



Analisis Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Menambahkan Pasir Kali, Kapur, dan NaOH

Bella Lutfiani Al Zakina^{1*}, Muhammad Ichsan¹, Harjono¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bojonegoro, Bojonegoro, 62119, Indonesia.

*Email korespondensi: bellalutfiani.alzakina01@gmail.com¹

Diterima November 2022; Disetujui Januari 2023; Dipublikasi Januari 2023

Abstract: Genjor Village is a village in Bojonegoro which has a clay soil structure and low soil bearing capacity, large shrinkage and high plasticity. These characteristics will cause structural damage such as bumpy roads, cracked floor slabs, and subsidence of the foundation. So it needs stabilization to increase the bearing capacity of the soil. The purpose of this study was to determine the CBR value in clay with the addition of Kali Laren Sand, Lime and NaOH. The results showed that the original soil had a Liquid Limit (LL) of 79.5%, a Plasticity Index (PI) of 42.4% and a $PI < LL-30$. So according to AASHTO, classified as clay class A-7-6. The CBR value with a mixture of 4% Lime, 3% NaOH and 5% Laren River Sand is 26.1%, Soil with a mixture of 7% Lime, 5% NaOH and 10% Laren River Sand is 30.37%, Soil with a mixture of 10% Lime, 7% NaOH and 15% Kali Laren Sand amounted to 49.83% of the original soil CBR value of 19.46%. The CBR value reached the optimum stability in a mixture of 10% Lime + 7% NaOH and 15% Laren River Sand which could increase the CBR value by 30.37%.

Keywords: Clay, Soil Stabilization, CBR.

Abstrak: Desa Genjor merupakan desa di Bojonegoro yang memiliki struktur tanah lempung dan daya dukung tanah yang rendah, susut yang besar dan plastisitas yang tinggi. Karakteristik tersebut akan menyebabkan kerusakan struktural seperti jalan bergelombang, pelat lantai retak, dan penurunan pondasi. Sehingga diperlukan stabilisasi untuk meningkatkan daya dukung tanah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai CBR pada lempung dengan penambahan Pasir Kali Laren, Kapur dan NaOH. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanah asli memiliki Batas Cair (LL) sebesar 79,5%, Indeks Plastisitas (PI) sebesar 42,4% dan $PI < LL-30$. Jadi menurut AASHTO, tergolong tanah liat kelas A-7-6. Nilai CBR dengan campuran 4% Kapur, 3% NaOH dan 5% Pasir Kali Laren adalah 26,1%, Tanah dengan campuran 7% Kapur, 5% NaOH dan 10% Pasir Kali Laren adalah 30,37%, Tanah dengan campuran Kapur 10%, NaOH 7% dan Pasir Kali Laren 15% sebesar 49,83% dari nilai CBR tanah asli sebesar 19,46%. Nilai CBR mencapai kestabilan optimum pada campuran 10% Kapur + 7% NaOH dan 15% Pasir Kali Laren yang dapat meningkatkan nilai CBR sebesar 30,37%.

Kata kunci : Lempung, Stabilisasi Tanah, CBR.

Dalam dunia geoteknik, tanah merupakan salah satu unsur penting yang pastinya akan selalu berhubungan dengan pekerjaan struktural dalam bidang teknik sipil, baik sebagai bahan bangunan maupun sebagai pendukung pondasi dari bangunan. Tanah yang dipergunakan dalam pekerjaan Teknik Sipil memiliki beberapa kriteria, diantaranya haruslah mempunyai indeks plastisitas $< 17\%$ karena tanah yang mempunyai indeks plastisitas $> 17\%$ dapat mempengaruhi masalah teknis. Sifat tanah ini mudah menyerap air dan menyebabkan kembang susut yang besar. Tanah dengan $IP > 17\%$ dikategorikan sebagai tanah lempung.

Sampel Tanah yang diambil Desa Genjor Kecamatan Sugihwaras Kabupaten Bojonegoro. Di desa ini adalah salah satu contoh tanah lempung. Kondisi tanah ditempat ini waktu musim penghujan yaitu ketika kadar airnya meningkat akan mengembang, becek, dan sangat liat, akan tetapi ketika musim kemarau kondisi tanahnya akan menyusut dan retak-retak membentuk bongkahan-bongkahan pada permukaannya. Ini merupakan ciri tanah ekspansif dimana kondisi kembang susutnya menyebabkan kerusakan pada bangunan seperti retak-retak pada tembok rumah, pecah-pecah pada lantai, dan jalan aspal yang pecah dan bergelombang (Meliyana et al., 2022; Salim & Rahmawati, 2019).

Pada penelitian ini penulis akan mencoba memperbaiki tanah lempung dari Desa Genjor Kecamatan Sugihwaras Kabupaten Bojonegoro. dengan penambahan persentase pasir kali Laren 5% kapur 4% NaOH 3%, pasir kali Laren 10% kapur 7% NaOH 5%, pasir kali Laren 15% kapur 10%

NaOH 7% untuk meningkatkan nilai kuat tekan bebas dan daya dukung tanah.

KAJIAN PUSTAKA

Stabilitas Tanah

Stabilisasi tanah adalah pencampuran tanah dengan bahan tertentu, guna untuk memperbaiki sifat-sifat tanah. Proses stabilisasi tanah meliputi pencampuran tanah dengan tanah lain untuk memperoleh gradasi ukuran yang diinginkan.

Dalam pembangunan perkerasan jalan, stabilisasi tanah di definisikan sebagai perbaikan material jalan lokal yang ada, dengan cara stabilisasi mekanis atau dengan cara menambahkan suatu bahan tambah (*additive*) ke dalam tanah. Bahan additive yang dapat digunakan seperti fly ash (Rahmawati et al., 2021), *copper slag* (Ahmad et al., 2022), *calcium carbide* (Rahmawati et al., 2020) dan lainnya. Dalam perancangan perkerasan jalan, kualitas setiap lapisan pembentuk perkerasan harus memenuhi syarat tertentu. Setiap komponen lapis perkerasan harus mampu menahan geseran, lendutan yang menyebabkan retaknya lapisan di atasnya.

Tanah Lempung

Tanah lempung adalah susunan kelompok partikel berukuran koloid dengan diameter butiran lebih kecil dari 0,002 mm yang merupakan hasil dari pelapukan tanah akibat reaksi kimia. Partikel lempung berbentuk seperti lembaran yang mempunyai permukaan khusus, sehingga lempung mempunyai sifat sangat dipengaruhi oleh gaya-gaya permukaan. Susunan kebanyakan tanah

lempung terdiri dari silika tetrahedral dan aluminium. (Hary Christady H, 2002)

Pasir (Agregat Halus)

Berdasarkan SNI 03-6820-2002, agregat halus adalah agregat besar butir maksimum 4,76 mm berasal dari alam atau hasil alam, sedangkan agregat halus olahan adalah agregat halus yang dihasilkan dari pecahan dan pemisahan butiran dengan cara penyaringan atau cara lainnya dari batuan atau terak tanur tinggi.

NaOH

Natrium hidroksida adalah bahan dasar populer yang digunakan di industri. Sekitar 56% Natrium hidroksida yang dihasilkan digunakan oleh industri, 25% di antaranya digunakan oleh industri kertas. Natrium hidroksida juga digunakan dalam pembuatan garam Natrium dan deterjen, regulasi pH, dan sintesis organik. Ini digunakan dalam proses produksi aluminium Bayer, secara massal Natrium hidroksida paling sering ditangani sebagai larutan berair. karena lebih murah dan mudah ditangani (Kurt dan Bittner, 2006). Selain itu, natrium hidroksida memiliki sifat dapat memodifikasi permukaan material dan membuang kotoran lemak dan lainnya yang dapat mengurangi bonding antar material (Handayani et al., 2020, 2022; Meliyana et al., 2019).

Kapur

Kapur merupakan salah satu material yang cukup efektif untuk proses stabilisasi tanah. Stabilisasi tanah dengan kapur sangat lazim digunakan dalam penelitian dengan berbagai jenis

tanah mulai dari tanah lempung biasa sampai tanah lempung ekspansif. Kapur yang biasa digunakan dalam stabilisasi adalah kapur hidup CaO dan Ca(OH)_2 . Kapur yang digunakan dalam penelitian ini adalah kapur bubuk (CaO) yang dibeli di toko material. Kapur tersebut berasal dari batu kapur (CaCO_3) yang telah dibakar sampai dengan suhu 1000 oC. Kapur hasil pembakaran apabila ditambahkan air akan mengembang dan retak retak. Banyak panas yang keluar (seperti mendidih) selama proses ini, hasilnya adalah kalsium hidroksida Ca(OH)_2 . Apabila kapur dan mineral lempung atau mineral halus lainnya bereaksi, maka akan membentuk suatu gel yang kuat, yaitu kalsium silikat yang mengikat butir – butir atau partikel yahan (Ingles dan Metcalf, 1972).

Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi AASHTO berguna untuk menentukan kualitas tanah guna pekerjaan jalan yaitu lapis dasar (*subbase*) dan tanah dasar (*subgrade*). Karena sistem ini ditujukan untuk pekerjaan jalan tersebut, maka penggunaan sistem ini dalam prakteknya harus dipertimbangkan terhadap maksud aslinya. Sistem ini membagi tanah ke dalam 7 kelompok utama yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah 10 yang diklasifikasikan ke dalam A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah berbutir di mana 35 % atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No. 200. Tanah di mana lebih dari 35 % butirannya tanah lolos ayakan No. 200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5 A-6, dan A-7. Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung. Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria di bawah ini:

a. Ukuran Butir

- 1.) Kerikil : bagian tanah yang lolos ayakan diameter 75 mm (3 in) dan yang tertahan pada ayakan No. 10 (2 mm).
- 2.) Pasir : bagian tanah yang lolos ayakan No. 10 (2 mm) dan yang tertahan pada ayakan No. 200 (0.075 mm).
- 3.) Lanau dan lempung : bagian tanah yang lolos ayakan No. 200.

b. Plastisitas

Nama berlanau dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis sebesar 10 atau kurang. Nama berlempung dipakai bilamana bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis indeks plastisnya 11 atau lebih.

Apabila batuan (ukuran lebih besar dari 75 mm) di temukan di dalam contoh tanah yang akan ditentukan klasifikasi tanahnya, maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu. Tetapi, persentase dari batuan yang dikeluarkan tersebut harus dicatat.

Catatan:

Kelompok A-7 dibagi atas A-7-5 dan A-7-6 bergantung pada batas plastisnya (PL) Untuk $PL > 30$, klasifikasinya A-7-5; Untuk $PL < 30$, klasifikasinya A-7-6. NP = Non Plastis.

Kadar Air Tanah

Tanah berguna sebagai bahan bangunan khususnya pada tanah dasar (*subgrade*) pada pekerjaan perkerasan jalan. Segumpal tanah terdiri dari dua atau tiga bagian. Pada kondisi kering, tanah terdiri dari dua butiran, yakni butir-butir tanah dan pori-pori udara. Pada kondisi jenuh air, tanah terdiri dari dua bagian yakni butir-butir tanah dan air pori. Pada kondisi tidak jenuh air (natural), tanah terdiri dari tiga bagian, yaitu butir-butir tanah, pori-pori udara dan air pori. Pedoman pengujian kadar air mengikuti prosedur ASTM D-2216-71 dan untuk menghitung kadar air tanah dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan di bawah ini :

$$W = \frac{M_2 - M_3}{M_3 - M_1} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana :

W = kadar air (%)

M1 = berat cawan kosong (gram)

M2 = berat cawan + tanah basah (gram)

M3 = berat cawan + tanah kering (gram)

Batas-batas Konsistensi Tanah (*Atterberg Limit*)

Suatu hal yang penting pada tanah berbutir halus adalah sifat plastisitasnya. Plastisitas disebabkan oleh adanya partikel mineral lempung dalam tanah. Istilah plastisitas menggambarkan kemampuan tanah dalam

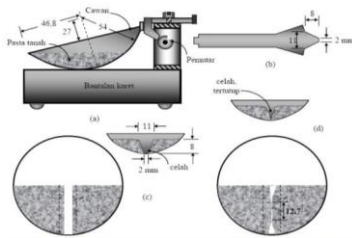
Klasifikasi umum	Tanah berbutir (5% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
	A-1		A-3	A-2			
Klasifikasi kelompok	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisis ayakan (% lolos) No.10 No.40 No.200	Maks 50 Maks 30 Maks 15	Maks 50 Maks 25	Min 51 Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35
Sifit fraksi yang lolos ayakan No.40 Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	Maks 6		NP	Maks 40 Maks 10	Min 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						
Klasifikasi umum	Tanah berbutir (Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
	A-4		A-5	A-6	A-7		
Klasifikasi kelompok					A-7-5	A-7-6	
Analisis ayakan (% lolos) No.10 No.40 No.200	Min 36		Min 36	Min 36	Min 36		
Sifit fraksi yang lolos ayakan No.40 Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	Maks 40 Maks 10		Min 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11		
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau			Tanah Berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek						

Gambar 1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO (Hardiyatmo,1992)

menyesuaikan perubahan bentuk pada volume yang konstan tanpa retak-retak atau remuk. Batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar air tanah. Batas-batas tersebut adalah batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastis limit*), dan batas susut (*shrinkage limit*).

a. Batas cair (Liquid Limit)

Batas *Atterberg* pada kondisi batas cair didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis. Batas cair ditentukan dari pengujian *Cassagrande*. Gambar skematis alat pengukur batas cair dan alat penggores seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema Alat Uji Cassagrande dan Skema sampel tanah sebelum dan sesudah pengujian

b. Plastis (*Plastis Limit*)

Batas Plastis (PL) didefinisikan sebagai kadar air pada batas bawah daerah plastis atau kadar air minimum dimana tanah dapat digulung-gulung sampai diameter 3,1 mm (1/8 inchi). Batas plastis ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Batas plastis} = \frac{\text{berat massa air}}{\text{berat massa tanah kering}} \times 100\% \quad (2)$$

c. Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks plastisitas (PI) adalah selisih batas cair dan batas plastis :

$$PI = LL - PL \quad (3)$$

Indeks plastisitas (PI) merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis.

d. Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Batas susut (SL), didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah.

Berat Jenis Tanah

Berat jenis tanah dari butiran tanah (bagian padat) sering dibutuhkan dalam bermacam-macam keperluan perhitungan dalam mekanika tanah. Perhitungan berat jenis tanah dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$Gs = \frac{M2 - M1}{(M2 - M1) - (M3 - M4)} \quad (4)$$

Dimana :

G_s = berat jenis tanah

M_1 = berat piknometer kosong (gram)

M_2 = berat piknometer + tanah kering (gram)

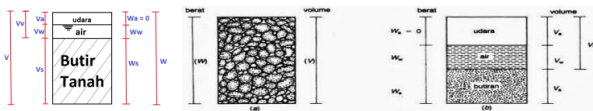
M_3 = berat piknometer + tanah + air (gram)

M_4 = berat piknometer + air (gram)

Pemadatan tanah

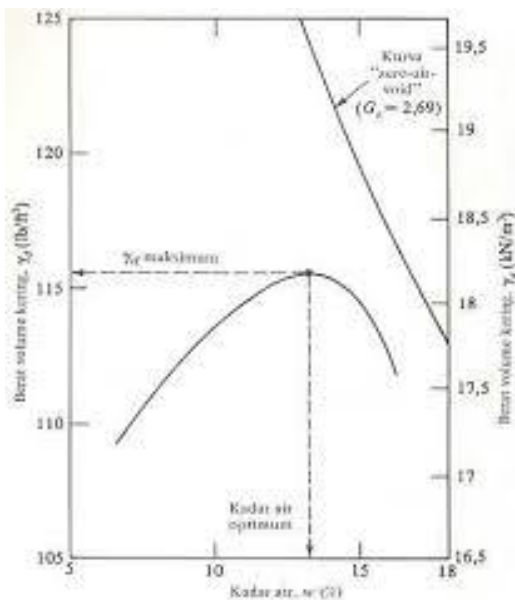
Pemadatan tanah ialah proses naiknya kerapatan tanah dengan memperkecil jarak antar partikel sehingga terjadi reduksi volume udara. Pengujian pemadatan standart untuk mengevaluasi tanah agar memenuhi persyaratan pemadatan, maka umumnya dilakukan pengujian pemadatan.

Tanah dipadatkan dalam 3 (tiga) lapisan dengan tiap lapisan ditumbuk sebanyak 25 kali pukulan. Derajat kepadatan yang bisa diperoleh tergantung pada usaha pemadatan, kepadatan awal, kandungan air dan kandungan udara. Komposisi masing-masing bagian tanah dapat dihitung menurut konsep sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. berdasarkan konsep tersebut, hasil pemadatan bisa dinyatakan dengan berat isi kering dan kadar air. Untuk keperluan praktis, berat jenis tanah selama pemadatan dianggap tetap.



Gambar 3. Skema bagian-bagian Tanah

Grafik hubungan kadar air optimum dan berat volume kering maksimum, diperhatikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva kadar air dengan berat volume kering (Hardiyatmo,2002)

California Bearing Ratio (CBR) Laboratorium

California Bearing Ratio (CBR) adalah perbandingan antara beban penetrasi dengan suatu bahan terhadap bahan standar pada kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Tanah dipadatkan dengan jumlah lapisan yang sama. Untuk mendapatkan nilai CBR yang sesuai maka tanah disiapkan dan dipadatkan sebanyak 3 sampel dimana-mana masing-masing dipadatkan sebanyak 10x, 30x, 65x tumbukan per lapisnya. Tanah yang dipadatkan adalah tanah asli dari pengujian pemadatan dengan kondisi kadar air optimum.

Nilai CBR yang diambil pada pemadatan tanah dengan kondisi kadar air tanah optimum akan di dapat 2 nilai, yakni CBR *Unsoaked Acering* (tanpa perendaman) dan CBR *Soaked*/basah (dengan perendaman 4 x 24).

METODE PENELITIAN

Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Program Studi Teknik Sipil Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro. Sampel tanah yang digunakan adalah jenis tanah lempung dari Desa Genjor Kecamatan Sugihwaras Kabupaten Bojonegoro. Untuk Pasir kali didapatkan dari Desa Genjor Kecamatan Sugihwaras Kabupaten Bojonegoro. Sedangkan kapur yang digunakan adalah kapur padam yang di dapatkan dari pembakaran batu kapur di Desa Talun Kecamatan Plumpang Kabupaten Tuban dan NaOH yang digunakan didapatkan dari toko material di Bojonegoro. Pada pengujian ini digunakan tanah lempung, pasir Kali Laren, kapur serta NaOH disiapkan untuk tiap-tiap pengujian yang lolos ayakan No. 4.

Data Yang Digunakan

Data yang akan digunakan dalam stabilisasi ini adalah:

1. Data primer yaitu data-data hasil pengamatan di Laboratorium Universitas Bojonegoro.
2. Data sekunder yaitu didapatkan dari studi literature tentang jenis dan karakter tanah.

Variabel

Penelitian yang dilakukan terdapat beberapa variabel yang saling berkaitan satu dengan lainnya. Variabel-variabel tersebut antara lain sebagai berikut:

- a. Variabel bebas: Stabilisasi tanah dengan menambahkan Pasir Kali Laren 5%(250Gram) + Kapur 4%(200 Gram) + NaOH 3%(150 Gram); Pasir Kali Laren 10%(500Gram) + Kapur 7%(350 Gram) + NaOH 5%(250 Gram); Pasir Kali Laren 15(750 Gram)% + Kapur 10%(500 Gram) + NaOH 7%(350 Gram).
- b. Variabel terikat: Nilai CBR (*California Bearing Ratio*) tanah asli.
- c. Variabel control: Tanah lempung asli.

HASIL DAN PEMBAHASAN

California Bearing Ratio (CBR) tanpa perendaman Tanah Asli

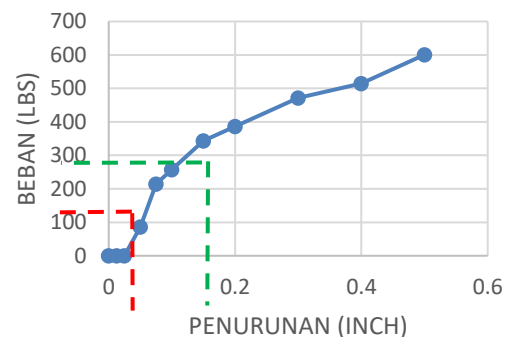
Dalam penentuan kadar air pada penelitian ini digunakan aturan SNI 1744:2012. Dalam perhitungan nilai CBR ini digunakan nilai CBR tertinggi dari pengujian di laboratorium tanpa perendaman (*unsoaked*), dengan nilai CBR sebesar 19.46%.

Tabel 1. Hasil Pengujian CBR Tanah Asli 10 Tumbukan

Waktu (menit)	Penetrasi		Pembacaan arloji ukur beban Div	Beban Penetrasi = Pembacaan arloji * k	
	Mm	in		kN	Lb
0	0	0	0	0	0
¼	0.32	0.0125	0	0	0
½	0.64	0.0250	0	0	0
1	1.27	0.0500	2	0.38	85.8
1½	1.91	0.0750	5	0.95	214.5
2	2.54	0.1000	6	1.14	257.4
3	3.81	0.1500	8	1.52	343.2
4	5.08	0.2000	9	1.71	386.1
6	7.62	0.3000	11	2.09	471.9
8	10.16	0.4000	12	2.28	514.8
10	12.70	0.5000	14	2.66	600.6

Tabel 2. Perhitungan CBR Nilai CBR

2,54 mm			0,1 in		
=	8,54		=	8,58	%
5,08 mm			0,2 in		
=	8,54		=	8,58	%



Gambar 5. Grafik CBR Laboratorium 10 Tumbukan

Tabel 3. Hasil Pengujian CBR Tanah Asli 30 Tumbukan

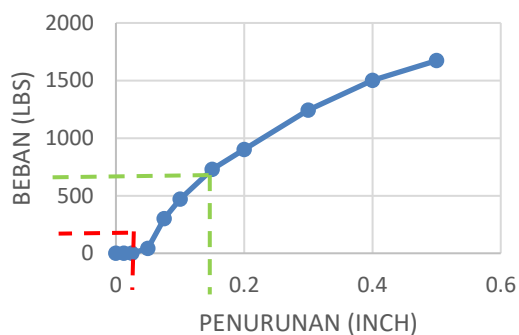
Waktu (menit)	Penetrasi		Pembacaan arloji ukur beban Div	Beban Penetrasi = Pembacaan arloji * k	
	mm	in		kN	Lb
0	0	0	0	0	0
¼	0,32	0.0125	0	0	0
½	0,64	0.0250	0	0	0
1	1,27	0.0500	1	0.19	42.9
1½	1,91	0.0750	7	1.33	300.3
2	2,54	0.1000	11	2.09	471.9
3	3,81	0.1500	17	3.23	729.3
4	5,08	0.2000	21	3.99	900.9
6	7,62	0.3000	29	5.51	1244.1
8	10,16	0.4000	35	6.65	1501.5
10	12,70	0.5000	39	7.41	1673.1

Tabel 5. Hasil Pengujian CBR Tanah Asli 65 Tumbukan

Waktu (menit)	Penetrasi		Pembacaan arloji ukur beban Div	Beban Penetrasi = Pembacaan arloji * k	
	mm	in		kN	lb
0	0	0	0	0	0
¼	0,32	0.0125	4	0.76	171.6
½	0,64	0.0250	8	1.52	343.2
1	1,27	0.0500	14	2.66	600.6
1½	1,91	0.0750	20	3.8	858
2	2,54	0.1000	24	4.56	1029.6
3	3,81	0.1500	28	5.32	1201.2
4	5,08	0.2000	31	5.89	1329.9
6	7,62	0.3000	38	7.22	1630.2
8	10,16	0.4000	42	7.98	1801.8
10	12,70	0.5000	46	8.74	1973.4

Tabel 4. Perhitungan CBR Nilai CBR

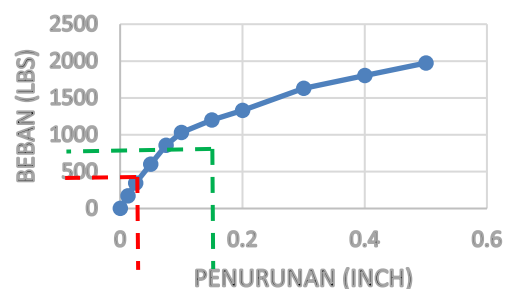
2,54 mm			0,1 in		
=	15.66		=	15.66	%
5,08 mm			0,2 in		
=	19.93		=	20.02	%



Gambar 6. Grafik CBR Laboratorium 30 Tumbukan

Tabel 6. Perhitungan CBR Nilai CBR

2,54 mm			0,1 in		
=	34.17		=	34.32	%
5,08 mm			0,2 in		
=	29.42		=	29.55	%



Gambar 7. Grafik CBR Laboratorium 65 Tumbukan

Nilai hasil masing-masing CBR pertumbukan dengan rumus : $(P/3000 \times 100)$ di dapat nilai rata-rata penetrasi 0,1 inch :

$$(8.54 + 15.66 + 34.17)/3 = 19.46\%$$

Nilai hasil masing-masing CBR pertumbukan dengan rumus : $(P/4500 \times 100)$ di dapat nilai rata-rata penetrasi 0,2 inch :

$$(8.54 + 19.93 + 29.42)/3 = 19.30\%$$

Untuk nilai CBR Laboratorium yang digunakan adalah nilai CBR paling tinggi yaitu 19.46%.

California Bearing Ratio (CBR) tanpa perendaman Tanah + 4% Kapur + 3% NaOH + 5% Pasir Kali Laren

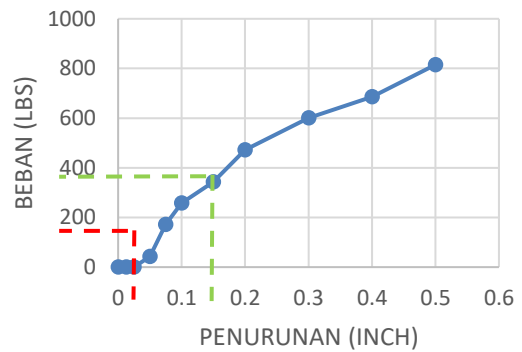
Dalam penentuan kadar air pada penelitian ini digunakan aturan SNI 1744:2012. Dalam perhitungan nilai CBR ini digunakan nilai CBR tertinggi dari pengujian di laboratorium tanpa perendaman (unsoaked), dengan nilai CBR sebesar 26.1 %.

Tabel 7. Hasil Pengujian CBR Tanah 10 Tumbukan

Waktu (menit)	Penetrasi		Pembacaan arloji ukur beban Div	Beban Penetrasi = Pembacaan arloji * k	
	mm	in		kN	Lb
0	0	0	0	0	0
¼	0,32	0.0125	0	0	0
½	0,64	0.0250	0	0	0
1	1,27	0.0500	1	0.19	42.9
1½	1,91	0.0750	4	0.76	171.6
2	2,54	0.1000	6	1.14	257.4
3	3,81	0.1500	8	1.52	343.2
4	5,08	0.2000	11	2.09	471.9
6	7,62	0.3000	14	2.66	600.6
8	10,16	0.4000	16	3.04	686.4
10	12,70	0.5000	19	3.61	815.1

Tabel 8. Perhitungan CBR Nilai CBR

2,54 mm			0,1 in		
=	8.54		=	8.58	%
5,08 mm			0,2 in		
=	10.44		=	10.49	%



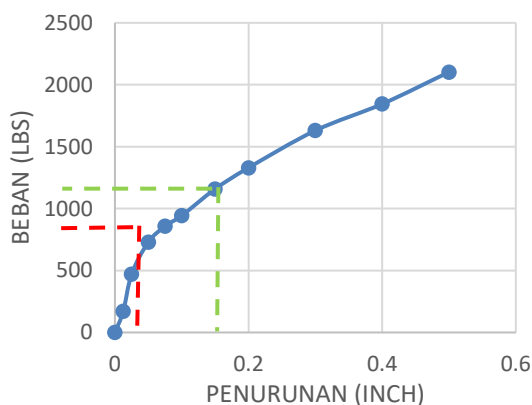
Gambar 8. Grafik CBR Laboratorium 10 Tumbukan 4%Kapur + 3% NaOH dan 5% Pasir Kali Laren

Tabel 9. Hasil Pengujian CBR Tanah 30 Tumbukan

Waktu (mniit)	Penetrasi		Pembacaan arloji ukur beban Div	Beban Penetrasi = Pembacaan arloji * k	
	mm	in		kN	Lb
0	0	0	0	0	0
¼	0,32	0.0125	4	0.76	171.6
½	0,64	0.0250	11	2.09	471.9
1	1,27	0.0500	17	3.23	729.3
1½	1,91	0.0750	20	3.8	858
2	2,54	0.1000	22	4.18	943.8
3	3,81	0.1500	27	5.13	1158.3
4	5,08	0.2000	31	5.89	1329.9
6	7,62	0.3000	38	7.22	1630.2
8	10,16	0.4000	43	8.17	1844.7
10	12,70	0.5000	49	9.31	2102.1

Tabel 10. Perhitungan CBR Nilai CBR

2,54 mm		0,1 in	
=	31.32	=	31.46 %
5,08 mm		0,2 in	
=	29.42	=	29.55 %



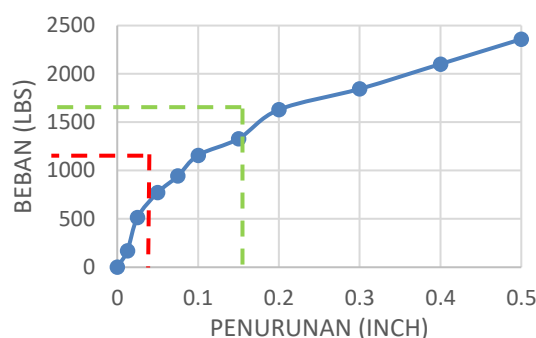
Gambar 9. Grafik CBR Laboratorium 30 Tumbukan 4%Kapur + 3% NaOH dan 5% Pasir Kali Laren

Tabel 11. Hasil Pengujian CBR Tanah 65 Tumbukan

Waktu (menit)	Penetrasi		Pembacaan arloji ukur beban Div	Beban Penetrasi = Pembacaan arloji * k	
	mm	in		kN	Lb
0	0	0	0	0	0
¼	0,32	0.0125	4	0.76	171.6
½	0,64	0.0250	12	2.28	514.8
1	1,27	0.0500	18	3.42	772.2
1½	1,91	0.0750	22	4.18	943.8
2	2,54	0.1000	27	5.13	1158.3
3	3,81	0.1500	31	5.89	1329.9
4	5,08	0.2000	38	7.22	1630.2
6	7,62	0.3000	43	8.17	1844.7
8	10,16	0.4000	49	9.31	2102.1
10	12,70	0.5000	55	10.45	2359.5

Tabel 12. Perhitungan CBR Nilai CBR

2,54 mm		0,1 in	
=	38.44	=	38.61 %
5,08 mm		0,2 in	
=	36.07	=	36.23 %



Gambar 10. Grafik CBR Laboratorium 65 Tumbukan 4%Kapur + 3% NaOH dan 5% Pasir Kali Laren

Nilai hasil masing-masing CBR pertumbukan dengan rumus : $(P/3000 \times 100)$ di dapat nilai rata-rata penetrasi 0,1 inch :

$$8.54 + 31.32 + 38.44/3 = 26.1 \%$$

Nilai hasil masing-masing CBR pertumbukan dengan rumus : $(P/4500 \times 100)$ di dapat nilai rata-rata penetrasi 0,2 inch :

$$10.44 + 29.42 + 36.06/3 = 25.31 \%$$

Untuk nilai CBR Laboratorium yang digunakan adalah nilai CBR paling tinggi yaitu 26.1 %.

California Bearing Ratio (CBR) tanpa perendaman Tanah + 7% Kapur + 5% NaOH + 10 Pasir Kali Laren

Dalam penentuan kadar air pada penelitian ini digunakan aturan SNI 1744:2012. Dalam perhitungan nilai CBR ini digunakan nilai CBR

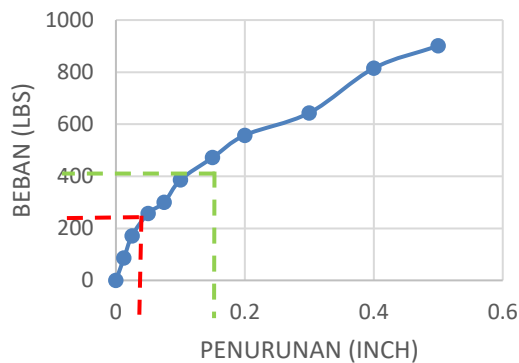
tertinggi dari pengujian di laboratorium tanpa perendaman (*unsoaked*), dengan nilai CBR sebesar 30.37 %.

Tabel 13. Hasil Pengujian CBR Tanah 10 Tumbukan

Waktu (mmit)	Penetrasi		Pembacaan arloji ukur beban Div	Beban Penetrasi = Pembacaan arloji * k	
	mm	in		kN	Lb
0	0	0	0	0	0
¼	0,32	0.0125	2	0.38	85.8
½	0,64	0.0250	4	0.76	171.6
1	1,27	0.0500	6	1.14	257.4
1½	1,91	0.0750	7	1.33	300.3
2	2,54	0.1000	9	1.71	386.1
3	3,81	0.1500	11	2.09	471.9
4	5,08	0.2000	13	2.47	557.7
6	7,62	0.3000	15	2.85	643.5
8	10,16	0.4000	19	3.61	815.1
10	12,70	0.5000	21	3.99	900.9

Tabel 14. Perhitungan CBR Nilai CBR

2,54 mm			0,1 in		
=	12.81	%	=	12.87	%
5,08 mm			0,2 in		
=	12.34	%	=	12.39	%



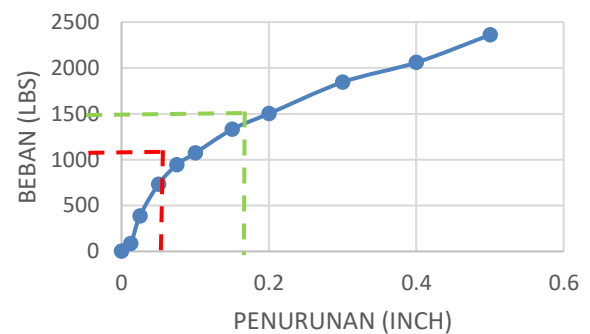
Gambar 11. Grafik CBR Laboratorium 10 Tumbukan 7% Kapur + 5% NaOH dan 10% Pasir Kali Laren

Tabel 15. Hasil Pengujian CBR Tanah 30 Tumbukan

Waktu (menit)	Penetrasi		Pembacaan arloji ukur beban Div	Beban Penetrasi = Pembacaan arloji * k	
	mm	in		kN	lb
0	0	0	0	0	0
¼	0,32	0.0125	2	0.38	85.8
½	0,64	0.0250	9	1.71	386.1
1	1,27	0.0500	17	3.23	729.3
1½	1,91	0.0750	22	4.18	943.8
2	2,54	0.1000	25	4.75	1072.5
3	3,81	0.1500	31	5.89	1329.9
4	5,08	0.2000	35	6.65	1501.5
6	7,62	0.3000	43	8.17	1844.7
8	10,16	0.4000	48	9.12	2059.2
10	12,70	0.5000	55	10.45	2359.5

Tabel 16. Perhitungan CBR Nilai CBR

2,54 mm			0,1 in		
=	35.59	%	=	35.75	%
5,08 mm			0,2 in		
=	33.22	%	=	33.37	%



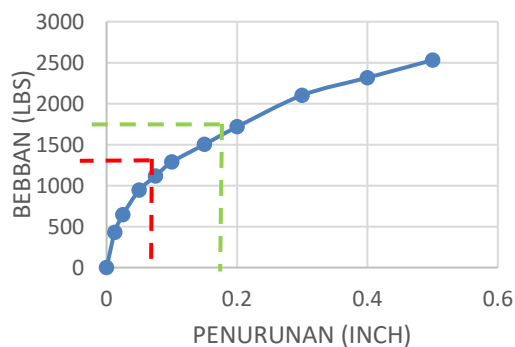
Gambar 12. Grafik CBR Laboratorium 30 Tumbukan 7% Kapur + 5% NaOH dan 10% Pasir Kali Laren

Tabel 17. Hasil Pengujian CBR Tanah 65 Tumbukan

Waktu (menit)	Penetrasi		Pembacaan arloji ukur beban Div	Beban Penetrasi = Pembacaan arloji * k	
	mm	in		kN	Lb
0	0	0	0	0	0
¼	0,32	0.0125	10	1.9	429
½	0,64	0.0250	15	2.85	643.5
1	1,27	0.0500	22	4.18	943.8
1½	1,91	0.0750	26	4.94	1115.4
2	2,54	0.1000	30	5.7	1287
3	3,81	0.1500	35	6.65	1501.5
4	5,08	0.2000	40	7.6	1716
6	7,62	0.3000	49	9.31	2102.1
8	10,16	0.4000	54	10.26	2316.6
10	12,70	0.5000	59	11.21	2531.1

Tabel 18. Perhitungan CBR Nilai CBR

2,54 mm	0,1 in
= 42.71	= 42.90 %
5,08 mm	0,2 in
= 37.97	= 38.13 %



Gambar 13. Grafik CBR Laboratorium 65 Tumbukan 7% Kapur + 5% NaOH dan 10% Pasir Kali Laren

Nilai hasil masing-masing CBR pertumbukan dengan rumus : $(P/3000 \times 100)$ di dapat nilai rata-rata penetrasi 0,1 inch :

$$12.81 + 35.59 + 42.71 / 3 = 30.37 \%$$

Nilai hasil masing-masing CBR pertumbukan dengan rumus : $(P/4500 \times 100)$ di dapat nilai rata-rata penetrasi 0,2 inch :

$$12.34 + 33.22 + 37.97 / 3 = 27.84 \%$$

Untuk nilai CBR Laboratorium yang digunakan adalah nilai CBR paling tinggi yaitu 30.37 %.

California Bearing Ratio (CBR) tanpa perendaman Tanah + 10% Kapur + 7% NaOH + 15% Pasir Kali Laren

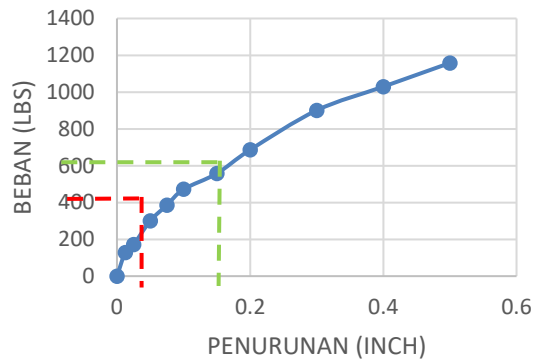
Dalam penentuan kadar air pada penelitian ini digunakan aturan SNI 1744:2012. Dalam perhitungan nilai CBR ini digunakan nilai CBR tertinggi dari pengujian di laboratorium tanpa perendaman (unsoaked), dengan nilai CBR sebesar 49.83 %.

Tabel 19. Hasil Pengujian CBR Tanah 10 Tumbukan

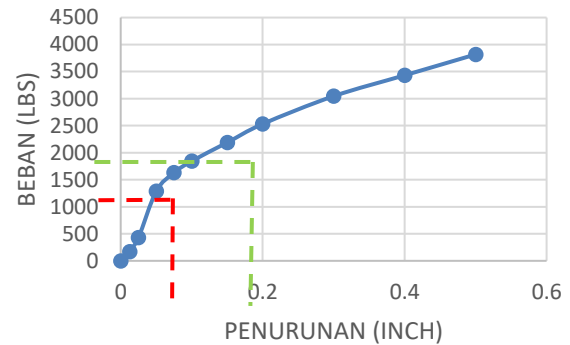
Waktu (menit)	Penetrasi		Pembacaan arloji ukur beban Div	Beban Penetrasi = Pembacaan arloji * k	
	mm	in		N	Lb
0	0	0	0	0	0
¼	0,32	0.0125	3	0.57	128.7
½	0,64	0.0250	4	0.76	171.6
1	1,27	0.0500	7	1.33	300.3
1½	1,91	0.0750	9	1.71	386.1
2	2,54	0.1000	11	2.09	471.9
3	3,81	0.1500	13	2.47	557.7
4	5,08	0.2000	16	3.04	686.4
6	7,62	0.3000	21	3.99	900.9
8	10,16	0.4000	24	4.56	1029.6
10	12,70	0.5000	27	5.13	1158.3

Tabel 20. Perhitungan CBR Nilai CBR

2,54 mm		0,1 in	
=	15.66	=	15.73 %
5,08 mm		0,2 in	
=	15.19	=	15.25 %

**Gambar 14. Grafik CBR Laboratorium 10 Tumbukan 10% Kapur + 7% NaOH dan 15% Pasir Kali Laren****Tabel 22. Perhitungan CBR Nilai CBR**

2,54 mm		0,1 in	
=	61.22	=	61.49 %
5,08 mm		0,2 in	
=	56.00	=	56.25 %

**Gambar 15. Grafik CBR Laboratorium 30 Tumbukan 10% Kapur + 7% NaOH dan 15% Pasir Kali Laren****Tabel 21. Hasil Pengujian CBR Tanah 30 Tumbukan**

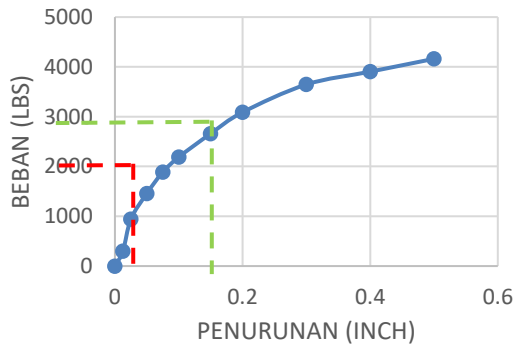
Waktu (menit)	Penetrasi		Pembacaan arloji ukur beban	Beban Penetrasi = Pembacaan arloji * k	
	mm	in		kN	Lb
0	0	0	0	0	0
¼	0,32	0.0125	4	0.04	0.76
½	0,64	0.0250	10	0.10	1.9
1	1,27	0.0500	30	0.30	5.7
1½	1,91	0.0750	38	0.38	7.22
2	2,54	0.1000	43	0.43	8.17
3	3,81	0.1500	51	0.51	9.69
4	5,08	0.2000	59	0.59	11.21
6	7,62	0.3000	71	0.71	13.49
8	10,16	0.4000	80	0.80	15.2
10	12,70	0.5000	89	0.89	16.91

Tabel 23. Hasil Pengujian CBR Tanah 65 Tumbukan

Waktu (mnit)	Penetrasi		Pembacaan arloji ukur beban	Beban Penetrasi = Pembacaan arloji * k	
	Mm	in		kN	lb
0	0	0	0	0	0
¼	0,32	0.0125	7	1.33	300.3
½	0,64	0.0250	22	4.18	943.8
1	1,27	0.0500	34	6.46	1458.6
1½	1,91	0.0750	44	8.36	1887.6
2	2,54	0.1000	51	9.69	2187.9
3	3,81	0.1500	62	11.78	2659.8
4	5,08	0.2000	72	13.68	3088.8
6	7,62	0.3000	85	16.15	3646.5
8	10,16	0.4000	91	17.29	3903.9
10	12,70	0.5000	97	18.43	4161.3

Tabel 24. Perhitungan CBR Nilai CBR

2,54 mm			0,1 in		
=	72.61		=	72.93	%
5,08 mm			0,2 in		
=	68.34		=	68.64	%



Gambar 16. Grafik CBR Laboratorium 65 Tumbukan 10% Kapur + 7% NaOH dan 15% Pasir Kali Laren

Nilai hasil masing-masing CBR pertumbukan dengan rumus : $(P/3000 \times 100)$ di dapat nilai rata-rata penetrasi 0,1 inch :

$$15.66 + 61.22 + 72.61/3 = 49.83\%$$

Nilai hasil masing-masing CBR pertumbukan dengan rumus : $(P/4500 \times 100)$ di dapat nilai rata-rata penetrasi 0,2 inch :

$$15.99 + 56.00 + 68.34/3 = 46.78\%$$

Untuk nilai CBR Laboratorium yang digunakan adalah nilai CBR paling tinggi yaitu 49.83 %.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan pada penelitian yang dilakukan di Laboratorium Universitas Bojonegoro, dapat disimpulkan :

1. Berdasarkan uji CBR yang dilakukan untuk tanah lempung yang dicampur

dengan 4% Kapur + 3% NaOH dan 5% Pasir Kali Laren menghasilkan nilai CBR sebesar 26.1%, Tanah dengan campuran 7% Kapur + 5% NaOH dan 10% Pasir Kali Laren menghasilkan nilai CBR sebesar 30.37%, Tanah dengan campuran 10% Kapur + 7% NaOH dan 15% Pasir Kali Laren menghasilkan nilai CBR sebesar 49.83% dari nilai CBR tanah asli sebesar 19.46%.

2. Berdasarkan uji CBR mencapai kestabilan optimum pada komposisi Tanah dengan campuran 10% Kapur + 7% NaOH dan 15% Pasir Kali Laren dapat meningkatkan Nilai CBR sebesar 30.37%.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, J., Majdi, A., Deifalla, A. F., Isleem, H. F., & Rahmawati, C. (2022). Concrete Made with Partially Substitutions of Copper Slag (CPS): State of the Art Review. *Materials*, 15(15), 1–28. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ma15155196>
- American Society for Testing and Materials (ASTM) D 2216-71. (1989). Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 1964-2008: *Cara Uji Berat Jenis Tanah*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 1965-2008: *Cara Uji Penentuan Kadar Air untuk Tanah dan Batuan di Laboratorium*.

- Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 1966-2008: *Cara Uji Batas Plastis dan Indeks Plastisitas Tanah*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008) SNI 1967-2008: *Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 1743-2008: *Cara Uji Kepadatan Berat untuk Tanah*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). SNI 1744-2012: *Metode Uji CBR Laboratorium*.
- Chen, F.,h. (1975). *Foundation on Expansive Soil, Development Ni Geotechnical Engineering*. Amsterdam: Esevier Scientific Publishing Company.
- Handayani, L., Aprilia, S., Rahmawati, C., Aulia, T. B., & Ludviq, P. (2022). Sodium Silicate from Rice Husk Ash and Their Effects as Geopolymer Cement. *Polymers*, 14(14), 2920.
- Handayani, L., Rahmawati, C., Nurhayati, N., Astuti, Y., & Darmawan, A. (2020). The Characterization of oyster shell (*Crassostrea gigas*) as adsorbent in the removal of Cr (VI) ions. a study of NaOH and H₂SO₄ activation effect. *Elkawnie*, 6(1), 77–84.
- Hardiyatmo,H.,C. (2012). *Mekanika Tanah I (edisi ke enam)*. Gadjah Mada University Press: Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C. 2002. *Mekanika Tanah Jilid I*. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Ingles, & Metcalf. (1972). *Soil Stabilization, Principles and Practice*. USA: USA.
- Kurt, C., and J. Bittner. 2006. *Sodium Hydroxide*. In *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Willey Online Library: Bayer Material Science AG,Leverkusen, Germany.
- Meliyana, M., Armia, A., Zardi, M., & Rahmawati, C. (2022). The Impact of Rice Husk Ash Waste Addition towards Landfill Stability. *Jurnal Teknik Sipil UNAYA*, 8(1), 20–29.
- Meliyana, M., Rahmawati, C., & Handayani, L. (2019). Sintesis Nano Silika dari Abu Sekam Padi Dengan Metode Sol-Gel. *Seminar Nasional Multi Disiplin Ilmu Universitas Asahan Ke-3*, 800–807.
- Muhammad Rokky A. Simanjuntak, 2017. *Stabilisasi Tanah Lempung dengan Campuran Pasir Pantai terhadap Nilai CBR*, Universitas Medan Area, Indonesia
- Rahmawati, C., Aprilia, S., Saidi, T., & Aulia, T. B. (2021). Mineralogical, Microstructural and Compressive Strength Characterization of Fly Ash as Materials in Geopolymer Cement. *Elkawnie*, 7(1), 1–17.
- Rahmawati, C., Meliyana, M., Thufail, I., Muhtadin, M., & Faisal, M. (2020). Impact of Fire on Mechanical Properties of Lightweight Bricks Containing Calcium Carbide Residue. *Jurnal Inotera*, 5(2), 129–138.
- Salim, A., & Rahmawati, C. (2019). Pengaruh Penambahan Limbah Cangkang Tiram Terhadap Stabilisasi Tanah Daerah Rawa. *Jurnal Teknik Sipil Unaya*, 5(1), 10–16.