

PENGARUH MORTAR BUSA TERHADAP PENINGKATAN NILAI CBR DAN KUAT GESER TANAH LEMPUNG

Bayu Dwi Pangestu^{1*}, Muhammad Renald Artandi¹, Abdul Rochim¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung Semarang

Jln Kaligawe Raya No.Km.4, Terboyo Kulon, Kec. Genuk, Kota Semarang

*Corresponding authors: bayudwipangestu215@gmail.com

Abstract: The road surface conditions around the container terminal in the Tanjung Mas Industrial Area, Semarang, which are uneven, cracked, and frequently damaged, causes discomfort for drivers, risks of damaging vehicles, and hampers the distribution of goods. This study aimed to analyze the effect of adding foam mortar with varying compositions on the improvement of CBR values and shear strength parameters of the existing clay soil in the Tanjung Mas Industrial Area, Semarang. The method used was experimental, with samples of existing clay soil taken from Jl. Baruna Selatan, Semarang City. Foam mortar mixtures were added at 10%, 15%, 20%, and 25%. Tests included physical properties (sieve analysis, specific gravity, moisture content, bulk density) and mechanical tests (proctor, soil shear strength, and unsoaked CBR). The results showed that the original soil had an unsoaked CBR of 4.92% and an internal friction angle (ϕ) of 14,22°. The highest unsoaked CBR 15,65% was obtained from the 25% foam mortar mixture (moderate category, 7%-20%). The highest internal friction angle (ϕ) was also from the 25% mixture, reaching 38,87°. Thus, the addition of foam mortar significantly improved the bearing capacity and shear strength parameters of the existing clay soil.

Keywords: existing clay soil, california bearing ratio, soil shear strength, foam mortar

Abstrak: Kondisi struktur jalan di sekitar terminal peti kemas Kawasan Industri Tanjung Mas Semarang yang bergelombang, retak dan sering rusak menimbulkan ketidaknyamanan pengemudi, beresiko merusak kendaraan, serta menghambat distribusi barang. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penambahan mortar busa dengan variasi komposisi terhadap peningkatan nilai CBR dan parameter kuat geser pada tanah lempung eksisting di Kawasan Industri Tanjung Mas Semarang. Metode yang digunakan adalah metode eksperimen dengan sampel tanah lempung eksisting dari Jl. Baruna Selatan, Kota Semarang. Variasi campuran mortar busa yang ditambahkan sebesar 10%, 15%, 20%, dan 25%. Pengujian meliputi sifat fisis tanah (analisis saringan, berat jenis, kadar air, berat isi tanah) dan pengujian mekanis (proctor, kuat geser tanah dan CBR unsoaked). Hasil penelitian menunjukkan tanah asli memiliki nilai CBR Unsoaked 4,92% dan sudut geser dalam (ϕ) 14,22. Nilai CBR Unsoaked tertinggi diperoleh pada campuran mortar busa 25% sebesar 15,65%, yang termasuk kategori sedang (7%-20%). Nilai kuat geser (ϕ) tertinggi juga dihasilkan oleh campuran 25% mortar busa, yaitu sebesar 38,87°. Dengan demikian, penambahan mortar busa terbukti mampu meningkatkan daya dukung dan parameter kuat geser tanah lempung eksisting secara signifikan.

Kata kunci: : tanah lempung eksisting, california bearing ratio, kuat geser tanah, mortar busa

1. PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, dunia industri mengalami kemajuan yang sangat pesat, sehingga memberikan pengaruh besar terhadap kehidupan manusia di seluruh dunia (Nurdiansyah, 2018). Infrastruktur industri seperti terminal peti kemas dan lahan parkir kendaraan berat sering dibangun di kawasan pesisir pantai karena lokasinya yang strategis dekat dengan pelabuhan, sehingga memudahkan distribusi peti

kemas kosong maupun berisi muatan secara efisien melalui transportasi laut. Namun, pembangunan fasilitas tersebut seringkali menghadapi kendala terkait kondisi tanah di lokasi pembangunan, khususnya tanah lempung yang memiliki daya dukung rendah dan rentan mengalami penurunan kekuatan.

Tanah lempung merupakan jenis tanah yang mengandung lebih dari 50% partikel berukuran halus, dengan diameter tidak lebih dari 0,002

mm (Bowles, 1991). Tanah lempung termasuk dalam jenis tanah kohesif berbutir halus yang memiliki daya dukung rendah dan sensitif terhadap perubahan kadar air, sehingga mudah mengalami perubahan volume dan kembang susut. Hardiyatmo (1999), membagi sifat-sifat tanah lempung yang terdiri dari:

1. Ukuran butir halus (kurang dari 0,002 mm)
2. Permeabilitas rendah
3. Sangat kohesif
4. Kenaikan air kapiler tinggi
5. Kadar kembang susut yang tinggi
6. Proses konsolidasi lambat

Lempung memiliki keseimbangan antara butiran kasar dan halus, sehingga kemampuannya dalam menyerap unsur hara umumnya lebih unggul dibandingkan dengan pasir (BBSDLP, 2006). Tanah lempung ketika dalam kondisi kering memiliki kekerasan tinggi dan tidak mudah terkelupas hanya dengan sentuhan tangan. Selain itu, permeabilitas tanah lempung tergolong sangat rendah. Beberapa sifat tanah lempung meliputi butiran sangat halus dengan ukuran kurang dari 0,002 mm, kenaikan kapiler yang tinggi, sifat kohesi yang kuat, tingkat kembang susut besar, serta waktu konsolidasi yang cukup lama (Terzhagi, 1987).

Dalam konstruksi teknik sipil, seperti pembangunan gedung, jalan, jembatan maupun bendungan, struktur harus berdiri diatas tanah yang memiliki daya dukung tinggi untuk mencegah masalah yang timbul selama kegiatan konstruksi. Berbagai inovasi yang telah dikembangkan oleh peneliti terdahulu untuk perkuatan pada tanah lempung, salah satunya melalui penggunaan mortar busa. Mortar merupakan campuran yang terdiri dari semen, agregat halus dan air, baik dalam keadaan dikeraskan ataupun tidak dikeraskan (SNI-2049-2015). Mortar adalah bahan bangunan yang terdiri dari agregat halus, bahan perekat, dan air, yang diaduk hingga homogen. Bahan ini sering disebut dengan nama mortel atau spasi.

Tjokrodinuljo (2012) menyebutkan adukan mortar tingkat kelunakan yang sesuai agar mudah dalam proses pencampuran dan pengangkutan ke lokasi pengerjaan, dengan melalui metode uji sebar menggunakan alat khusus bernama meja sebar.

Teknologi mortar busa merupakan metode campuran rasio tertentu antara semen, pasir, dengan foam. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia (2015), menyebutkan bahwa penambahan foam pada campuran mortar akan membuat material campuran mengembang hingga sampai dengan 4 kali volume awal sehingga dapat mengurangi kebutuhan material dibandingkan dengan material tanpa campuran foam. Mortar busa merupakan campuran semen, air, dan agregat dengan tambahan bahan admixture tertentu, dimana gelembung-gelembung udara dibuat dalam adukan semen sehingga menghasilkan banyak pori-pori udara dalam beton.

Beton busa biasanya dimanfaatkan untuk pembuatan panel dinding, bata beton ringan, ready mix, serta berbagai bentuk khusus lainnya (Rommel, 2017). Beton busa berbeda dengan beton aerasi autoklaf, beton busa tidak menggunakan gelembung kimia yang dihasilkan dari reaksi antara aluminium bubuk dengan kalsium hidroksida yang berasal dari hidrasi semen (Brady, 2001). Tujuan mortar busa adalah untuk menghasilkan nilai berat satuan dan kekuatan yang dapat dijadwalkan sesuai kebutuhan (Handayani, 2007). Kriteria material ringan mortar busa (foamed mortar) adalah sebagai berikut (Febrijanto, 2010):

- a. Densitas 0,6-0,8 t/m³
- b. Nilai flow 180 ± 20 mm
- c. Kuat tekan 800-2000 kN/m²

Ulfa Jusi et al. (2024) mengungkapkan dalam penelitiannya bahwa penggunaan mortar busa yang dicampur dengan foam agent pada timbunan di atas tanah lunak dapat menunjukkan deformasi tanah akibat beban yang diterima. Selain itu, semakin tebal mortar busa yang digunakan, semakin kecil penurunan tanah yang akan terjadi. Penelitian yang dilakukan tersebut sejalan dengan penelitian Saputra et al. (2025) yang menyebutkan bahwa penambahan mortar busa dapat meningkatkan nilai CBR hingga 16%, sehingga daya dukung tanah bertambah. Hal tersebut didukung oleh penelitian Aji et al. (2025) yaitu dengan penggunaan mortar busa sebagai campuran tanah lempung lunak terbukti mempengaruhi stabilitas tanah. Semakin tinggi proporsi mortar busa yang digunakan, semakin membaik sifat mekanik tanah sehingga dapat meningkatkan daya dukung tanah. Inovasi

mortar busa tidak hanya untuk meningkatkan daya dukung tanah serta mengurangi potensi penurunan berlebih, tetapi juga menyediakan alternatif material perkuatan yang efektif, efisien, dan ringan untuk berbagai proyek konstruksi.

Kondisi struktur jalan di sekitar terminal peti kemas, kawasan industri Tanjung Mas Semarang, sangat bergelombang, retak-retak, dan sering rusak, sehingga sering menyebabkan ketidaknyamanan bagi pengemudi dan berpotensi merusak kendaraan. Selain itu, kondisi tersebut menghambat kelancaran distribusi barang dan dapat menimbulkan risiko kecelakaan lalu lintas. Tanah ekspansif, seperti tanah lempung yang mengalami perubahan sifat dasar, termasuk penyusutan volume dan kegagalan dukungan tanah dapat memicu kerusakan pada permukaan jalan (Departemen Pekerjaan Umum, 2005).

Penelitian sebelumnya telah membuktikan bahwa mortar busa mampu meningkatkan nilai CBR dan memperbaiki karakteristik tanah lempung. Namun, sebagian besar penelitian masih terbatas pada peningkatan nilai CBR deformasi tanah, sementara kajian tentang pengaruh variasi kadar mortar busa terhadap parameter kuat geser tanah lempung eksisting di kawasan pesisir, khususnya Kawasan Industri Tanjung Mas Semarang, masih sangat terbatas. Penelitian ini menawarkan kebaruan dengan mengevaluasi perubahan parameter kuat geser tanah melalui uji direct shear menggunakan variasi campuran mortar busa yang lebih beragam (10%, 15%, 20%, 25%), serta menganalisis peningkatan nilai CBR unsoaked dan parameter kuat geser tanah lempung eksisting di kawasan pesisir Tanjung Mas Semarang. Selain itu, penelitian ini juga memberikan estimasi hubungan antara nilai CBR soaked dan unsoaked sebagai evaluasi tambahan terhadap daya dukung tanah pada kondisi jenuh air.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen berupa pengujian di Laboratorium Mekanika Tanah, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang terletak di Jl. Terboyo Kulon, Kecamatan Genuk, Kota Semarang. Lokasi pengambilan sampel tanah lempung eksisting pada penelitian ini dipilih di daerah pesisir pantai, karena kondisi tanah di wilayah tersebut cenderung memiliki kadar air tinggi dan struktur yang lemah. Lokasi pengambilan samepl tanah berada di Jl. Baruna Selatan,

Kota Semarang, yang dapat dilihat pada Gambar 1 dengan tahapan penelitian yang dilakukan sebagai berikut :



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Sampel Tanah (Sumber : Google Maps, 2025)

Penelitian dilakukan dengan pembuatan benda uji menggunakan tanah lempung eksisting yang sudah diambil dengan berbagai variasi kadarnya. Pada tahap ini, setelah pengambilan sampel tanah dengan keadaan masih basah, sampel tanah dikeringkan dengan cara di oven hingga kadar air 0%. Setelah kering, sampel tanah di campurkan adonan mortar busa dengan persentase campuran yang dapat dilihat pada Tabel 2. yang sudah dikeringkan di oven dengan variabel campurannya 10%, 15%, 20%, dan 25% seperti pada Tabel 1.

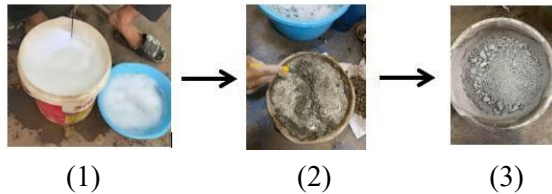
Variasi kadar mortar busa sebesar 10%, 15%, 20% dan 25% dipilih berdasarkan penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa penambahan mortar busa pada rentang tersebut mampu meningkatkan nilai CBR dan parameter kuat geser tanah secara signifikan, sedangkan variasi bertingkat digunakan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan mortar busa terhadap perubahan karakteristik mekanis tanah lempung serta menentukan kadar campuran yang paling optimum.

Tabel 1. Komposisi Benda Uji

Mix Design	Berat Tanah	Mortar Busa (MB)
Tanah 100%+0% MB	100%	0%
Tanah 90%+10% MB	90%	10%
Tanah 85%+15% MB	85%	15%
Tanah 80%+20% MB	80%	20%
Tanah 75%+25% MB	75%	25%

Tabel 2. Persentase Campuran Mortar Busa

Campuran (%)	Pasir (g)	Se-men (g)	Foam Agent (g)	Air (g)
10	210	210	140	140
15	315	315	210	210
20	315	420	280	280
25	315	525	350	350



Gambar 2. Tahapan Pembuatan Mortar Busa

Dengan:

- (1)Pencampuran cairan foam agent dengan air menggunakan mixer sampai berbusa
- (2)Adonan semen dan pasir dicampurkan dengan cairan foam agent sebelumnya dan di oven sampai kering
- (3)Mortar busa yang sudah kering dicampurkan ke tanah asli

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum proses stabilisasi tanah dilakukan, pengujian sifat fisik dan mekanis dilakukan terlebih dahulu untuk mengidentifikasi karakteristik pada tanah asli. Berikut hasil properties tanah asli:

Tabel 3. Persentase Campuran Mortar Busa

Sifat	Niai	Satuan
Specific Gravity (Gs)	2.683	
Persenan butiran lolos saringan no.200	44.01	%
Kadar air optimum (Wopt)	30.10	%
Berat volume kering maksimum (Yd Max)	1.379	kN/m ³
Batas cair (LL)	50.66	%
Batas plastis (PL)	20.73	%
Indeks plastis (IP)	29.94	%
Kohesi (c)	0.111	Kg/cm ²
Sudut geser dalam (Ø)	14.22	(°)
Nilai CBR	4.92	%

Setelah didapatkan sifat fisik tanah asli, maka tanah asli selanjutnya dilakukan stabilisasi dengan penambahan mortar busa (MB)

menggunakan beberapa pengujian dan didapatkan hasil pengujian seperti berikut:

Atterberg limit

Uji ini dilakukan untuk mengetahui batas cair dan batas plastis tanah dengan menggunakan alat cassagrande seperti pada Gambar 3. Batas cair dilakukan dengan kadar air dalam tanah diukur pada ambang keadaan cair dan plastis. Sedangkan batas plastis bertujuan untuk mengidentifikasi kondisi tanah pada kadar air rendah.

Penurunan IP mengindikasikan perubahan karakteristik tanah dari plastisitas tinggi menjadi rendah. Secara mekanis, mortar busa yang bersifat granular dan tidak plastis mengganggu susunan partikel lempung yang cenderung membentuk matriks plastis. Partikel mortar busa bertindak sebagai filler yang memisahkan butiran lempung, sehingga mengurangi kemampuan tanah untuk mengikat air dan menyusut atau mengembang.

Secara kimiawi, ion kalsium (Ca²⁺) dari hasil hidrasi semen dalam mortar busa berinteraksi dengan permukaan lempung yang bermuatan negatif, menggantikan ion-ion monovalen (Na⁺, K⁺) dan mengurangi ketebalan lapisan ganda, sehingga air yang teradsorpsi berkurang dan plastisitas menurun (Mitchell & Soga, 2005).



Gambar 3. Alat Cassagrande

Setelah mengetahui nilai batas cair dan batas plastisnya. Indeks plastisitasnya dihitung secara keseluruhan dengan rumus dibawah ini, dan hasil perhitungan terdapat pada Tabel 4.

$$IP = LL - PL \tag{1}$$

Tabel 4. Hasil Indeks Plastisitas

Sampel	LL%	PL%	IP%
Tanah 100%+0% MB	50.66	20.73	29.94
Tanah 90%+10% MB	44.41	22.19	22.22
Tanah 85%+15% MB	39.89	31.46	8.44
Tanah 80%+20% MB	38.79	32.19	6.60
Tanah 75%+25% MB	37.55	33.51	4.04

Dengan:

LL = Limit Liquid

PL = Plastic Limit

IP = Indeks Plastic

Penelitian ini sejalan dengan temuan Aji et al. (2025) pada tanah lempung Sekaran, yang menyebutkan penurunan IP dari 32.10% menjadi 4.10% dengan penambahan mortar busa 25%. Hasil pada penelitian ini (IP akhir 4.04%) menunjukkan efektivitas yang sebanding. Dibandingkan dengan penelitian Saputra & Valentino (2025) yang hanya mencatat penurunan IP hingga sekitar 10% tanpa kadar optimum yang jelas, penelitian ini memberikan kadar bertingkat yang menunjukkan hubungan linier antara penambahan mortar busa dengan penurunan IP.

Direct shear

Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan parameter kohesi dan sudut geser pada sampel tanah dengan menggunakan alat uji direct shear seperti pada Gambar 4. Alat uji direct shear merupakan alat yang terdiri dari beberapa komponen arloji dan komponen pembebanan yang berfungsi untuk menentukan kekuatan geser tanah, dimana sampel tanah diletakkan dalam kotak geser yang dibagi dua arah vertikal dan horizontal untuk mensimulasikan tekanan normal dan gaya geser.



Gambar 4. Alat Uji Direct Shear

Tabel 5. Hasil Pengujian Direct Shear

Sampel	Kohesi (c) (Kg/cm ²)	Sudut Geser Dalam (Ø) (°)
Tanah 100%+0% MB	0.111	14.22
Tanah 90%+10% MB	0.194	30.84
Tanah 85%+15% MB	0.177	33.30
Tanah 80%+20% MB	0.293	34.46
Tanah 75%+25% MB	0.292	38.87

Berdasarkan Tabel 5. yang didapatkan dari hasil pengujian direct shear menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (Ø), maka semakin baik daya dukung tanahnya. Nilai kohesi (c) tertinggi (0.293 kg/cm²) tercapai pada variasi MB 20%. Sedangkan nilai sudut geser dalam (Ø) maksimum (38.87°) pada variasi MB 25%.

Peningkatan parameter kuat geser ini disebabkan oleh mekanisme fisik dan kimiawi. Secara fisik, butiran mortar busa yang kaku dan berpori bertindak sebagai agregat kasar yang mengunci partikel lempung, mengurangi kecederungan partikel lempung untuk saling meluncur. Gelombang udara dalam mortar busa juga mengisi rongga antar butiran, meningkatkan kerapatan dan friksi internal. Secara kimiawi, semen dalam mortar busa mengalami hidrasi yang menghasilkan senyawa kalsium silikat hidrat (CSH) yang mengikat partikel lempung, sehingga meningkatkan kohesi. Fenomena ini sejalan dengan temuan Aji et al. (2025) bahwa penambahan mortar busa hingga 20% pada tanah lempung lunak di Sekaran, Semarang meningkatkan kohesi dari 0.097 kg/cm² menjadi 0.262 kg/cm².

Namun, pada penelitian ini kohesi mencapai puncak di 20% dan cenderung konstan (0.292 kg/cm²) pada 25%. Hal ini mengindikasikan adanya kadar optimum mortar busa untuk parameter kohesi yang dimana jika dilakukan penambahan kadarnya, tidak memberikan kenaikan signifikan akibat berkurangnya ikatan antara partikel tanah karena terlalu banyak material pengisi. Sementara itu, sudut geser dalam terus meningkat hingga pada campuran 25%, menunjukkan bahwa kontribusi friksi antar butiran masih dominan meskipun kohesi sudah jenuh.

Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan (Estabragh, et al., 2014) yang menyebutkan bahwa stabilisasi tanah lempung dengan semen meningkatkan sudut geser hingga 36° pada kadar semen 20.

Proctor modified

Uji Proctor Modified dilakukan dengan variasi kadar air berbeda pada setiap sampel untuk menentukan kadar air tanah optimum (Wopt). berat volume basah maksimum (γ_b). berat volume kering maksimum (dopt). dan persentase po- rositas tanah.

Proctor Modified merupakan mesin yang terdapat logam silinder yang digunakan untuk memadatkan tanah dalam uji proctor dimana dengan jumlah tumbukan 25 kali tumbukan agar tanah tersebut padat dengan maksimal, hasil tumbukan untuk menentukan kepadatan maksimum dan kadar air optimum. Peralatan tersebut dapat dilihat pada Gambar 5 dibawah ini:



Gambar 5. Proctor Modified

Tabel 6. Hasil Pengujian Proctor Modified

Sampel	Wopt	γ_d (gr/cm ³)
Tanah 100%+0% MB	30.10	1.379
Tanah 90%+10% MB	20.20	1.550
Tanah 85%+15% MB	20.20	1.450
Tanah 80%+20% MB	20.40	1.480
Tanah 75%+25% MB	23.60	1.445

Penurunan Wopt tersebut disebabkan oleh rendahnya kapasitas penyerapan air oleh mortar busa yang sudah kering. Partikel mortar busa bersifat hidrofobik relatif terhadap lempung, sehingga air yang dibutuhkan untuk mencapai kepadatan maksimum lebih sedikit. Selain itu, semen yang telah terhidrasi dalam mortar busa mengisi pori-pori antar butiran, mengurangi ruang yang harus diisi air. Peningkatan γ_d pada kadar 10% mengindikasikan bahwa mortar busa berfungsi sebagai agregat ringan namun kaku yang dapat mengisi rongga dan meningkatkan berat volume kering. Namun, pada kadar 15%, 20%, dan 25%, γ_d cenderung menurun (1.450; 1,480; 1,445 gr/cm³) meskipun masih di atas

tanah asli. Hal ini terjadi karena terlalu banyak partikel mortar busa yang memiliki berat jenis lebih rendah daripada tanah lempung, sehingga menggantikan sebagian tanah yang lebih berat, sekaligus mengurangi kepadatan maksimum yang dapat dicapai.

Hasil ini sebanding dengan temuan Jusi et al. (2024) yang menyebutkan penurunan Wopt dari 32% menjadi 22% pada tanah lunak dengan mortar busa. Berbeda dengan penelitian Saputra & Valentino (2025) yang hanya menguji satu kadar campuran, penelitian ini menggunakan variasi bertingkat sehingga mampu mengidentifikasi adanya kadar optimum untuk γ_d (10%) sedangkan untuk Wopt penurunan paling tajam terjadi pada kadar 10-15% dan cenderung stabil.

California bearing ratio

Uji California Bearing Ratio (CBR) digunakan untuk mengukur kapasitas dukung tanah dengan kerapatan tertinggi CBR diuji menggunakan alat yang dinamakan penetrometer. Penetrometer merupakan alat ukur yang digunakan pada uji CBR berupa penetrator yang berperan untuk menilai daya tanah sejauh mana tanah dapat menahan penetrasi, dimana alat ini mengukur kedalaman penetrasi pada sampel tanah dan hasil tersebut digunakan untuk menghitung nilai CBR sesuai dengan kebutuhan.

Mekanisme peningkatan nilai CBR didapat melalui dua aspek. Pertama, mortar busa yang telah dikeringkan memiliki partikel dengan permukaan kasar dan sudut-sudut tajam. Ketika tercampur dengan tanah lempung, partikel tersebut meningkatkan tahanan penetrasi karena gaya gesek dan penguncian mekanis. Kedua, proses hidrasi semen dalam mortar busa menghasilkan matriks yang mengikat agregat tanah, sehingga mengurangi deformasi plastis saat dibebani.

Pengujian CBR yang dilakukan dalam kondisi kering tanpa pengaruh air (unsoaked) dengan hasil yang terdapat pada Tabel 7 dan Tabel 6 berdasarkan kadar air yang paling ideal hasil Uji Proctor Modified.

Tabel 7. Hasil Pengujian California Bearing Ratio

Sampel	Nilai CBR
Tanah 100%+0% MB	4.92%
Tanah 90%+10% MB	9.42%
Tanah 85%+15% MB	12.50%
Tanah 80%+20% MB	14.60%
Tanah 75%+25% MB	15.65%

Dibandingkan dengan penelitian terdahulu, nilai peningkatan CBR yang diperoleh berada pada rentang yang sebanding, namun dengan kadar mortar busa yang lebih efisien. Saputra & Valentino (2025), menyebutkan peningkatan CBR hingga 16% pada tanah lempung lunak dengan penambahan mortar busa, meskipun tidak menyebutkan kadar persisnya. Aji et al. (2025) mendapatkan peningkatan nilai CBR dari 3.5% menjadi 12.4% pada campuran 25% mortar busa di tanah lempung Sekarang, Semarang. Pada penelitian ini, peningkatan dari 4.92% menjadi 15.65% dengan kadar 25% dan klasifikasi tanah didapat kategori sedang seperti pada Tabel 8.

Hal ini menunjukkan efektivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian Aji et al. (2025). Perbedaan ini kemungkinan terjadi karena disebabkan oleh karakteristik awal tanah lempung eksisting di kawasan pesisir Tanjung Mas Semarang yang memiliki kadar air lebih tinggi dan plastisitas lebih besar, sehingga ruang perbaikan lebih luas.



Gambar 6. Penetrometer

Tabel 8. Pengelompokan Tanah Berdasarkan Nilai CBR

Sumber: (Bowles, 1992)

Nilai CBR (%)	Tingkatan Umum	Penggunaan
0-3	Sangat rendah	Subgrade
3-7	Rendah sampai sedang	Subgrade

7-20	Sedang	Subgrade
20-50	Baik	Base or Subgrade
>50	Sangat Baik	Base

Berdasarkan penelitian yang dilakukan (Oktary. 2017) dengan judul “Analisis Peningkatan Nilai CBR pada Campuran Tanah Lempung dengan Batu Pecah”. diperoleh bahwa nilai CBR tanah mengalami penurunan akibat perendaman (soaked). Rata-rata penurunan nilai CBR soaked mencapai 73.4% dari nilai CBR tanpa rendaman (unsoaked). Dengan kata lain, nilai CBR soaked hanya sekitar 26.6% dari nilai CBR unsoaked. Apabila merujuk pada penurunan yang ditemukan oleh (Oktary. 2017), maka estimasi nilai CBR soaked untuk tanah asli dan masing-masing persentase campuran Mortar Busa sebagai berikut:

1. Tanah Asli: 1.31% (kategori sangat rendah)
2. Tanah Campuran Mortar Busa 10%: 2.51% (kategori sangat rendah)
3. Tanah Campuran Mortar Busa 15%: 3.33% (kategori rendah sampai sedang)
4. Tanah Campuran Mortar Busa 20%: 3.88% (kategori rendah sampai sedang)
5. Tanah Campuran Mortar Busa 25%: 4.16% (kategori rendah sampai sedang)

4. KESIMPULAN

Sampel tanah yang diambil dari Jl. Baruna Selatan, Kota Semarang diklasifikasikan sebagai tanah lempung jenis eksisting dengan nilai CBR yang didapat sebesar 4.92% (kategori rendah sampai sedang) dan sudut geser dalam 14.22°. Penambahan mortar busa hingga 25% meningkatkan nilai CBR menjadi 15.65% (kategori sedang) serta sudut geser dalam menjadi 38.87°, maka dapat diartikan tanah tersebut memiliki kemampuan yang lebih besar untuk menahan gaya-gaya yang berusaha menggeser atau meruntuhkan. Apabila merujuk pada penelitian (Oktary, 2017), estimasi nilai CBR soaked yaitu antara 1.31% (tanah asli) hingga 4.16% (campuran mortar busa 25%), yang tetap berada pada kategori rendah-sedang.

Secara praktis, hasil ini memberikan alternatif material perkuatan tanah yang efektif, efisien, dan ringan untuk perbaikan struktur jalan di kawasan pesisir. Namun, penelitian ini memiliki keterbatasan pada uji CBR unsoaked saja tanpa pengujian langsung CBR soaked.

Penelitian selanjutnya diharapkan dapat melakukan uji CBR soaked secara langsung dan mengevaluasi ketahanan tanah terhadap siklus basah dan kering.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Aji, S. A., Amin, F. A., Rochim, A., & Fitriyana, L. (2025). Analisis Perubahan Nilai CBR Tanah Lempung Lunak Dengan Campuran Mortar Busa Di Desa Sekaran Kabupaten Semarang. *Jurnal Teknik SILITEK*, 5(3), 1469-1476.
- Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. (2006). Sifat Fisik Tanah dan Metode Analisisnya. BBSDLP.
- Bowles. J. E. (1991). *Sifat-sifat fisik dan geoteknis tanah (Mekanika Tanah)*. Erlangga
- Brady. K. C., Watts. G. R. A., & Jones. M.R. (2001). Specification for foamed concrete. TRL Limited.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2005). *Pedoman konstruksi dan bangunan: pedoman penanganan tanah ekspansif untuk konstruksi jalan*. (Pd T10-2005-B).
- Estabragh. A.R., Rafatjo. H. & Javadi A. A. (2014) Treatment of an expansive soil by mechanical and chemical techniques. *Geosynthetics International*, 21(3), 233-243.
- Febrijanto. (2008). Laporan akhir penyusunan DED uji coba skala penuh timbunan badan jalan dengan material ringan. Laporan penelitian pusat penelitian dan pengembangan jalan dan jembatan. Departemen pekerjaan umum.
- Gadjah Mada University Press.
- Handayani. F. (2007). Timbunan Badan Jalan Dengan Bahan Timbunan Ringan. Laporan Penelitian. badan jalan dengan bahan timbunan ringan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan. Departemen Pekerjaan Umum.
- Hardiyatmo. H.C. (1999). *Mekanika Tanah 1*. (Ed. 1).
- Jusi, U., Pratikso., & Maizir, H. (2024). Analisis Penurunan Subgrade Tanah Lunak Menggunakan Perkuatan Mortar Foam Dengan Metode Numerik. *SAINSTEK*, 12(2), 272-277.
- Mitchell. J. K., Soga. K., O'Sullivan, C., (2005). *Fundamentals of Soil Behavior*, Fourth Edition. DOI: 10.1002/9781119832348
- Nurdiansyah. A. (2018). Analisa risiko dan pengendalian K3 pada PT PLN UPT Cirebon. *Teknik Industri*. Universitas Sultang Agung. 1. 1-122.
- Oktary. R., & Apriyanti. Y. (2017). Analisis Peningkatan Nilai Cbr Pada Campuran Tanah Lempung Dengan Batu Pecah. *In FROPIL (Forum Profesional Teknik Sipil)*, 5(2), 96-107.
- Rommel. E., Rusdianto. Y., Utari. R. P., & Riyanto. A. S. (2017). Pengaruh pemakaian fly ash terhadap karakteristik beton busa (tinjauan pada konduktivitas termal dan sound absorption beton). *Seminar Nasional Teknologi Dan Rekayasa (SENTRA)*. 1-8.
- Saputra, R. N., & Valentino, R. W. (2025). Pengaruh Penambahan Mortar Busa Terhadap Nilai Cbr Tanah Lempung Lunak. *Jurnal Teknik SILITEK*, 5(3), 1588-1592.
- Terzaghi. K., & Peck. R.B. (1987). *Mekanika tanah dalam praktek rekayasa*. Erlangga.