit + 10% SP. Data didapatkan dari pengujian laboratorium kemudian dilakukan perhitungan dan analisis.

5.2 Hasil Pengujian Tanah Asli

Pada penelitian ini, dilakukan serangkaian pengujian terhadap tanah asli sebelum dicampur dengan bahan tambahan. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui nilai awal sifat fisik dan mekanis tanah yang akan dijadikan sebagai acuan dalam proses modifikasi. Data hasil pengujian sifat fisik dan mekanis tanah asli disajikan sebagai berikut.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Tanah Asli

No.	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil Pengujian
1	<i>Dynamic Cone Penetrometer</i> (DCP)	%	2,25
2	Kadar Air (w)	%	12,703
3	Berat Jenis (Gs)	-	2,643
4	Batas-batas <i>atterberg</i>		
	a. Batas Cair (LL)	%	59
	b. Batas Plastis (PL)	%	39,72
	c. Indeks Plastisitas (PI)	%	19,3%
5	Gramadasi Butiran		
	a. Tanah Berbutir Halus b. Tanah Berbutir Kasar	% %	59,1 40,90
6	Pemadatan		
	a. Berat Isi Kering (γ_{dry}) b. Kadar Air Optimum (Wopt)	% %	1,154 35,17
7	<i>California Bearing Ratio</i> Terendam	%	1,16
8	Pengembangan (<i>Swelling</i>)	%	4,85

(Sumber: Hasil Analisa Penulis, 2025)

5.2.1 *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai CBR *subgrade*, *subbase* atau *base course system* dengan praktis. Alat yang dikenal sebagai *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP), yang berfungsi untuk mengukur ketahanan tanah terhadap penetrasi, digunakan selama proses pengujian ini.

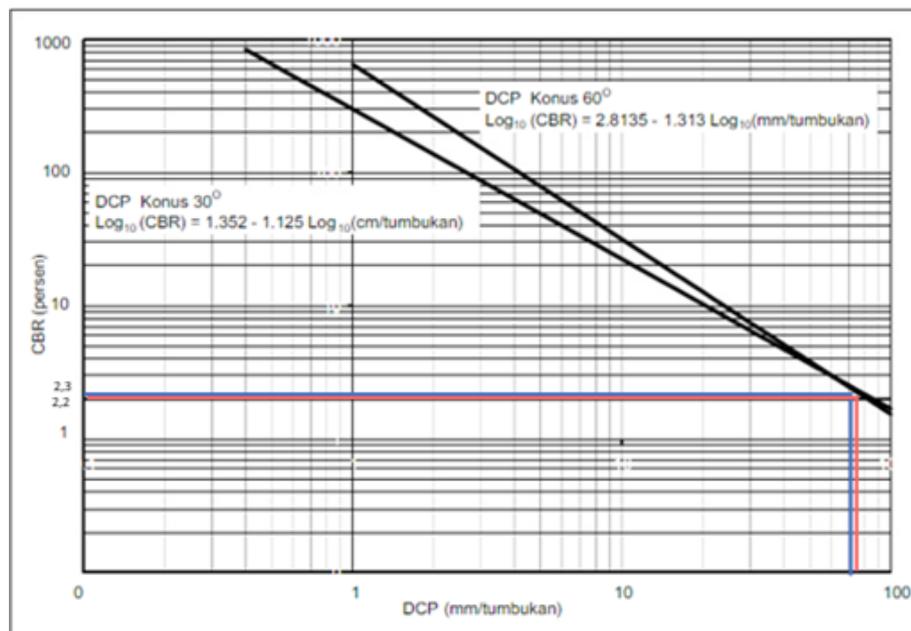
Metode ini melibatkan penumbukan batang besi vertikal ke dalam tanah, dengan batang besi menembus tanah setiap kali. Setelah setiap tumbukan, kedalaman penetrasi batang besi ke dalam tanah diukur. Selanjutnya, data ini digunakan untuk

mengevaluasi kondisi tanah untuk mengetahui apakah karakteristiknya saat ini cukup atau memerlukan perbaikan tambahan. Hasil pengujian DCP ini berfungsi sebagai acuan penting selama proses analisis dan pengambilan keputusan tentang apakah tanah di lokasi tersebut memerlukan perbaikan.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian DCP

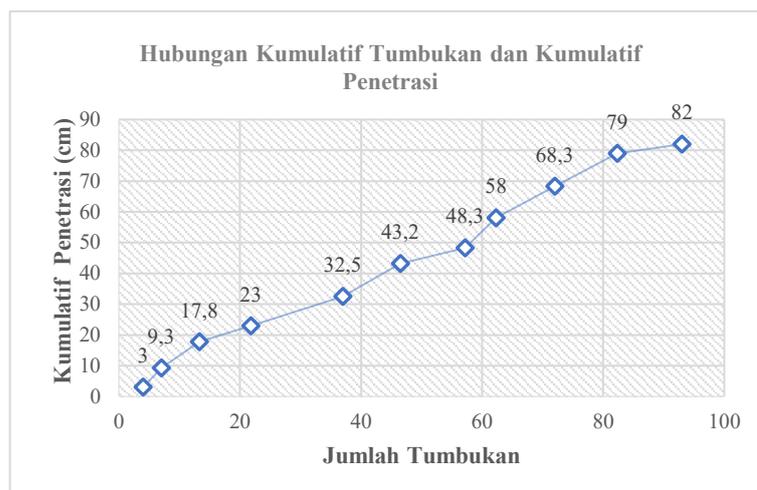
Pukulan	Angka DCP		Selisih (Cm)	Kumulatif Penetrasi (Cm)	DCP (Mm/ Tumbukan)	CBR (%)	CBR Rata - Rata (%)
	X ₀ (cm)	X ₁ (cm)					
1	4	7	3	3	73,75	2,3	2,25
2	7	13,3	6,3	9,3			
3	13,3	21,8	8,5	17,8			
4	21,8	27	5,2	23			
5	37	46,5	9,5	32,5			
6	46,5	57,2	10,7	43,2	77,6	2,2	
7	57,2	62,3	5,1	48,3			
8	62,3	72	9,7	58			
9	72	82,3	10,3	68,3			
10	82,3	93	10,7	79			
11	93	96	3	82			

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)



Gambar 5.4 Grafik Hubungan Nilai CBR dengan Nilai DCP

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)



Gambar 5.5 Grafik Hubungan Kumulatif Penetrasi dan Jumlah Pukulan

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Hasil pengujian menunjukkan bahwa tanah di Jalan Raya Sobang, Desa Cimanis, Kecamatan Sobang, Kabupaten Pandeglang, Banten, memiliki nilai CBR sebesar 2,25%, yang menunjukkan bahwa daya dukung tanah sangat rendah atau termasuk dalam kategori "very poor" (sangat buruk).

Tabel 5.3 Klasifikasi dan Kegunaan Tanah Berdasarkan Nilai CBR

CBR	General Rating	Uses
0-3	Very Poor	Subgrade
3-7	Poor to Fair	Subgrade
7-20	Fair	Subbase
20-50	Good	Base, Subbase
>50	Excellent	Base, Subbase

(Sumber: Braja M. Das. Mekanika Tanah Jilid 1, 1995)

5.2.2 Kadar Air

Pengujian kadar air bertujuan untuk menentukan jumlah air dalam sampel tanah. Mengacu pada SNI 1965:2008, pengujian dilakukan minimal pada dua sampel, menggunakan tanah yang lolos saringan No. 10, No. 4, dan No. 3/8 dengan berat masing-masing minimal 20 gram, 100 gram, dan 500 gram, serta ketelitian pengukuran sebesar $\pm 0,1\%$.

Pengujian dilakukan dengan menimbang sampel tanah awal, lalu mengeringkannya dalam oven pada suhu $110 \pm 5^\circ\text{C}$ selama 24 jam. Setelah didinginkan dalam

desikator, tanah ditimbang kembali untuk memperoleh berat kering. Selisih berat digunakan untuk menghitung kadar air. Berikut adalah hasil perhitungannya.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Kadar Air

No. Cawan	Simbol	Satuan	1	2	3
Berat cawan + tanah basah	W1	gram	54,5	26	24
Berat cawan + tanah kering	W2	gram	52	22,73	21,18
Berat cawan	W3	gram	3,5	3,5	3,5
Berat air	$W_w = W1 - W2$	gram	2,5	3,27	2,82
Berat tanah kering	$W_s = W2 - W3$	gram	48,5	19,23	17,68
Berat tanah basah	$W_w = W1 - W3$	gram	51	22,5	20,5
Kadar air	$W_n = (W_w / W_s) \times 100\%$	%	5,155	17,005	15,950
Kadar air rata-rata	W_n average	%	12,703		

(Sumber: Hasil Analisa Penulis, 2025)

Pengujian kadar air dalam sampel tanah dari Jalan Raya Sobang, Desa Cimanis, Kecamatan Cadasari, Kabupaten Pandeglang, Banten adalah 12,703%, seperti yang ditunjukkan dalam tabel 5.4 Hasil Pengujian Kadar Air.

5.2.3 Batas Cair

Pengujian batas cair dilakukan menggunakan alat Casagrande berdasarkan SNI 1967:2008. Sampel tanah yang lolos saringan No. 40 sebanyak ≥ 50 gram dicampur dengan air suling hingga homogen. Campuran tersebut kemudian dipindahkan ke dalam alat Cassagrande dan diratakan menggunakan spatula untuk dilakukan pengujian.



Gambar 5.6 Pengujian Batas Cair

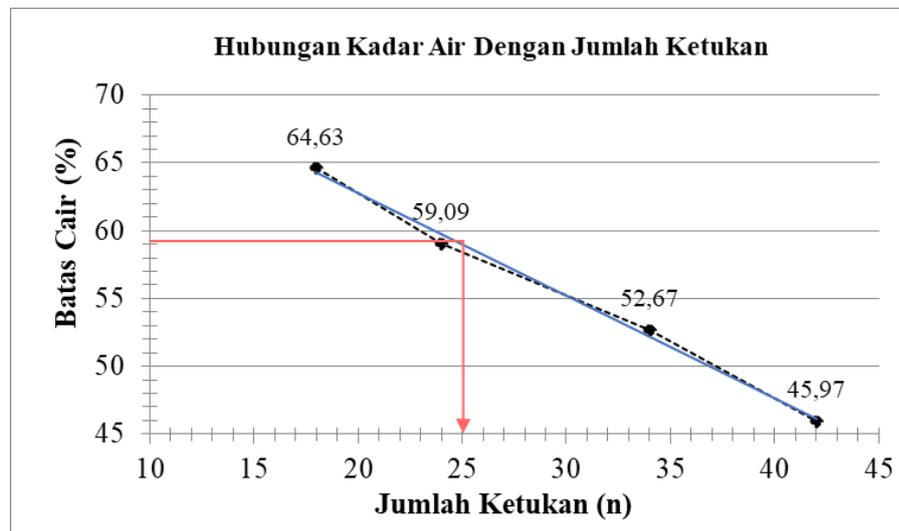
(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

Setelah itu, digunakan alat grooving untuk membuat alur dari bagian atas hingga bawah permukaan tanah. Selanjutnya, alat Casagrande dioperasikan dengan memutar tuas pada kecepatan 2 putaran per detik hingga kedua sisi tanah menyatu sepanjang 13 mm. Sampel tanah yang telah menyatu kemudian diambil dan dikeringkan dalam oven selama 18–24 jam untuk menentukan kadar airnya. Jumlah ketukan yang diperlukan hingga kedua sisi tanah menyatu juga dicatat. Berikut adalah hasil pengujian batas cair tanah asli.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Batas Cair

Keterangan	Simbol	Batas Cair			
		10 to 20	20 to 30	30 to 40	40 to 50
No. Cawan		1	2	3	4
Jumlah ketukan	n	18	24	34	42
Berat tanah basah + cawan (gram)	W2	18,3	21,5	22,11	22,2
Berat tanah kering + cawan (gram)	W3	13	15	16	16,5
Berat air tanah (gram)	$W6=W4-W5$	5,3	6,5	6,11	5,7
Berat cawan (gram)	W1	4,8	4	4,4	4,1
Berat tanah basah(gram)	$W4=W2-W1$	13,5	17,5	17,71	18,1
Berat tanah kering (gram)	$W5=W3-W1$	8,2	11	11,6	12,4
Kadar air (%)	$\omega=(W6/W5)\times 100\%$	64,63	59,09	52,67	45,97
Kadar air rata-rata	ω rata-rata	55,59			
Batas Cair (Dari Formula)	%	62,12	58,80	54,67	48,95
Batas cair rata-rata (Dari Formula)	%	56,13			
Batas cair (Dari Grafik)	LL	59			

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)



Gambar 5.7 Grafik Hubungan Kadar Air dengan Jumlah Pukulan

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Berdasarkan hasil pengujian batas cair, kadar air sampel tanah mencapai 59%. Menurut buku *Dasar Mekanika Tanah* oleh Santoso, dkk., nilai tersebut tergolong

dalam kategori plastisitas tinggi, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.7 dan klasifikasi dalam buku tersebut:

- a. Plastisitas rendah = $LL < 35\%$
- b. Plastisitas sedang = $LL 35\% - 50\%$
- c. Plastisitas tinggi = $LL > 50\%$.

Dapat disimpulkan bahwa tanah dari Jalan Raya Sobang, Desa Cimanis, Kabupaten Pandeglang, Banten memiliki nilai batas cair sebesar 59% dan tergolong dalam kategori plastisitas tinggi.

5.2.4 Batas Plastis

Pengujian batas plastis mengacu pada SNI 1966:2008 dengan tujuan menentukan transisi tanah dari keadaan plastis ke semi padat. Sebanyak 50 gram tanah yang lolos saringan No. 40 dicampur air suling, kemudian digulung di atas plat kaca hingga mencapai diameter 3 mm. Jika tanah retak sebelum mencapai diameter tersebut, dilakukan pencampuran ulang dengan sedikit penambahan air hingga merata.



Gambar 5.8 Pengujian Batas Plastis

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

Setelah terbentuk, batang tanah ditempatkan dalam cawan dan dikeringkan dalam *oven* selama 18-24 jam. Setelah proses pengeringan selesai, sampel dikeluarkan dari *oven*, didinginkan, dan ditimbang. Berikut adalah hasil dari pengujian batas plastis tanah asli.

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Batas Plastis

Keterangan	Simbol	Batas Plastis		
		1	2	3
No. cawan		1	2	3
Berat tanah basah + cawan (gram)	W2	9,18	9,35	9,2
Berat tanah kering + cawan (gram)	W3	7,5	8	8
Berat air tanah (gram)	$W6 = W4 - W5$	1,68	1,35	1,2
Berat cawan (gram)	W1	4,18	4,35	4,2
Berat tanah basah (gram)	$W4 = W2 - W1$	5	5	5
Berat tanah kering (gram)	$W5 = W3 - W1$	3,32	3,65	3,8
Kadar air (%)	$\omega = (W6/W5) \times 100\%$	50,60	36,99	31,58
Batas plastis (%)	PL	39,72		
Indeks plastisitas	$PI = (LL - PL) \times 100\%$	19,3%		

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Hasil pengujian laboratorium terhadap tanah dari Jalan Raya Sobang, Desa Cimanis, menunjukkan nilai Batas Plastis sebesar 39,72% dan Indeks Plastisitas 19,3%. Dengan nilai Indeks Plastisitas di atas 17%, tanah tersebut termasuk dalam kategori Plastisitas Tinggi, bersifat kohesif, dan tergolong tanah lempung. Klasifikasi ini sesuai dengan yang dijelaskan dalam buku *Mekanika Tanah I* oleh Hardiyatmo, H.C.

Pada penelitian lain dilakukan oleh (Rabab'ah et al., 2021) didapatkan nilai LL 59%, PL 39,72% dan IP nya 42,4% tergolong kedalam plastisitas tinggi, penelitian oleh (Fauziah & Maricar, 2020) didapatkan nilai LL 61,9% PL 28,37% dan IP 13,21% tergolong kedalam plastisitas tinggi, penelitian oleh (Kaharu et al., 2025) didapatkan nilai LL 81,23% PL 29,968% IP 51,2622% tergolong kedalam plastisitas tinggi, penelitian oleh (Alfian & Phelia, 2020) didapatkan nilai LL 90,97% PL 53,98% IP 37,14% tergolong kedalam plastisitas tinggi, penelitian oleh (Kusuma et al., 2023) didapatkan nilai LL 58,8% PL 24% IP 34% tergolong kedalam plastisitas tinggi.

Tabel 5.7 Hasil Perbandingan Nilai IP

Peneliti	IP (%)	CBR (%)
Fauziah, S (2020)	13,21	1,56
Salsabila, L (2025)	18,78	1,16
Kusuma, R (2023)	34	2,05
Alfian, R (2020)	37,14	0,87
Rabab'ah, S (2021)	42,4	1,6
Fitriyanti (2025)	51,262	1,88

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

5.2.5 Berat Jenis

Pengujian berat jenis dilakukan berdasarkan SNI 1964:2008, yang mendefinisikan berat jenis sebagai perbandingan antara berat butir tanah dengan berat air suling pada volume dan suhu yang sama. Sampel tanah yang lolos saringan No. 4 dan No. 10 dimasukkan ke dalam piknometer dan ditambahkan air hingga mencapai 2/3 volume. Sampel direndam selama 24 jam untuk mencapai kondisi jenuh, lalu dipanaskan di atas kompor elektrik selama minimal 10 menit guna mengeluarkan gelembung udara. Piknometer sesekali dimiringkan untuk mempercepat proses pelepasan udara.



Gambar 5.9 Pengujian Berat Jenis

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

Setelah proses pemanasan, sampel didinginkan terlebih dahulu hingga piknometer mencapai suhu ruang. Setelah itu, piknometer beserta benda uji dapat ditimbang untuk memperoleh hasil pengujian. Berikut adalah hasil pengujian berat jenis tanah asli:

Tabel 5.8 Hasil Pengujian Berat Jenis

Nomor Contoh dan Kedalaman	Simbol	Satuan	No 4	No 10
Nomor Piknometer				
Berat piknometer + contoh	W2	gram	277	287,5
Berat piknometer	W1	gram	177	187,5
Berat tanah	$W_t = W_2 - W_1$	gram	100	100
Temperatur °C				
Berat piknometer + air + tanah pada temperatur 20	W3	gram	815	820
Berat piknometer + air pada 20	W4	gram	755,5	755,5
$W_5 = W_t + W_4$		gram	855,5	855,5
Isi tanah	$W_5 - W_3$	cm ³	40,5	35,5
Berat jenis (Gs)	$W_t / (W_5 - W_3)$		2,469	2,817
Rata-rata			2,643	

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Berdasarkan hasil penelitian yang ditunjukkan pada Tabel 5.7, nilai berat jenis tanah yang diperoleh adalah sebesar 2,643. Merujuk pada referensi dalam buku *Mekanika Tanah Jilid 1* karya Braja M. Das, nilai berat jenis tersebut termasuk dalam rentang berat jenis tanah lempung organik, yaitu antara 2,58 hingga 2,65. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa tanah yang berasal dari lokasi pengambilan sampel, yaitu Jalan Raya Sobang, Desa Cimanis, Kecamatan Sobang, Kabupaten Pandeglang, Banten, dikategorikan sebagai tanah lempung organik. Tanah jenis ini memiliki kandungan bahan organik yang cukup tinggi dan cenderung bersifat kohesif, sehingga sangat memengaruhi perilaku tanah terhadap air, daya dukung, serta responnya terhadap proses pemadatan dan stabilisasi. Karakteristik ini penting untuk diperhatikan dalam perencanaan dan pelaksanaan konstruksi, terutama pada pekerjaan jalan, karena lempung organik umumnya memiliki daya dukung yang rendah serta potensi perubahan volume akibat perubahan kadar air.

Tabel 5.9 Penentuan Berat Jenis Tanah

Macam Tanah	Berat Jenis (Gs)
Kerikil	2,65-2,68
Pasir	2,65-2,68
Lanau Anorganik	2,62-2,68
Lempung Organik	2,58-2,65
Lempung Anorganik	2,68-2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25-1,80

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

5.2.6 Analisa Besar Butir

Pengujian distribusi ukuran butir dilakukan dengan mengambil sampel tanah seberat 500 gram. Sebelum dilakukan pengujian, tanah terlebih dahulu dikeringkan dalam *oven* selama minimal 16 jam. Setelah dingin, sampel dihancurkan secara perlahan menggunakan palu karet agar butiran tetap terjaga. Kemudian, tanah disaring menggunakan ayakan No. 4, No. 10, No. 12, No. 16, No. 30, No. 40, No. 50, No. 100, No. 200 dan *Pan* sesuai SNI 3423:2008, lalu digetarkan dengan sieve shaker selama 15 menit untuk hasil optimal.



Gambar 5.10 Pengujian Analisa Besar Butir

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Analisa Besar Butir

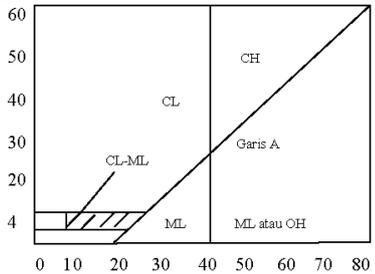
Nomor Saringan	Diameter (mm)	Berat tanah yang tertahan saringan (gr)	Berat Tanah yang Tertahan (%)	Kumulatif Tanah yang Tertahan (%)	Tanah yang Lolos (%)
4	4,75	5	1	1	99
10	2,36	5	1	2	98
12	1,68	15	3	5	95
16	1,18	5,5	1,1	6,1	93,9
30	0,8	14	2,8	8,9	91,1
40	0,425	38,5	7,7	16,6	83,4
50	0,3	45,5	9,1	25,7	74,3
100	0,15	30	6	31,7	68,3
200	0,075	46	9,2	40,9	59,1
Pan	0	295,5	59,1	100	0
Jumlah		500			

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Mengacu pada data Tabel 5.8, sebesar 59,1% material tanah lolos saringan No. 200. Menurut sistem klasifikasi USCS, jika lebih dari 50% partikel melewati saringan tersebut, maka tanah termasuk kategori berbutir halus, seperti lanau atau lempung. Klasifikasi tanah selanjutnya ditentukan dengan menganalisis sifat plastisitas dari hasil pengujian sampel tanah:

- a. Lolos saringan no. 200 = 59,1%
- b. Batas cair (LL) Kering *Oven* = 59%
- c. Batas Cair (LL) Tidak Kering *Oven* = 81,5%
- d. Indeks plastisitas (IP) Kering *Oven* = 19,3%

Tabel 5.11 Pengklasifikasian Butiran Halus

Divisi Utama		Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi		
Tanah berbutir kasar $\geq 50\%$ butiran tertahan saringan No. 200	Kerikil $50\% \geq$ fraksi kasar tertahan saringan No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
			GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
		Kerikil dengan Butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$	Bila batas <i>Atterberg</i> berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$	
	Pasir $\geq 50\%$ fraksi kasar lolos saringan No. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW	
			SP	Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
		Pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$	Bila batas <i>Atterberg</i> berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$	
	Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200	Lanau dan lempung batas cair $\leq 50\%$	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung	Diagram Plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas <i>Atterberg</i> yang termasuk dalam daerah yang di arsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol.  Batas Cair LL (%) Garis A : $PI = 0.73 (LL - 20)$	
			CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (<i>lean clays</i>)		
			OL	Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah		
		Lanau dan lempung batas cair $\geq 50\%$	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis		
CH			Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (<i>fat clays</i>)			
OH			Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi			
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi	PT	<i>Peat</i> (gambut), <i>muck</i> , dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488			

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Dari hasil data yang diperoleh, tanah dapat diklasifikasikan dengan mengacu pada sistem klasifikasi USCS. Langkah awal yaitu mengevaluasi persentase partikel yang lolos dari saringan No. 200, yang tercatat sebesar 59,1%. Karena lebih dari 50%, maka tanah ini digolongkan sebagai tanah bertekstur halus. Selanjutnya, nilai

Batas Cair sebesar 58,5% dan Indeks Plastisitas sebesar 18,8% menunjukkan bahwa tanah memiliki plastisitas yang cukup tinggi.

Untuk menentukan apakah tanah tergolong OH atau MH maka dilakukan perbandingan antara batas cair kering *oven* dan tidak kering *oven*, jika kurang dari 0,75 maka tanah masuk kedalam lempung organik.

$$LLR = \frac{\text{Batas Cair Kering Oven}}{\text{Batas Cair Tidak Kering Oven}} < 0,75$$

$$LLR = \frac{59\%}{81,5\%} = 0,723\%$$

Tabel 5.12 Pengklasifikasian LLR

Kriteria untuk Menetapkan Simbol-Simbol Kelompok dan Nama-Nama Kelompok Menggunakan Pengujian-Pengujian Laboratorium ^A				Klasifikasi Tanah	
				Simbol Kelompok	Nama Kelompok ^B
TANAH BERBUTIR KASAR >50% tertahan ayakan No. 200	Kerikil (Lebih besar dari 50% Fraksi kasar yang tertahan ayakan No. 4)	Kerikil bersih (Butir halus ^C < 5%)	Cu ≥ 4 dan 1 ≤ Cc ≤ 3 ^D Cu < 4 dan/atau Cc < 1 atau Cc > 3 ^D	GW GP	Kerikil ^E bergradasi baik Kerikil ^E bergradasi jelek
		Kerikil dengan butir halus (Butir halus ^C > 12%)	Butir halus diklasifikasikan sebagai ML atau MH	GM	Kerikil ^{E, F, G} lanauan
			Butir halus diklasifikasikan sebagai CL atau CH	GC	Kerikil ^{E, F, G} lempungan
	Pasir (Lebih besar ≥ 50% Fraksi kasar yang lolos ayakan No. 4)	Pasir bersih (Butir halus ^H < 5%)	Cu ≥ 6 dan 1 ≤ Cc ≤ 3 ^D Cu < 6 dan/atau Cc < 1 atau Cc > 3 ^D	SW SP	Pasir ^I bergradasi baik Pasir ^I bergradasi jelek
		Pasir dengan butir halus (Butir halus ^H > 12%)	Butir halus diklasifikasikan sebagai ML atau MH	SM	Pasir ^{I, G, J} lanauan
			Butir halus diklasifikasikan sebagai CL atau CH	SC	Pasir ^{I, G, J} lempungan
TANAH BERBUTIR HALUS ≥ 50% lolos Ayakan No. 200	Lanau dan lempung Batas cair < 50	Non Organik	PI > 7 dan terletak pada atau di atas garis "A" PI < 4 atau terletak di bawah garis "A"	CL ML	Lempung ^{K, L, M} rendah Lanau ^{K, L, M}
		Organik	Batas cair - kering oven < 0,75 Batas cair - tidak kering	OL	Lempung ^{K, L, M, N} organik Lanau ^{K, L, M, O} organik
	Lanau dan lempung Batas cair ≥ 50	Non Organik	PI terletak pada atau di atas garis "A"	CH	Lempung ^{K, L, M} tinggi
			PI terletak di bawah garis "A"	MH	Lanau ^{K, L, M} elastis
		Organik	Batas cair - kering oven < 0,75	OH	Lempung ^{K, L, M, P} organik
			Batas cair - tidak kering		Lempung ^{K, L, M, O} organik
TANAH BERORGANIK	Secara primer terdiri atas zat-zat organik, berwarna gelap dan berbau organik		PT	Gambut	

^A Berdasarkan material lolos ayakan 3 inci (75 mm)
^B Apabila contoh lapangan mengandung bongkahan atau kerakal, atau keduanya tambahkan "dengan bongkahan atau kerakal atau keduanya" pada nama kelompok
^C Kerikil-kerikil dengan butiran halus 5% sampai dengan 12% diperlukan simbol ganda:
 GW–GM Kerikil bergradasi baik dengan lanau
 GW–GC Kerikil bergradasi baik dengan lempung
 GP–GM Kerikil bergradasi jelek dengan lanau
 GP–GC Kerikil bergradasi jelek dengan lempung
^D Cu = D₆₀/D₁₀ Cc = (D₃₀)²/D₁₀ x D₆₀
^E Apabila tanah mengandung ≥ 15% pasir, tambahkan "dengan pasir" pada nama kelompok
^F Apabila butiran halus diklasifikasikan sebagai CL–ML gunakan simbol ganda GC–GM atau SC–SM.
^G Apabila butiran halus adalah organik, tambahkan "dengan butiran halus organik" pada nama kelompok

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai batas cair (*Liquid Limit/LL*) sebesar 0,71%. Nilai ini berada di bawah ambang batas 0,75%, dengan demikian, tanah yang berasal dari Jalan Raya Sobang, Desa Cimanis, Kecamatan Sobang,

Kabupaten Pandeglang, Banten, dapat dikategorikan sebagai tanah lempung organik dengan tingkat plastisitas sedang hingga tinggi, dan termasuk dalam kelompok OH (*organic clay of medium to high plasticity*). Kategori ini menunjukkan bahwa tanah tersebut memiliki kandungan bahan organik yang cukup tinggi dan bersifat kohesif.

5.2.7 Pemadatan Standar

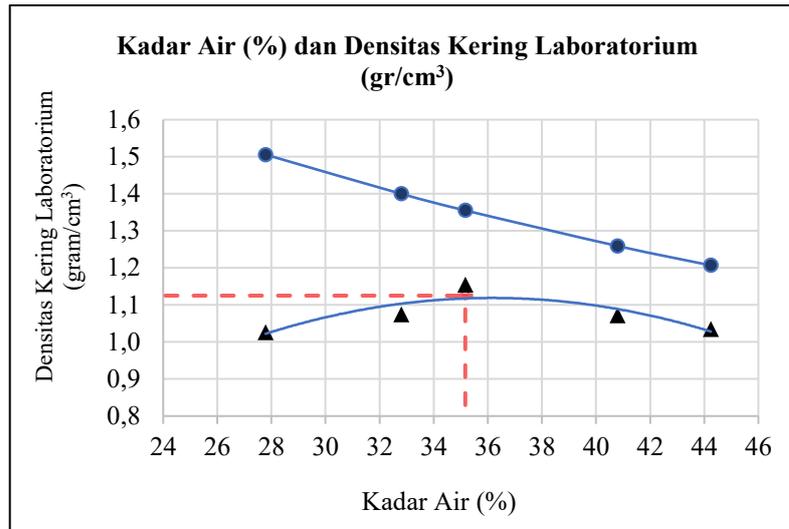
Pengujian pemadatan standar dilakukan berdasarkan SNI 1742:2008 dengan tujuan memperoleh berat isi kering maksimum dan kadar air optimum. Data ini diperlukan sebagai acuan dalam pengujian *California Bearing Ratio* (CBR). Sampel yang digunakan berupa 2,5 kg tanah yang telah dikeringkan dan lolos saringan No. 4.

Minimal lima sampel digunakan dalam uji pemadatan, di mana tiap sampel dimasukkan ke dalam cetakan dalam tiga lapisan dan masing-masing dipadatkan dengan 25 tumbukan menggunakan penumbuk seberat 2,5 kg. Setelah permukaan diratakan dan ditimbang, sebagian tanah diambil untuk pengujian kadar air. Sesuai SNI 1965:2008, pengujian dilakukan dengan mengambil minimal 100 gram tanah lolos saringan No. 4 dan dikeringkan dalam *oven*.

Tabel 5.13 Hasil Pengujian Pemadatan Standar

No	Sampel	Simbol	1		2		3		4		5	
1	Air Diberikan	ml	500		600		700		800		900	
2	Volume Cetakan	V mold	943		943		943		943		943	
3	Massa Tanah + Cetakan	W2	5696		5805		5931		5882,5		5867	
4	Massa Cetakan	W mold	4460		4460		4460		4460		4460	
5	Massa Tanah Basah	W3=W2-W mold	1236		1345		1471		1422,5		1407	
6	Densitas (gram/cm ³)	$\rho = (W2 - W \text{ mold}) / V \text{ mold}$	1,311		1,426		1,560		1,508		1,492	
7	Densitas Kering (gram/cm ³)	$\rho_{dn} = (\rho \times 100) / (100 + \omega)$	1,026		1,074		1,154		1,071		1,034	
8	ZAV 80% (gram/cm ³)	$80\% * (G_s \cdot g_w) / 1 + (G_s \cdot \omega_n)$	1,205		1,120		1,084		1,007		0,965	
9	ZAV 100% (gram/cm ³)	$(G_s \cdot g_w) / 1 + (G_s \cdot \omega_n)$	1,506		1,400		1,355		1,259		1,207	
Pemeriksaan Kadar Air			A	B								
10	Massa Tanah Basah + Wadah	W2	24,2	24,4	24,2	24,2	24,4	24	24,1	24,5	23,9	24,4
11	Massa Tanah Kering + Wadah	W3	21	19	19,5	19	19,0	19,0	18,5	18,5	18,0	18
12	Massa Wadah	W1	4,2	4,35	4,18	4,19	4,37	4,04	4,1	4,45	3,94	4,35
13	Massa Tanah Basah	W4 = W2 - W1	20	20	20	20	20,03	19,96	20	20,05	20	20,0
14	Massa Tanah Kering + Wadah	W5 = W3 - W1	16,8	14,7	15,3	14,8	14,6	15,0	14,4	14,1	14,1	13,7
15	Berat Air	W6 = W4 - W5	3,2	5,4	4,7	5,2	5,4	5,0	5,6	6,0	6	6,4
16	Kadar Air (%)	$\omega = (W6 / W5) \times 100\%$	27,78		32,80		35,17		40,80		44,24	
17	Kadar Air Rata-rata (%)		36,16									
18	Densitas Kering Laboratorium (pdn) gram/cm ³		1,072									

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)



Gambar 5.11 Grafik Hubungan Kadar Air dengan Berat Isi Kering

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Mengacu pada Gambar 5.11, diketahui bahwa tanah dari Jalan Raya Sobang, Desa Cimanis, Kecamatan Sobang, Kabupaten Pandeglang, Banten memiliki kadar air optimum sebesar 35,17% dan berat isi kering maksimum sebesar 1,154 gram/cm³. Nilai-nilai ini digunakan sebagai acuan dalam perhitungan uji CBR di laboratorium.

5.3 Hasil Pengujian Setelah Dicampur Dengan Bahan Tambah

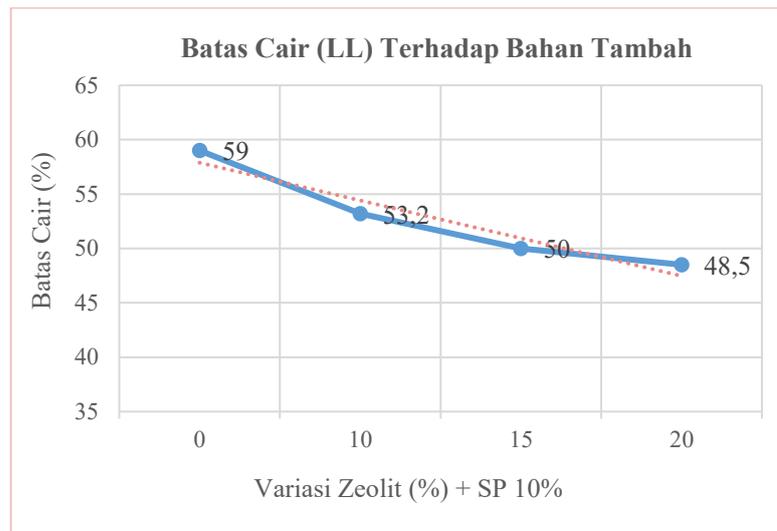
Pengujian dilakukan dengan menggunakan beberapa tingkat komposisi bahan tambahan. Tujuan dari penerapan variasi ini adalah untuk menentukan kadar yang paling optimum dan efektif serta menilai seberapa besar pengaruh masing-masing komposisi dalam meningkatkan karakteristik tanah uji. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini dijabarkan sebagai berikut:

- a. Variasi A = 100 % tanah asli + 0 % Z + 0 % SP
- b. Variasi B = 100 % tanah asli + 10 % Z + 10 % SP
- c. Variasi C = 100 % tanah asli + 15 % Z + 10 % SP
- d. Variasi D = 100 % tanah asli + 20 % Z + 10 % SP

Berbagai variasi yang digunakan Zeolit (Z) dan Semen *Portland* (SP) tersebut diterapkan dalam sejumlah pengujian untuk mengevaluasi sejauh mana efektivitasnya dalam proses stabilisasi tanah. Adapun jenis pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

5.3.1 Batas Cair

Pengujian dilakukan menggunakan sampel tanah yang sebelumnya telah dikeringkan di *oven* dan disaring menggunakan saringan No. 40 untuk memastikan keseragaman ukuran butiran. Tanah tersebut kemudian dicampurkan dengan bahan tambahan berupa zeolit dan semen *Portland*. Setiap campuran dipersiapkan untuk dilakukan serangkaian uji laboratorium. Hasil dari seluruh pengujian tersebut disusun dan disajikan pada bagian berikut sebagai dasar analisis dan pembahasan:



Gambar 5.12 Grafik Batas Cair Tiap Variasi

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Tabel 5.14 Rekapitulasi Hasil Pengujian Batas Cair

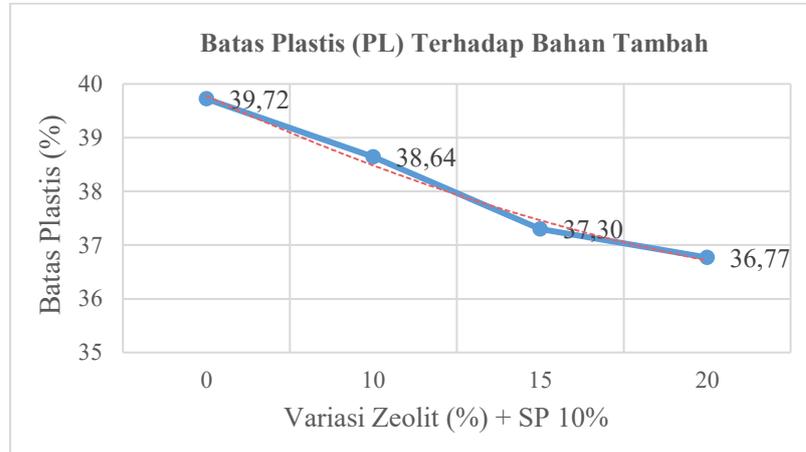
Batas Cair (%)			
Variasi A	Variasi B	Variasi C	Variasi D
59	53,2	50	48,5

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Mengacu pada Tabel 5.10 dan Grafik 5.11, dapat disimpulkan bahwa peningkatan persentase Zeolit dan Semen *Portland* secara bertahap mampu menurunkan nilai batas cair pada sampel tanah. Penurunan ini terjadi karena Zeolit memiliki struktur berpori sehingga dapat membentuk ikatan fisik dengan mengisi ruang antarpartikel tanah dan menyerap ion ion dan air yang menjadikan struktur tanah lebih padat. Selain itu, penambahan Semen *Portland* berperan dalam mempercepat proses reaksi pozzolanik dan sementasi, sehingga berdampak pada penurunan kadar air dalam tanah uji.

5.3.2 Batas Plastis

Dalam pengujian ini, sampel tanah yang digunakan merupakan tanah yang telah melewati dari saringan No. 40. Dengan penambahan Zeolit dan Semen *Portland*. Hasil dari pengujian batas plastis disajikan sebagai berikut:



Gambar 5.13 Grafik Batas Plastis Tiap Variasi

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Tabel 5.15 Rekapitulasi Hasil Pengujian Batas Plastis

Batas Plastis (%)			
Variasi A	Variasi B	Variasi C	Variasi D
39,72	38,64	37,30	36,77

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

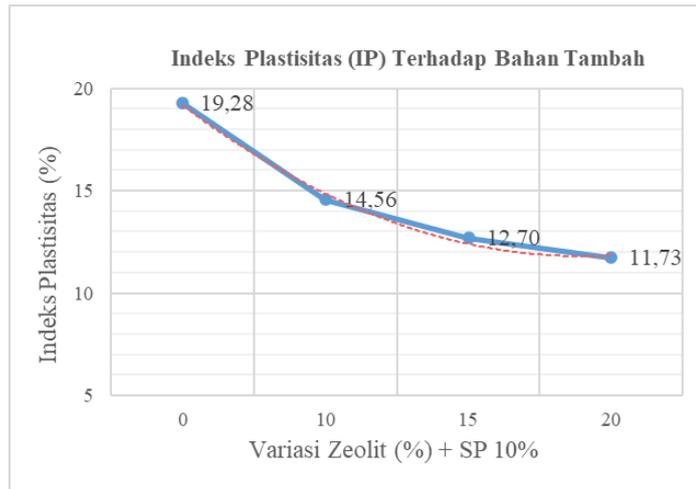
Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.11 dan Grafik 5.12, kedua bahan tambah tersebut memiliki kemampuan untuk mengurangi jumlah air yang diperlukan untuk sampel tanah, serta menghasilkan penggumpalan atau flokulasi partikel halus, yang pada gilirannya menyebabkan sifat plastis tanah dan nilai batas plastisnya menurun.

Sangat penting untuk diketahui bahwa nilai Indeks Plastisitas yang dihasilkan dari perbedaan antara batas plastis dan cair dihitung dan kemudian diwakili dalam satuan persen. Nilai-nilai ini ditunjukkan di bawah ini berdasarkan hasil pengujian:

Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian Indeks Plastisitas

Indeks Plastisitas (%)			
Variasi A	Variasi B	Variasi C	Variasi D
18,78	14,56	12,70	11,73

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)



Gambar 5.14 Grafik Indeks Plastisitas Tiap Variasi

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Berdasarkan Tabel 5.12 dan Grafik 5.13, terlihat bahwa penambahan Zeolit dan Semen *Portland* secara bertahap memberikan efek terhadap penurunan nilai Indeks Plastisitas pada tanah uji. Dari hasil pengujian semua variasi, tanah dikategorikan memiliki potensi pengembangan sedang, karena nilai indeks plastisitas (IP) berada dalam kisaran 10 hingga 20.

Tabel 5.17 Standar Indeks Plastisitas untuk Perkerasan Jalan

No.	Material	PI (%)
1	<i>Subgrade</i>	$\leq 15 \%$
2	<i>Subbase</i>	$\leq 10 \%$
3	<i>Base Course</i>	$\leq 4 \%$

(Sumber : Peraturan Pelaksanaan Pembangunan Jl Raya Dept PU, 1972)

Berdasarkan pengujian, tanah asli tidak memenuhi syarat sebagai material *subgrade* karena nilai indeks plastisitasnya sebesar 19,28% melebihi batas maksimum 15% menurut standar Departemen PU. Setelah distabilisasi dengan zeolit dan semen *portland*, nilai tersebut menurun menjadi 14,56%, 12,70%, dan 11,73%, sehingga memenuhi kriteria *subgrade*.

5.3.3 Berat Jenis

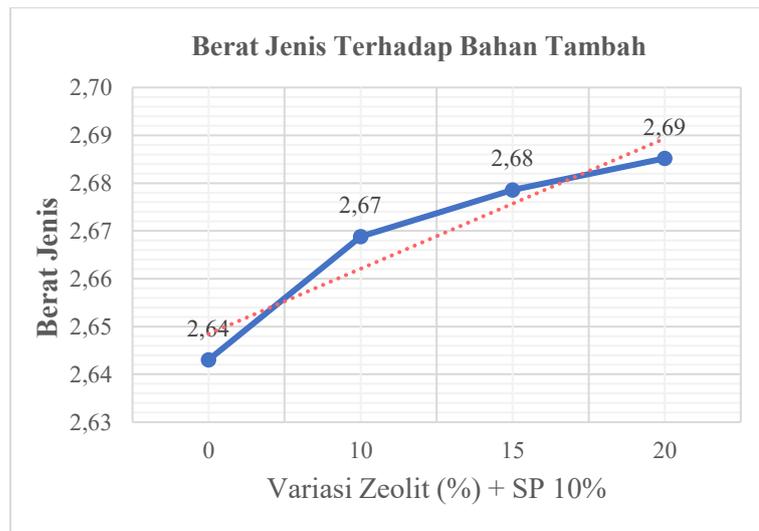
Pengujian ini memanfaatkan tanah yang telah dikeringkan dalam *oven* dan lolos dari saringan No. 4 dan No. 10, dengan campuran bahan tambahan berdasarkan

variasi yang telah ditentukan sebelumnya. Adapun hasil dari pengujian yang telah dilakukan oleh penulis disajikan sebagai berikut:

Tabel 5.18 Rekapitulasi Hasil Pengujian Berat Jenis

Berat Jenis			
Variasi A	Variasi B	Variasi C	Variasi D
2,64	2,67	2,68	2,69

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)



Gambar 5.15 Grafik Berat Jenis Tiap Variasi

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan Zeolit dan Semen *Portland* pada tanah lempung mampu meningkatkan nilai berat jenis. Peningkatan ini terjadi karena kedua bahan tambahan tersebut memiliki berat jenis yang lebih tinggi dibandingkan tanah asli. Ketika dicampurkan, berat jenis total campuran pun ikut meningkat. Selain itu, bahan tambah ini juga mampu mengisi pori-pori mikro di antara partikel tanah serta memicu terjadinya reaksi pozzolan dan hidrasi, yang menyebabkan ikatan antarpartikel menjadi lebih padat dan solid.

5.3.4 Pematatan Standar

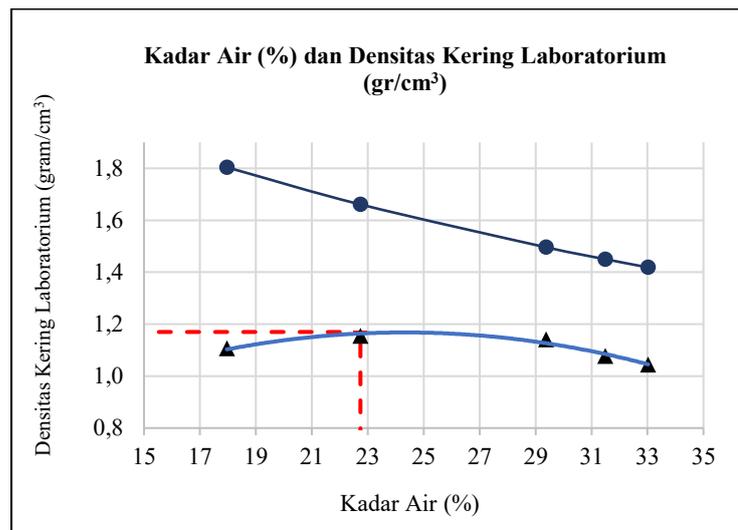
Pada pengujian ini, digunakan tanah yang telah dikeringkan dalam *oven* dan lolos dari saringan No. 4, kemudian dicampur dengan bahan tambah berupa zeolit dan semen *Portland* sesuai variasi yang telah dirancang. Pengujian dilakukan sebanyak lima kali untuk memperoleh data kadar air optimum dan berat isi kering maksimum

yang akan menjadi acuan dalam perhitungan nilai CBR laboratorium. Hasil dari pengujian tersebut disajikan sebagai berikut:



Gambar 5.16 Pembuatan Sampel Pematatan

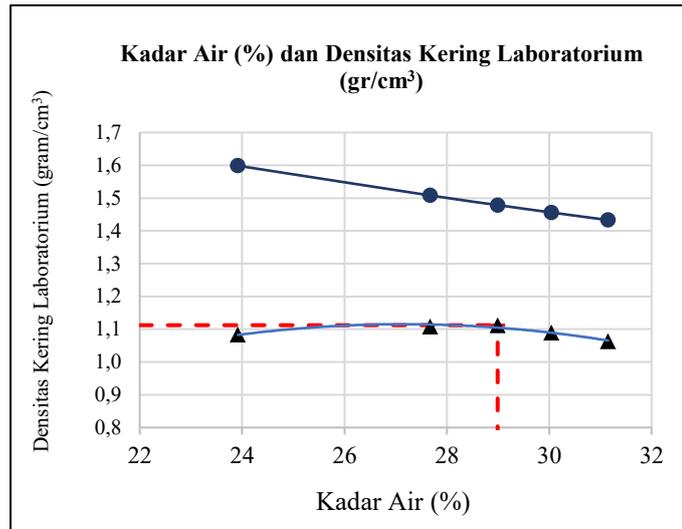
(Sumber: Analisa Penulis, 2025)



Gambar 5.17 Grafik Kadar Air vs Berat Isi Kering Variasi B

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

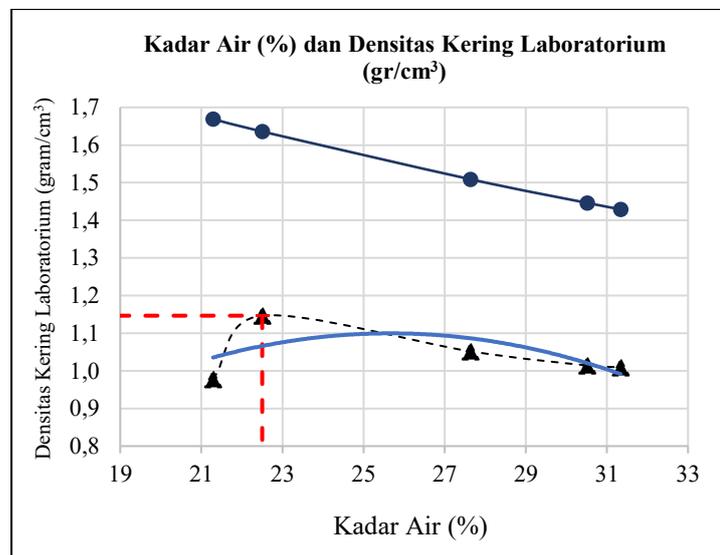
Merujuk pada data hasil uji pematatan yang ditampilkan pada Gambar 5.16, dapat disimpulkan bahwa pada variasi campuran dengan penambahan 10% Zeolit dan 10% Semen *Portland*, diperoleh kadar air optimum sebesar 35,17% serta berat isi kering maksimum mencapai 1,18 gram/cm³.



Gambar 5.18 Grafik Kadar Air vs Berat Isi Kering Variasi C

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Merujuk pada data hasil uji pemadatan yang ditampilkan pada Gambar 5.17, dapat disimpulkan bahwa pada variasi campuran dengan penambahan 15% Zeolit dan 10% Semen *Portland*, diperoleh kadar air optimum sebesar 28,99% serta berat isi kering maksimum mencapai 1,112 gram/cm³.



Gambar 5.19 Grafik Kadar Air vs Berat Isi Kering Variasi D

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Merujuk pada data hasil uji pemadatan yang ditampilkan pada Gambar 5.18, dapat disimpulkan bahwa pada variasi campuran dengan penambahan 20% Zeolit dan

10% Semen *Portland*, diperoleh kadar air optimum sebesar 22,5% serta berat isi kering maksimum mencapai 1,147 gram/cm³.

Berikut merupakan rekapitulasi hasil pengujian pemadatan yang telah dilakukan oleh penulis :

Tabel 5.19 Rekapitulasi Hasil Pengujian Pemadatan

No.	Variasi	Kadar Air Optimum (%)	Berat Kering Maksimum (gram/cm ³)
1	Var. A (Tanah Asli)	35,17	1,154
2	Var. B (Z10% + SP10%)	22,74	1,155
3	Var. C (Z15% + SP10%)	28,99	1,112
4	Var. D (Z20% + SP10%)	22,50	1,147

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Nilai Kadar Air Optimum dan Berat Isi Kering Maksimum yang diperoleh menjadi acuan dalam menentukan kebutuhan material pada pengujian *California Bearing Ratio* (CBR). Perhitungan kebutuhan material untuk setiap variasi disajikan sebagai berikut:

a. Kebutuhan campuran Variasi B 10% Zeolit dan 10% Semen *Portland*

- 1) Massa Tanah = Volume *Mold* × γ_{Dry} Maksimum
 = 3211,81 × 1,155
 = 3710 gram / *mold*
- 2) Massa Zeolit = Massa Tanah × % Variasi Campuran
 = 3710 cm³ × 10%
 = 371 gram
- 3) Massa SP = Massa Tanah × % Variasi Campuran
 = 3710 cm³ × 10%
 = 371 gram
- 4) Kebutuhan Air = Massa Tanah × Kadar Air Optimum
 = 3710 cm³ × 22,74%
 = 844 ml

Pada variasi B pengujian dengan satu mold CBR, campuran dengan 10% zeolit memerlukan sebanyak 371 gram. Sementara itu, untuk campuran dengan 10%

Semen *Portland*, diperlukan 371 gram, serta kebutuhan airnya mencapai 844 ml.

b. Kebutuhan campuran Variasi C 15% Zeolit dan 10% Semen *Portland*

- 1) Massa Tanah = Volume *Mold* × γ_{Dry} Maksimum
= $3211,81 \times 1,112$
= 3573 gram / *mold*
- 2) Massa Zeolit = Massa Tanah × % Variasi Campuran
= $3573 \text{ cm}^3 \times 15\%$
= 536 gram
- 3) Massa SP = Massa Tanah × % Variasi Campuran
= $3573 \text{ cm}^3 \times 10\%$
= 357,3 gram
- 4) Kebutuhan Air = Massa Tanah × Kadar Air Optimum
= $3573 \text{ cm}^3 \times 28,99\%$
= 1036 ml

Pada variasi C pengujian dengan satu mold CBR, campuran dengan 15% zeolit memerlukan sebanyak 536 gram. Sementara itu, untuk campuran dengan 10% Semen *Portland*, diperlukan 357,3 gram, serta kebutuhan airnya mencapai 1036 ml.

c. Kebutuhan campuran Variasi D 20% Zeolit dan 10% Semen *Portland*

- 1) Massa Tanah = Volume *Mold* × γ_{Dry} Maksimum
= $3211,81 \times 1,147$
= 3683 gram / *mold*
- 2) Massa Zeolit = Massa Tanah × % Variasi Campuran
= $3683 \text{ cm}^3 \times 20\%$
= 737 gram
- 3) Massa SP = Massa Tanah × % Variasi Campuran
= $3683 \text{ cm}^3 \times 10\%$
= 368 gram
- 4) Kebutuhan Air = Massa Tanah × Kadar Air Optimum
= $3683 \text{ cm}^3 \times 22,5\%$
= 829 ml

Pada variasi D pengujian dengan satu *mold* CBR, campuran dengan 20% zeolit memerlukan sebanyak 737 gram. Sementara itu, untuk campuran dengan 10% Semen *Portland*, diperlukan 368 gram, serta kebutuhan airnya mencapai 829 ml.

5.3.5 *California Bearing Ratio* (CBR)

Berdasarkan SNI 1744:2012, pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) bertujuan untuk membandingkan beban penetrasi tanah uji dengan beban standar pada kedalaman dan kecepatan tertentu. Pengujian ini menggunakan sampel tanah yang lolos saringan No. 4 dan dilakukan pada kadar air optimum yang diperoleh dari hasil uji pemadatan sebelumnya.



Gambar 5.20 Pembuatan Benda Uji

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Pengujian dilakukan dengan menggunakan variasi jumlah tumbukan sebanyak 10, 30, dan 65 kali. Campuran tanah yang telah ditambahkan bahan stabilisasi dicampur dengan kadar air optimum, lalu dimasukkan ke dalam cetakan uji dalam tiga lapisan. Setiap lapisan dipadatkan sesuai jumlah tumbukan yang telah ditentukan. Proses ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah tumbukan terhadap nilai CBR dari campuran tanah yang diuji.



Gambar 5.21 Perendaman Benda Uji

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Setelah pembuatan benda uji, tahap berikutnya adalah perendaman. Benda uji direndam dan dibiarkan hingga mencapai kondisi jenuh, yang ditandai dengan hilangnya gelembung udara di permukaan air. Setelah itu, ditentukan waktu untuk pembacaan nilai pengembangan (*swelling*), dan benda uji direndam selama 4 hari.

Pengujian CBR di laboratorium dilakukan dengan memutar tuas pada torak untuk menaikkan sampel uji hingga menekan batang penetrasi yang terhubung dengan dial pembacaan. Selama proses ini, pembacaan dilakukan pada dua *dial* utama. *Dial* pertama adalah dial penetrasi, yang berfungsi untuk memastikan laju penurunan penetrasi sesuai dengan kecepatan standar saat tuas diputar. *Dial* kedua merupakan dial pembebanan yang terletak pada *proving ring*, dan digunakan untuk mengukur besarnya tekanan yang diberikan pada sampel. Pembacaan kedua *dial* tersebut digunakan dalam perhitungan nilai CBR. Umumnya, pembacaan dilakukan pada titik penetrasi 0,1 inci dan 0,2 inci, dengan hasil akhir dinyatakan dalam bentuk persentase.



Gambar 5.22 Pengujian CBR Laboratorium

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Berikut ini merupakan contoh hasil dari pengujian CBR Laboratorium yang dilakukan pada sampel variasi B dengan kadar zeolite 10% dan semen *Portland* 10% untuk sampel dengan 10 tumbukan.

a. Menghitung nilai CBR

Pembacaan dilakukan pada interval 0,1 dan 0,2 inci. Pertama, alat harus dalam kondisi baik dan terkalibrasi. Kemudian, benda uji harus dipasang dan disiapkan sebelum pengambilan data.

1) $\text{Beban penetrasi } 0,1 \text{ in} = \text{Kalibrasi } \textit{proving ring} \times \text{pembacaan } \textit{dial}$

$$= 14,938 \text{ lb} \times 11$$

$$= 164,32 \text{ lb}$$

$$2) \text{ Beban penetrasi } 0,2 \text{ in} = \text{Kalibrasi } \textit{proving ring} \times \text{pembacaan } \textit{dial}$$

$$= 14,938 \text{ lb} \times 14$$

$$= 209,13 \text{ lb}$$

Nilai CBR 0,1 dan 0,2 inci dihitung sebagai berikut:

$$1) \text{ CBR } 0,1 \text{ inci} = \frac{\text{Beban penetrasi}}{3000} \times 100$$

$$= \frac{164,32}{3000} \times 100$$

$$= 5,48 \%$$

$$2) \text{ CBR } 0,2 \text{ inci} = \frac{\text{Beban penetrasi}}{3000} \times 100$$

$$= \frac{209,13}{3000} \times 100$$

$$= 4,65 \%$$

Tabel 5.20 Hasil Pengujian CBR Laboratorium Variasi B Z10%+SP10%

Waktu	Proving Ring	Pembacaan Dial	Tekanan (lb/sqin)
(Detik)	Penetrasi (inch)	I	I
15,00	0,0125	3,00	44,81
30,00	0,025	5,00	74,69
60,00	0,050	7,00	104,57
90,00	0,075	9,00	134,44
120,00	0,100	11,00	164,32
180,00	0,150	13,00	194,20
240,00	0,200	14,00	209,13

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Mengacu pada SNI 1744:2012, nilai CBR umumnya diambil dari hasil penetrasi sebesar 0,1 inci. Namun, jika nilai CBR pada penetrasi 0,2 inci ternyata lebih tinggi dibandingkan dengan nilai pada 0,1 inci, maka pengujian perlu dilakukan kembali untuk memastikan keakuratannya. Apabila setelah pengujian ulang nilai pada 0,2 inci tetap lebih besar, maka nilai tersebut yang digunakan sebagai acuan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pada pengujian CBR untuk

variasi B dengan sampel yang diberi 10 kali tumbukan, diperoleh nilai CBR sebesar 5,48%.

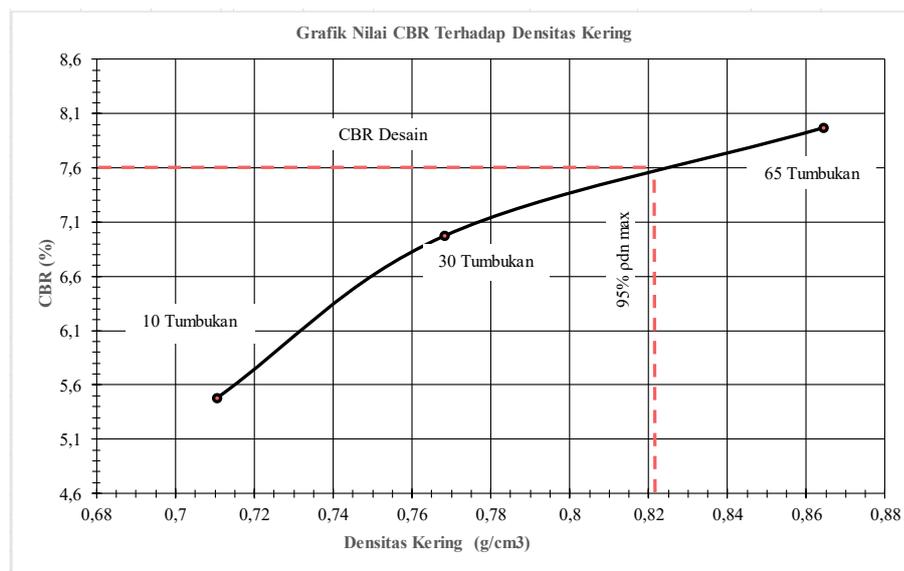
b. Menentukan Nilai CBR Rencana

Setelah dilakukan perhitungan pada sampel dengan variasi tumbukan lainnya, yaitu 30 dan 65 tumbukan, diperoleh rekapitulasi nilai CBR dan densitas kering untuk setiap variasi tumbukan dan sampel. Rekapitulasi nilai CBR dan densitas kering pada variasi B disajikan sebagai berikut.

Tabel 5.21 Hasil CBR Desain Laboratorium Variasi B Z10%+SP10%

Jumlah Tumbukan/Lapis	10	30	65
CBR (%)	5,48	6,97	7,97
Densitas Kering (pd) (g/cm ³)	0,711	0,768	0,864

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)



Gambar 5.23 Grafik Nilai CBR Terhadap Nilai Densitas Kering

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Nilai densitas kering desain didapat dari 95% densitas kering pada sumbu x, kemudian untuk menghitung nilai CBR Rencana ditarik ke atas hingga mengenai grafik dan ditarik ke kiri menuju sumbu y. Sehingga didapat pada sampel variasi B nilai CBR Rencana adalah 7,6%.

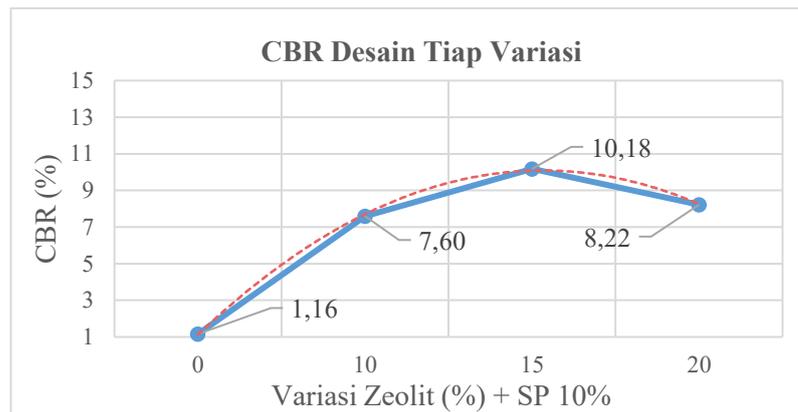
c. Rekapitulasi Nilai *California Bearing Ratio (CBR) Soaked*

Berdasarkan variasi persentase penambahan zeolit dan semen *portland*, berikut adalah rekapitulasi nilai CBR untuk setiap variasi tumbukan:

Tabel 5.22 Rekapitulasi Nilai CBR Tiap Variasi

Variasi	Nilai CBR (%) dan Jumlah Tumbukan			CBR Desain (%)
	10	30	65	
A	0,65	1,00	1,24	1,16
B	5,48	6,97	7,97	7,60
C	6,47	8,46	10,46	10,18
D	6,97	8,46	9,46	8,22

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)



Gambar 5.24 Nilai CBR Desain Tiap Variasi

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Berdasarkan data yang ditunjukkan pada tabel dan grafik pengujian, ditemukan hasil yang cukup bervariasi. Hasil terbaik dicapai pada variasi C sebesar 15% zeolit dan 10% semen *portland*, yang menghasilkan CBR desain 10,18%, jauh lebih tinggi dari hasil awal pada pengujian 100% tanah asli sebesar 1,16%. Kenaikan tersebut disebabkan oleh sifat pozzolanik zeolit, yang mengandung silika dan alumina dalam jumlah tinggi. Ketika dicampur dengan kalsium hidroksida yang merupakan hasil hidrasi dari semen *Portland* ditambah air dan tanah, zeolit bereaksi membentuk senyawa seperti kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang memperkuat ikatan antar partikel tanah, sehingga meningkatkan daya dukung tanah secara signifikan.

Namun, pada variasi D dengan komposisi 20% zeolit dan 10% semen *portland*, nilai CBR justru menurun menjadi 8,22%. Penurunan ini terjadi karena jumlah bahan pengikat yang digunakan melebihi kapasitas reaksi tanah, sehingga sebagian bahan tidak bereaksi secara efektif. Selain itu, kelebihan bahan tambah menyebabkan tanah menjadi terlalu kaku dan rapuh, mengurangi kemampuannya dalam menyerap beban secara optimal.

Tabel 5.23 Kategori Nilai CBR

Nilai CBR (%)	Tingkatan Umum	Kegunaan
0-3	<i>Very Poor</i>	<i>Subgrade</i>
3-7	<i>Poor to Fair</i>	<i>Subgrade</i>
7-20	<i>Fair</i>	<i>Subbase</i>
20-50	<i>Good</i>	<i>Base, or Subbase</i>
>50	<i>Excellent</i>	<i>Base</i>

(Sumber: Braja M. Das. Mekanika tanah Jilid 1. 1995)

Tabel 5.24 Rekapitulasi Kategori Nilai CBR Tiap Variasi

Persentase Bahan Tambah		Nilai CBR (%)	Tingkatan Umum	Kegunaan
Zeolit	Semen <i>Portland</i>			
0	0	1,16	<i>Very Poor</i>	<i>Subgrade</i>
10	10	7,60	<i>Fair</i>	<i>Subbase</i>
15	10	10,18	<i>Fair</i>	<i>Subbase</i>
20	10	8,22	<i>Fair</i>	<i>Subbase</i>

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Tabel 5.20 memperlihatkan bahwa nilai CBR tanah di Jalan Raya Sobang, Desa Cimanis, Kecamatan Sobang, Kabupaten Pandeglang, Banten berada dalam kategori *Very Poor*, dengan nilai CBR awal sebesar 1,16%. Nilai optimum diperoleh pada komposisi 15% zeolit dan 10% semen *portland*, yang menghasilkan nilai CBR sebesar 10,18%. Berdasarkan klasifikasi, nilai tersebut termasuk dalam kategori *Fair* dan dinilai layak untuk digunakan sebagai lapisan perkerasan bawah (*subbase*) pada lokasi penelitian.

5.3.6 Pengujian *Swelling*

Perendaman pada pengujian CBR *soaked* dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui nilai pengembangan (*swelling*) tanah setelah jenuh air. Nilai hasil pengembangan tanah dari pengujian tersebut ditampilkan pada tabel berikut :

Tabel 5.25 Rekapitulasi Nilai *Swelling* CBR *Soaked*

Nilai <i>Swelling</i> (%)			
Pukulan	10	30	65
Var. A (Tanah Asli)	7,17	5,95	4,85
Var. B (Z10% + SP10%)	2,83	2,04	1,65
Var. C (Z15% + SP10%)	1,39	1,27	1,02
Var. D (Z20% + SP10%)	0,57	0,53	0,49

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

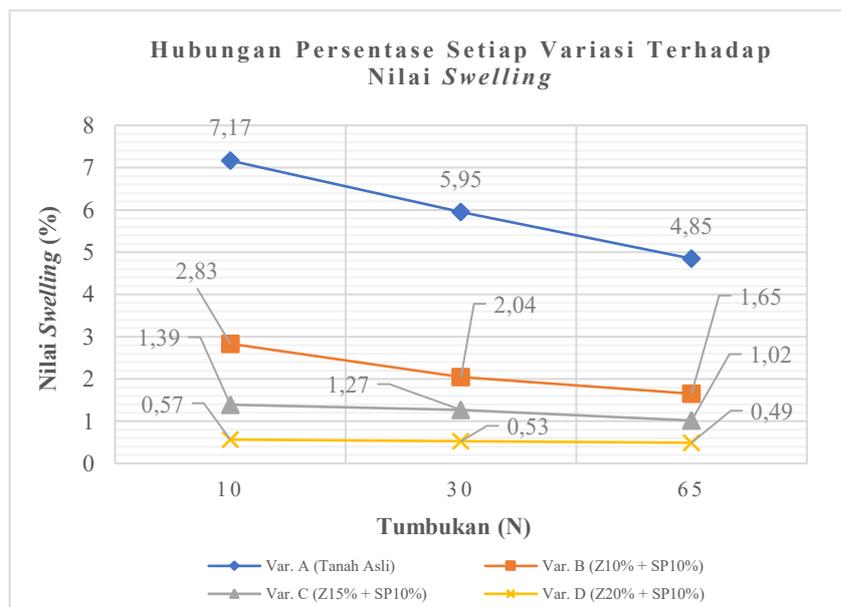
Tabel 5.21 menunjukkan bahwa tanah asli tanpa bahan tambahan memiliki potensi pengembangan (*swelling*) yang tergolong tinggi, dengan nilai mencapai 4,85%, jauh di atas ambang batas 1,5%. Namun, seiring dengan penambahan bahan stabilisasi, nilai pengembangan tanah mengalami penurunan yang signifikan. Pada variasi D dengan 65 pukulan, nilai *swelling* menurun hingga mencapai 0,49%, yang termasuk dalam kategori rendah.

Tabel 5.26 Klasifikasi Nilai *Swelling* CBR *Soaked*

Potensi Pengembangan (%)	Klasifikasi Pengembangan
< 0,5	Rendah
0,5 - 1,5	Sedang
> 1,5	Tinggi

(Sumber: Hary Christady Hardiyatmo. Mekanika tanah Jilid 1. 2012)

Hasil ini menunjukkan bahwa stabilisasi menggunakan zeolit dan semen *portland* efektif dalam mengurangi potensi pengembangan tanah. Penurunan ini terjadi karena pori-pori tanah telah diisi oleh partikel zeolit dan hasil hidrasi semen, sehingga menghambat masuknya air ke dalam struktur tanah. Kondisi tersebut tidak hanya menekan potensi pengembangan, tetapi juga berkontribusi pada peningkatan nilai CBR *soaked*, karena tanah menjadi lebih padat dan stabil setelah proses perendaman.



Gambar 5.25 Grafik Persentase Bahan Tambah terhadap Nilai *Swelling*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Tabel 5.27 Klasifikasi Pengembangan Berdasarkan Hasil Pengujian

Variasi	Pukulan	Nilai <i>Swelling</i>	Klasifikasi Pengembangan
Var. A (Tanah Asli)	10	7,17	Tinggi
	30	5,95	Tinggi
	65	4,85	Tinggi
Var. B (Z10% + SP10%)	10	2,83	Tinggi
	30	2,04	Tinggi
	65	1,65	Tinggi
Var. C (Z15% + SP10%)	10	1,39	Sedang
	30	1,27	Sedang
	65	1,02	Sedang
Var. D (Z20% + SP10%)	10	0,57	Sedang
	30	0,53	Sedang
	65	0,49	Rendah

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Stabilisasi tanah dengan zeolit dan semen *portland* terbukti mampu menurunkan tingkat pengembangan dari kategori tinggi menjadi rendah. Nilai CBR desain tertinggi tercapai pada variasi C (15% zeolit dan 10% semen *portland*) sebesar 10,18%. Tanah dengan potensi pengembangan tinggi berisiko merusak struktur bangunan, terutama saat musim hujan karena tekanan ekspansi yang besar. Selain itu, tanah lempung cenderung mudah tergelincir dan menyebabkan pergerakan tanah. Dengan demikian, zeolit dan semen *portland* efektif digunakan sebagai bahan stabilisasi untuk meningkatkan kekuatan dan kestabilan tanah.

5.4 Perbandingan Kajian Saat Ini dengan Kajian Terdahulu

Hasil berikut adalah analisis perbandingan pembaruan penelitian CBR Terendam penulis tentang Pengaruh Penambahan Zeolit dan Semen *Portland* pada Stabilisasi Tanah Lempung dibandingkan dengan penelitian sebelumnya Pengaruh Penambahan Zeolit Pada Stabilisasi Tanah Lempung.

Tabel 5.28 Perbandingan Nilai CBR *Soaked* Zeolit Terhadap Penelitian Terdahulu

<i>SOAKED</i>			
Nama Peneliti	Bahan Aditif (%)		CBR Desain (%)
	Zeolit	Semen <i>Portland</i>	
Lulu Salsabila (2025)	0	0	1,16
	10	10	7,6

	15	10	10,18
	20	10	8,22
Samer R. Rabab'ah dkk, 2021	0	0	1,8
	10	0	3
	20	0	6
	25	0	9
	30	0	11
Siti Fauziah, (2019)	0	0	1,56
	3	0	2,388
	6	0	2,674
	9	0	2,961
Rian Alfian, (2020)	0	0	0,87
	6	0	0,89
	8	0	1,03
	10	0	1,12
	12	0	1,5
	14	0	1,59

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)



Gambar 5.26 Grafik Perbandingan nilai CBR Soaked Zeolit

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Berdasarkan perbandingan dengan penelitian sebelumnya yang hanya menggunakan zeolit sebagai bahan stabilisasi, diketahui bahwa penambahan Semen Portland sebagai bahan tambah memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan nilai CBR. Peningkatan ini terjadi karena zeolit memiliki kemampuan menyerap air dengan baik, sehingga dapat mengaktifkan senyawa kimia yang

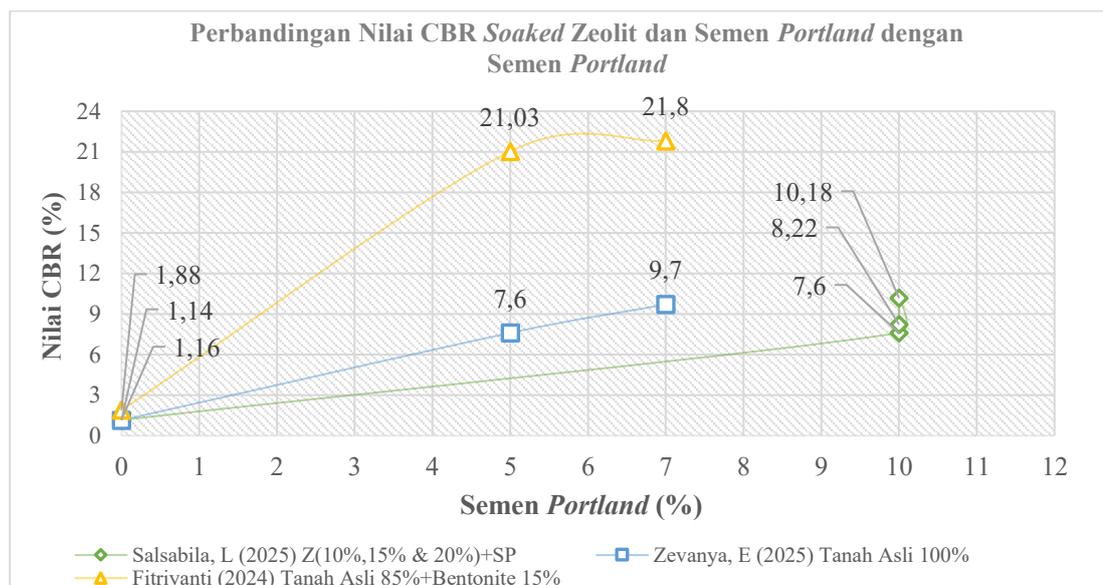
terkandung dalam Semen *Portland*. Aktivasi tersebut mempercepat reaksi hidrasi yang menghasilkan senyawa kalsium silikat hidrat (C-S-H) berupa *gel* yang kemudian mengeras. Proses ini berperan dalam meningkatkan daya ikat antar partikel tanah, sehingga struktur tanah menjadi lebih padat dan kuat.

Hasil berikut adalah analisis perbandingan penelitian CBR Terendam Penulis dengan penambahan Zeolit dan Semen *Portland* untuk stabilisasi tanah dengan pengujian penggunaan bahan tambah Semen *Portland* saja.

Tabel 5.29 Perbandingan Nilai CBR *Soaked* Pengujian Z+SP dan Pengujian SP

SOAKED		
Nama Peneliti	Semen <i>Portland</i> (%)	CBR Desain (%)
Salsabila, L (2025) Z(10%,15% & 20%)+SP	0	1,16
	10	7,6
	10	10,18
	10	8,22
Zevanya, E (2025) Tanah Asli 100%	0	1,14
	5	7,6
	7	9,7
Fitriyanti (2024) Tanah Asli 85%+Bentonite 15%	0	1,88
	5	21,03
	7	21,8

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)



Gambar 5.27 Grafik Perbandingan nilai CBR *Soaked* Semen *Portland*

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Nilai CBR *Soaked* dengan bahan tambah semen *portland* lebih tinggi karena seluruh semen berperan aktif dalam proses hidrasi dan pembentukan ikatan antar partikel tanah. Pada campuran semen *portland* dan zeolit, sebagian semen tergantikan oleh zeolit yang reaktivitasnya lebih rendah, sehingga ikatan yang terbentuk lebih sedikit dan kekuatan tanah menurun, terutama saat kondisi jenuh air.

Hasil berikut adalah analisis perbandingan penelitian CBR Terendam penulis tentang Pengaruh Penambahan Zeolit dan Semen *Portland* pada Stabilisasi Tanah Lempung dibandingkan dengan penelitian sebelumnya.

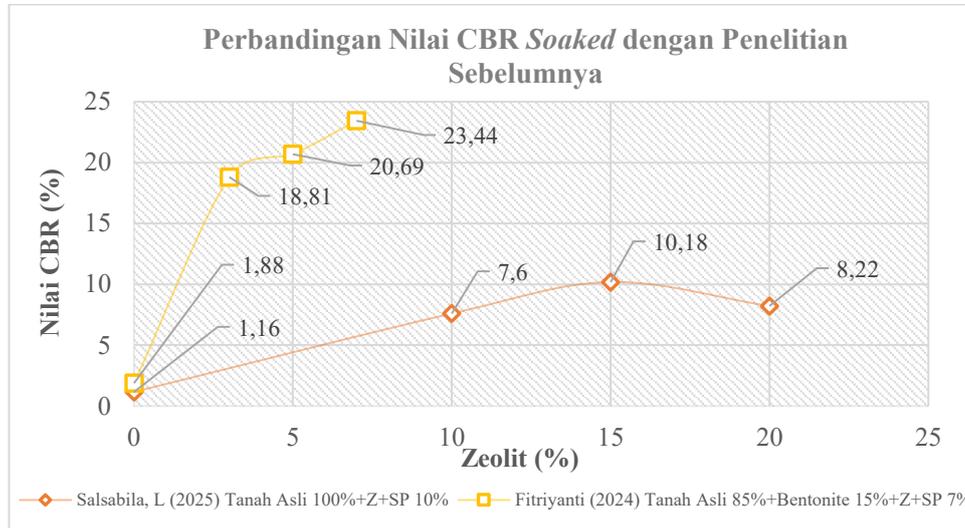
Tabel 5.30 Perbandingan Nilai CBR *Soaked* Zeolit + Semen *Portland*

SOAKED			
Nama Peneliti	Bahan Aditif (%)		CBR Desain (%)
	Zeolit	Semen <i>Portland</i>	
Lulu Salsabila (2025) 100% Tanah Asli	0	0	1,16
	10	10	7,6
	15	10	10,18
	20	10	8,22
Fitriyanti (2024) Tanah Asli 85%+ <i>Bentonite</i> 15%	0	0	1,88
	5	5	16,78
	7	5	18,62
	9	5	19,84
	3	7	18,81
	5	7	20,69
	7	7	23,44

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Berdasarkan hasil perbandingan dalam penelitian ini, diperoleh bahwa nilai CBR pada pengujian substitusi dengan penambahan 15% bentonit terhadap tanah asli mengalami peningkatan dibandingkan dengan penggunaan 100% tanah asli. Peningkatan ini disebabkan oleh karakteristik bentonit yang memiliki partikel sangat halus sehingga mampu mengisi pori-pori tanah secara efektif serta memiliki kemampuan menyerap dan mengikat air yang tinggi. Selain itu, penambahan zeolit dan Semen *Portland* turut berkontribusi dalam meningkatkan kepadatan tanah. Zeolit berperan dalam mengisi rongga yang tersisa dan menyerap air di dalam pori-pori tanah, serta mengaktifkan senyawa kimia yang terkandung di dalam dirinya

maupun pada Semen *Portland*. Proses tersebut mempercepat terbentuknya senyawa kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang kemudian mengeras dan membentuk ikatan antar partikel tanah yang kuat dan padat.



Gambar 5.27 Grafik Perbandingan nilai CBR *Soaked* Zeolit+SP

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Hasil berikut adalah analisis perbandingan nilai pengujian CBR terendam dan tidak terendam terhadap pengaruh penambahan zeolit dan semen *portland* pada stabilisasi tanah lempung.

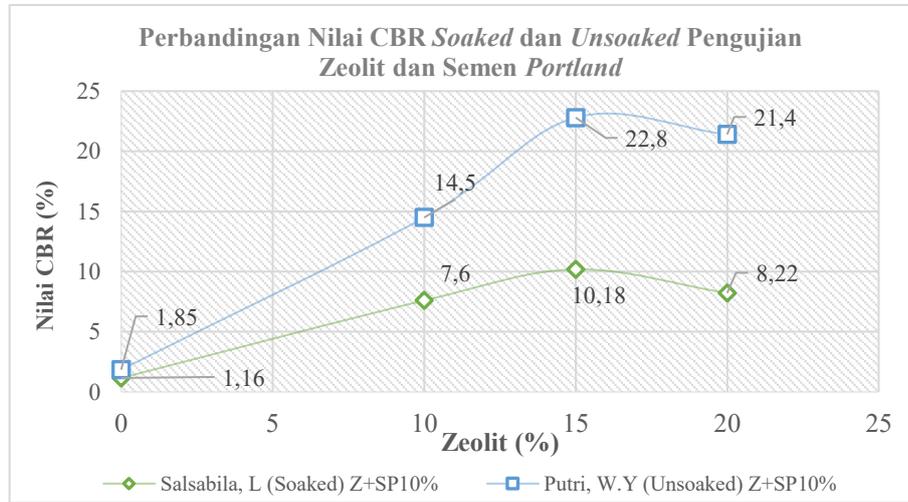
Tabel 5.31 Perbandingan Nilai CBR *Soaked* dan *Unsoaked*

Nama Peneliti	Bahan Aditif (%)		CBR Desain (%)
	Zeolit	Semen <i>Portland</i>	
Lulu Salsabila (2025) <i>Soaked</i>	0	0	1,16
	10	10	7,6
	15	10	10,18
	20	10	8,22
Wiza Yulia Putri (2025) <i>Unsoaked</i>	0	0	1,85
	10	10	14,5
	15	10	22,8
	20	10	21,4

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Pada pengujian tidak terendam (*unsoaked*) nilai CBR memiliki nilai yang lebih tinggi dari pada pengujian terendam hal tersebut dikarenakan pada pengujian

terendam, tanah menyerap air sampai keadaan jenuh sehingga dapat menurunkan daya dukung tanah karena kandungan kadar air yang tinggi yang dimiliki tanah.



Gambar 5.28 Grafik Perbandingan nilai CBR *Soaked* dan *Unsoaked*
(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

Berdasarkan hasil pengujian dalam penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan zeolit sebagai bahan stabilisasi, baik digunakan secara tunggal maupun dikombinasikan dengan semen *Portland*, mampu meningkatkan nilai CBR pada persentase tertentu. Perbedaan nilai CBR yang diperoleh pada setiap variasi dapat disebabkan oleh beberapa faktor berikut:

a. Variasi Penambahan Sampel

Berdasarkan hasil penelitian, diketahui bahwa semakin besar persentase bahan tambah yang digunakan, maka semakin besar pula reaksi yang terjadi serta jumlah produk yang dihasilkan. Namun demikian, apabila bahan tambah diberikan dalam jumlah yang berlebihan, dapat terjadi substitusi reaktif. Hal ini menyebabkan bahan reaktif utama tidak dapat berfungsi secara optimal karena adanya keterlibatan reaktif lain dalam proses reaksi.

b. Ukuran Butiran

Kehalusan butiran zeolit yang digunakan dalam pengujian sangat memengaruhi efektivitas reaksi. Zeolit dengan ukuran partikel yang lebih halus memiliki distribusi yang lebih merata, sehingga mampu menyatu dan mengikat partikel tanah secara lebih optimal. Oleh karena itu, penggunaan zeolit dengan kehalusan tinggi lebih disarankan untuk meningkatkan efektivitas stabilisasi tanah.

c. Kandungan Kimia dari Sampel

Zeolit yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari daerah yang berbeda, sehingga memiliki komposisi kimia yang bervariasi. Perbedaan kandungan kimia tersebut turut memengaruhi kapasitas pertukaran kation (CEC), yang berdampak pada efektivitas reaksi antara zeolit dan tanah dalam proses stabilisasi.

5.5 Tata Cara Pengaplikasian Stabilisasi di Lapangan

Pelaksanaan stabilisasi tanah di lapangan dengan penambahan zeolit dan semen *Portland* mengikuti ketentuan yang tercantum dalam SNI-03-3437-1994. Berikut tahapan yang dapat dilakukan:

- a. Permukaan tanah dibersihkan dari sampah dan benda asing, lalu digemburkan sebelum dilakukan stabilisasi;
- b. Menyebarkan zeolit dan semen *portland* secara merata di atas permukaan tanah, baik dengan cara manual maupun menggunakan alat bantu;
- c. Mengaduk campuran tanah, zeolit, dan semen *Portland* hingga tercampur merata. Selama proses ini, air dapat ditambahkan sedikit demi sedikit sesuai kebutuhan untuk memenuhi standar yang ditetapkan. Ketebalan lapisan campuran di lapangan adalah 30 cm dalam kondisi lepas, disesuaikan dengan alat pencampur yang digunakan;
- d. Pemadatan awal dilakukan dengan mencampur tanah, zeolit, dan semen menggunakan alat pemadat roda karet. Pemadatan dilakukan merata per lapisan: dari tepi ke tengah untuk jalan lurus, dari bawah ke atas untuk tanjakan, dan dari sisi rendah ke tinggi untuk tikungan. Lintasan pertama diawali dengan roda penggerak di depan;
- e. Proses pemadatan diselesaikan dengan alat pemadat roda tandem seperti *tandem roller* atau *smooth wheel roller*;
- f. Memeriksa kepadatan tanah campuran dan mengukur tebal lapisan setelah melalui empat lintasan;
- g. Menjaga kelembaban tanah campuran selama pelaksanaan dan masa perawatan;
- h. Melakukan pengecekan kualitas dan pengendalian mutu secara berkala, termasuk pemeriksaan kelembaban untuk menentukan metode perawatan yang tepat.

Berdasarkan uji CBR di laboratorium, diperoleh bahwa nilai CBR tertinggi ditemukan pada variasi C, yaitu dengan penambahan 15% zeolit dan 10% semen *Portland* dengan tebal pencampuran dilapangan yang digunakan adalah 30 cm. Selanjutnya, dilakukan perhitungan kebutuhan material untuk volume tanah sebesar 1 m³, dengan rincian sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Volume tanah} &= 1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} \\ &= 0,3 \text{ m} \\ \gamma \text{ Dry Maksimum} &= 1,112 \text{ gram/cm}^3 \\ \text{Massa tanah asli} &= \gamma \text{ Dry Maksimum} \times \text{Volume Tanah} \\ &= 1112 \times 0,3 = 333,6 \text{ Kg} \\ \text{Massa zeolit} &= \% \text{ Zeolit} \times \text{Massa Tanah Asli} \\ &= 15\% \times 333,6 \\ &= 50,04 \text{ Kg} \\ \text{Massa SP} &= \% \text{ SP} \times \text{Massa Tanah Asli} \\ &= 10\% \times 333,6 \\ &= 33,36 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Kebutuhan Air Yang Harus Ditambahkan

Tahapan yang dilakukan meliputi pengujian kadar air untuk mengetahui kadar air pada tanah yang akan distabilisasi. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh kadar air optimum sebesar 28,99%, sehingga volume air yang dibutuhkan dapat dihitung sesuai dengan berat tanah kering yang akan dipadatkan:

$$\begin{aligned} \text{Volume air} &= \text{Kadar Air Tanah} \times \text{Total Tanah dan Bahan Tambah} \\ &= 28,99\% \times (333,6 + 50,04 + 33,36) \\ &= 120,89 \text{ Liter} \end{aligned}$$

Tabel 5.32 Rekapitulasi Kebutuhan Stabilisasi Dilapangan

Kebutuhan (m ³)			
Massa Tanah (Kg)	Massa Zeolit (Kg)	Massa SP (Kg)	Volume Air (L)
333,69	50,05	33,37	120,93

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)