

ANALISIS PENGARUH WAKTU PEMERAMAN CAMPURAN TANAH LEMPUNG DAN SEMEN TERHADAP NILAI CBR PADA STABILISASI TIMBUNAN JALAN

Bastian, Kamaluddin Lubis

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area-Medan
bas73649@gmail.com; klubis250@gmail.com

Abstrak

Kualitas tanah dasar (subgrade) sangat menentukan kestabilan konstruksi jalan, karena harus mampu menahan beban lalu lintas yang bersifat statis dan dinamis. Salah satu parameter yang digunakan untuk mengukur daya dukung tanah adalah nilai California Bearing Ratio (CBR). Tanah dengan nilai CBR rendah menunjukkan kemampuan dukung yang tidak memadai. Dalam kondisi tertentu, penggantian tanah dasar dengan material timbunan dari luar lokasi menjadi solusi umum. Namun, keterbatasan sumber daya menyebabkan tanah plastis tinggi seperti tanah klasifikasi A-7 sering dimanfaatkan sebagai alternatif timbunan, meskipun memiliki karakteristik teknik yang kurang baik. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan daya dukung tanah plastis tinggi melalui metode stabilisasi kimia menggunakan semen Portland. Variasi kadar semen yang digunakan adalah 5%, 10%, dan 15% terhadap berat kering tanah, dengan waktu pemeraman selama 1, 7, 14, dan 28 hari pada kondisi kadar air optimum. Pengujian laboratorium dilakukan untuk menilai perubahan sifat fisik dan mekanik tanah, terutama nilai CBR. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan kadar semen dan perpanjangan waktu pemeraman secara signifikan meningkatkan nilai CBR tanah. Nilai tertinggi sebesar 69,31% diperoleh pada campuran 15% semen dengan pemeraman selama 28 hari, dibandingkan dengan nilai awal tanah tanpa stabilisasi sebesar 3,01%. Temuan ini menunjukkan bahwa stabilisasi menggunakan semen merupakan metode yang efektif dan aplikatif dalam meningkatkan daya dukung tanah plastis tinggi sebagai material timbunan jalan..

Kata-Kata Kunci : Stabilisasi Tanah, Tanah Plastis, Semen, Pemeraman, CBR

I. Pendahuluan

Perkerasan jalan yang andal membutuhkan tanah dasar (subgrade) dengan daya dukung yang memadai untuk menopang beban lalu lintas secara berkelanjutan (Kusuma et al., 2020; Simbolon, 2018). Salah satu parameter penting untuk menilai kapasitas dukung tanah adalah nilai California Bearing Ratio (CBR), yang menggambarkan kemampuan tanah dalam menerima beban penetrasi serta ketahanannya terhadap deformasi (Das, 2021; Kusuma et al., 2020; Wesley, 2017). Tanah dengan nilai CBR rendah dikategorikan tidak memenuhi syarat teknis sebagai material timbunan lapisan dasar jalan (Nuri Badariah & Hanova, 2012).

Di banyak wilayah Indonesia, khususnya di Provinsi Sumatera Utara, pemanfaatan tanah lokal sebagai material timbunan menjadi pilihan umum karena keterbatasan pasokan tanah granular yang memenuhi syarat teknis (Deviyanti, 2017b). Wilayah pinggiran Kota Medan seperti Medan Marelan dan Medan Labuhan umumnya didominasi oleh tanah lempung plastis tinggi, yang menurut klasifikasi AASHTO termasuk dalam kelompok A-7 dan memiliki nilai CBR alami di bawah 5% (Ardani & Thamrin, 2024). Berdasarkan data kerusakan jalan tahun 2022, lebih dari 40% ruas jalan di Kota Medan mengalami penurunan permukaan dalam dua tahun pertama masa operasional. Salah satu penyebab utamanya adalah kualitas tanah dasar yang tidak stabil (Bappeda/Medan, 2022).

Stabilisasi tanah dengan semen merupakan metode umum dalam perbaikan tanah lempung

plastis tinggi, dengan tujuan meningkatkan kekuatan geser dan daya dukung melalui reaksi hidrasi yang membentuk ikatan antarpartikel (Adawiyah et al., 2023; Nuri Badariah & Hanova, 2012). Meskipun parameter seperti kadar semen dan kelembaban tanah telah banyak diteliti, salah satu aspek penting yang sering diabaikan dalam praktik lapangan maupun kajian ilmiah adalah masa pemeraman (curing time). Proses pemeraman memainkan peran kunci dalam menentukan efektivitas reaksi hidrasi dan, pada akhirnya, kualitas akhir tanah yang distabilisasi (Asnur & Yunita, 2023; Sampurna et al., 2018).

Fenomena ini tampak nyata di wilayah Kabupaten Langkat, Deli Serdang, dan Asahan, di mana proyek perkerasan jalan yang menerapkan stabilisasi semen masih mengalami kerusakan dini. Menurut (Direktorat Jenderal Bina Konstruksi, 2022) praktik pencampuran semen langsung diikuti oleh pemadatan tanpa pemeraman memadai menjadi penyebab tidak optimalnya nilai CBR hasil stabilisasi. Temuan ini mengindikasikan adanya kesenjangan antara praktik teknis di lapangan dan kebutuhan rekayasa material yang lebih tepat.

Beberapa penelitian sebelumnya, seperti oleh (Asnur & Yunita, 2023; Sampurna et al., 2018) telah mengevaluasi pengaruh kadar semen dan jenis tanah terhadap nilai CBR. Namun, kajian empiris yang secara spesifik meneliti pengaruh variasi waktu pemeraman pada tanah lempung klasifikasi A-7 masih sangat terbatas, khususnya dalam konteks tanah lokal dan iklim tropis basah seperti di Sumatera Utara (Febriaty & Hutabarat, 2015; Pahrída

et al., 2021). Literature gap ini menunjukkan bahwa durasi pemeraman sebagai parameter teknis belum mendapatkan perhatian yang memadai dalam konstruksi berbasis stabilisasi semen di daerah marginal (Andriani et al., 2012; Mina & Dkk, 2021)

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh waktu pemeraman terhadap nilai CBR pada tanah lempung A-7 yang distabilisasi dengan semen Portland (Adawiyah et al., 2023). Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam bentuk data empiris mengenai hubungan kuantitatif antara lama pemeraman dan peningkatan kapasitas dukung tanah, sekaligus menjadi acuan teknis bagi penentuan durasi curing yang efektif dalam pekerjaan timbunan di wilayah-wilayah bertanah lempung bermasalah

II. Tinjauan Pustaka

2.1 Tanah Lempung dan Permasalahan Daya Dukung

Tanah lempung merupakan jenis tanah dengan karakteristik plastisitas tinggi, daya dukung rendah, serta mudah berubah bentuk ketika jenuh air. Berdasarkan klasifikasi AASHTO, tanah dengan klasifikasi A-7, khususnya A-7-6, memiliki kandungan butiran halus dan nilai indeks plastisitas yang tinggi, yang menjadikannya kurang layak sebagai material dasar jalan (Das, 2021; Wesley, 2017). Tanah seperti ini banyak dijumpai di daerah tropis, termasuk di wilayah Sumatera Utara (Ardani & Thamrin, 2024).

2.2 Nilai California Bearing Ratio (CBR)

CBR adalah parameter penting dalam menilai daya dukung tanah terhadap beban lalu lintas. Nilai CBR tanah asli yang rendah menunjukkan ketidakmampuan tanah untuk digunakan langsung sebagai material dasar jalan (Das, 2021; Simbolon et al., n.d.) menyebutkan bahwa nilai CBR tanah dasar yang ideal harus berada di atas 5% untuk memenuhi syarat teknis perkerasan

2.3 Metode Stabilisasi Tanah Menggunakan Semen

Stabilisasi tanah dengan semen merupakan teknik yang digunakan untuk meningkatkan kekuatan geser dan daya dukung tanah. Reaksi hidrasi semen menghasilkan senyawa pengikat seperti *Calcium Silicate Hydrate* (C-S-H) yang memperkuat ikatan antarpartikel tanah (Adawiyah et al., 2023). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan semen sebesar 10–15% efektif dalam meningkatkan nilai CBR tanah lempung (Deviyanti, 2017a; Fathonah et al., 2022).

2.4 Peran Masa Pemeraman (Curing Time) dalam Stabilisasi

Proses pemeraman atau curing memainkan peran penting dalam keberhasilan stabilisasi tanah. Semen memerlukan waktu untuk bereaksi secara

kimia dengan air dalam tanah. Menurut (Sampurna et al., 2018) proses hidrasi aktif terjadi paling efektif antara 7–28 hari. Pemeraman yang tidak optimal dapat menyebabkan rendahnya kekuatan akhir tanah hasil stabilisasi (BBPJN, 2020).

2.5 Pengaruh Kombinasi Kadar Semen dan Pemeraman terhadap Nilai CBR

Peningkatan nilai CBR dipengaruhi secara simultan oleh kadar semen dan lama pemeraman. Hasil penelitian oleh (Asnur & Yunita, 2023) menunjukkan bahwa pemeraman minimal dua minggu diperlukan untuk memperoleh hasil maksimal dalam peningkatan kekuatan tanah. Penambahan semen hingga 15% dan pemeraman selama 28 hari menghasilkan peningkatan nilai CBR lebih dari 600% dibanding tanah tanpa stabilisasi (Adawiyah et al., 2023; Kamaluddin et al., 2023).

III. Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen laboratorium, yang bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh waktu pemeraman terhadap nilai California Bearing Ratio (CBR) pada tanah lempung plastis tinggi yang distabilisasi menggunakan semen Portland. Pendekatan eksperimen dipilih karena memungkinkan manipulasi langsung terhadap variabel bebas (masa pemeraman) dan observasi terkontrol terhadap variabel terikat (nilai CBR), sehingga hubungan kausal dapat diuji secara empiris (Metode uji CBR laboratorium SNI 1744:2012, 2012). Dalam konteks geoteknik, metode eksperimental ini merupakan pendekatan yang umum digunakan untuk mengamati perubahan sifat mekanik tanah akibat perlakuan fisik maupun kimiawi (Hardiyatmo, 2019).

Sampel tanah diambil dari lokasi quarry di Sumatera Utara yang diduga memiliki karakteristik tanah lempung dengan plastisitas tinggi. Untuk memastikan jenis tanah, dilakukan uji sifat fisik awal (Menteri permukiman dan prasarana wilayah republik indonesia, 2002) berupa analisis ukuran butir dan batas Atterberg—yakni batas cair (liquid limit), batas plastis (plastic limit), serta indeks plastisitas (plasticity index). Klasifikasi tanah dilakukan berdasarkan sistem AASHTO dan Unified Soil Classification System (USCS), sesuai dengan metode dalam ASTM D2487 dan AASHTO M145. Menurut (Das, 2021) klasifikasi ini penting untuk menentukan kecocokan tanah sebagai material dasar jalan serta menyesuaikan perlakuan stabilisasi yang diperlukan.

Selanjutnya, pengujian sifat mekanik dilakukan melalui uji pemadatan menggunakan metode Standard Proctor berdasarkan ASTM D698 untuk mendapatkan berat isi kering maksimum dan kadar air optimum (Kamaluddin et al., 2023). Proctor (1933) menyatakan bahwa terdapat hubungan khas antara kadar air dan kepadatan tanah, di mana kadar air optimum akan menghasilkan kerapatan maksimum, yang menjadi prasyarat penting untuk mendapatkan kekuatan tanah terbaik. Setelah itu,

dilakukan uji CBR terhadap tanah asli dalam kondisi tanpa perendaman (unsoaked), mengacu pada prosedur ASTM D1883-94, untuk memperoleh nilai daya dukung awal sebagai pembandingan terhadap tanah yang distabilisasi (Metode uji CBR laboratorium SNI 1744:2012, 2012).

Proses stabilisasi dilakukan dengan mencampurkan tanah yang telah dikeringkan (lolos saringan No. 4) dengan semen Portland tipe I sebanyak 10%, 12,5%, dan 15% dari berat kering tanah. Menurut teori hidrasi semen (Deviyanti, 2017b) semen akan bereaksi dengan air dan menghasilkan senyawa kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang membentuk ikatan antarpartikel tanah, sehingga meningkatkan kekuatan struktural dan ketahanan deformasi. Kadar semen dipilih berdasarkan standar AASHTO T89 dan hasil penelitian sebelumnya untuk tanah A-7, yang umumnya memerlukan kadar 10%–16% untuk hasil optimal (Fathonah et al., 2022)

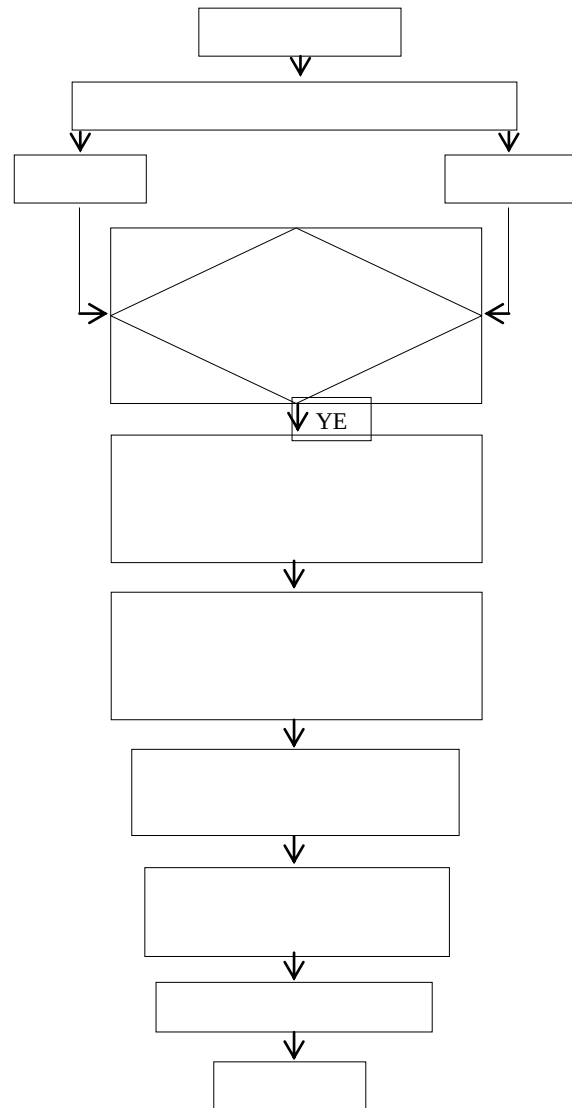
Benda uji CBR dibuat dari campuran tanah-semen yang telah dibasahi pada kadar air optimum, kemudian dipadatkan dalam cetakan uji sesuai prosedur standar (Metode uji CBR laboratorium SNI 1744:2012, 2012) Setelah pencetakan, benda uji diperam dalam kondisi lembab pada suhu ruang ($\pm 25^\circ\text{C}$) selama 0, 3, 7, 14, dan 28 hari. Pemeraman bertujuan untuk memberikan waktu bagi reaksi hidrasi berlangsung sempurna, karena menurut (Sampurna et al., 2018) proses hidrasi semen membutuhkan waktu dan kelembapan yang cukup untuk membentuk struktur yang padat dan stabil. Pemeraman mengikuti pendekatan standar dari ASTM D1632 yang mensyaratkan curing lembab agar hasil laboratorium mencerminkan kondisi lapangan.

Setelah masa pemeraman selesai, dilakukan pengujian CBR kembali terhadap semua sampel tanah yang telah distabilisasi (Ginting & Dkk, 2023; Saodang, 2019) Pengujian tetap dilakukan dalam kondisi unsoaked agar dapat dibandingkan langsung dengan nilai awal tanah asli (Nugroho & Dkk, 2021). Nilai CBR yang diperoleh dari tiap variasi semen dan masa pemeraman dianalisis secara kuantitatif untuk melihat kecenderungan perubahan kekuatan tanah seiring bertambahnya waktu pemeraman. Analisis data dilakukan dengan membandingkan grafik hubungan antara masa pemeraman, kadar semen, dan nilai CBR (Warman et al., 2023). Hasil ini diharapkan menjadi acuan dalam penentuan waktu curing optimal serta rekomendasi teknis bagi pelaksanaan stabilisasi tanah di wilayah bertanah lempung bermasalah.

Benda uji CBR dibuat menggunakan tanah lolos ayakan No. 4 dalam jumlah 5000 gram, dicampur dengan semen berdasarkan persentase berat kering. Detail komposisi ditampilkan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Komposisi Campuran Tanah + Semen

Kadar Semen (%)	Berat Tanah (g)	Berat Semen (g)	Keterangan
10%	5000	500	Semen kering
12,5%	5000	625	
15%	5000	750	



Gambar 1. Flowchart Penelitian

IV. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil Uji Sifat Fisik Tanah Asli

Tanah lempung merupakan jenis tanah dengan karakteristik plastisitas tinggi, daya dukung rendah, serta mudah berubah bentuk ketika jenuh air. Berdasarkan klasifikasi AASHTO, tanah dengan klasifikasi A-7, khususnya A-7-6, memiliki kandungan butiran halus dan nilai indeks plastisitas yang tinggi, yang menjadikannya kurang layak sebagai material dasar jalan (Das, 2021; Wesley, 2017). Tanah seperti ini banyak dijumpai di daerah tropis, termasuk di wilayah Sumatera Utara (Ardani & Thamrin, 2024).

4.2. Hasil Uji Pemadatan Tanah Asli

CBR adalah parameter penting dalam menilai daya dukung tanah terhadap beban lalu lintas. Nilai CBR tanah asli yang rendah menunjukkan ketidakmampuan tanah untuk digunakan langsung sebagai material dasar jalan (Das, 2021; Simbolon et al., n.d.) menyebutkan bahwa nilai CBR tanah dasar yang ideal harus berada di atas 5% untuk memenuhi syarat teknis perkerasan.

4.3. Hasil Uji Pemadataan Tanah Asli

Pengujian pemadatan tanah menggunakan metode Standard Proctor berdasarkan ASTM D698. Hasilnya disajikan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil Uji Pemadatan Tanah (Standard Proctor)

No	Jenis Tanah	Kadar Air Optimum (OMC)	Berat Kering Maksimum (γd max)	Volume (γd)
1	A-7	22 %	1,29 gr/cm³	

4.4. Hasil Uji CBR Tanah Asli

Hasil uji pemadatan menunjukkan bahwa tanah memiliki kadar air optimum sebesar 22% dan berat volume kering maksimum sebesar 1,29 gr/cm³. Nilai kepadatan maksimum ini tergolong rendah, mencerminkan sifat alami tanah lempung plastis yang sulit dipadatkan dan rentan terhadap perubahan volume, sehingga memerlukan penambahan bahan stabilisasi untuk meningkatkan densitas dan stabilitasnya. Uji CBR dilakukan dalam kondisi unsoaked dan hasilnya tetap konstan selama rentang waktu pemeraman (1–28 hari), seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji CBR Unsoaked untuk Tanah Asli A-7

No	Kadar Optimum (%)	Air	Nilai CBR Tanah Asli A7 (%)
1	22		3,01 (pada 1, 7, 14, dan 28 hari)

Nilai CBR tanah asli sebesar 3,01% tetap konstan pada semua rentang umur pemeraman (1 hingga 28 hari), yang menunjukkan tidak adanya reaksi atau perubahan struktur tanah secara alami. Kondisi ini menegaskan bahwa tanah tidak memenuhi standar minimum untuk digunakan sebagai lapisan subgrade, dan diperlukan intervensi rekayasa seperti stabilisasi semen agar memenuhi syarat teknis.

4.5. Hasil Uji CBR Tanah yang Distabilisasi

Tanah A-7 distabilisasi dengan semen Portland (PC) pada kadar 10%, 12,5%, dan 15%, dengan kadar air optimum 13%. Pengujian dilakukan setelah pemeraman selama 1, 7, 14, dan 28 hari. Hasilnya ditampilkan pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Nilai CBR Tanah A-7 + PC (%) – Kondisi Air Optimum

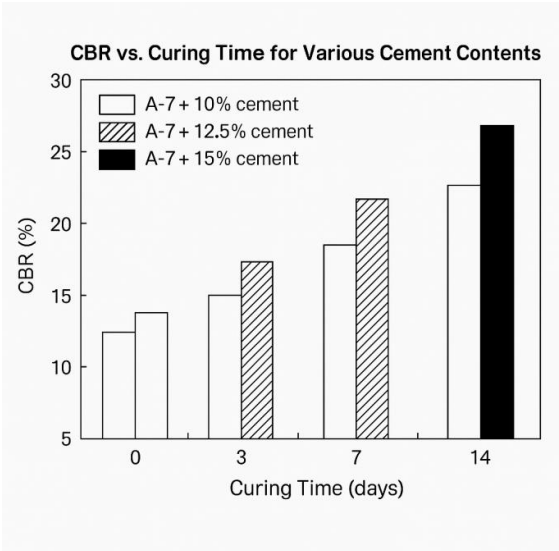
Jenis Tanah dan Campuran	1 Hari	7 Hari	14 Hari	28 Hari
A-7 + PC 10%	7,97	11,42	13,72	16,71
A-7 + PC 12,5%	10,73	13,49	16,02	19,70
A-7 + PC 15%	11,65	16,02	18,55	22,02

Tabel 4 menunjukkan tren peningkatan nilai CBR seiring bertambahnya kadar semen dan lama pemeraman. Pada kadar semen 15% dan pemeraman 28 hari, nilai CBR mencapai 22,02%, meningkat lebih dari 600% dibandingkan tanah asli. Ini menunjukkan bahwa kombinasi antara kadar semen yang tinggi dan pemeraman yang cukup waktu sangat efektif dalam memperbaiki daya dukung tanah lempung A-7.

Tabel 5. Persentase Peningkatan Nilai CBR Tanah A-7 + PC

Jenis Tanah dan Campuran	1 Hari	7 Hari	14 Hari	28 Hari
A-7 + PC 10%	7,97	11,42	13,72	16,71
A-7 + PC 12,5%	10,73	13,49	16,02	19,70
A-7 + PC 15%	11,65	16,02	18,55	22,02

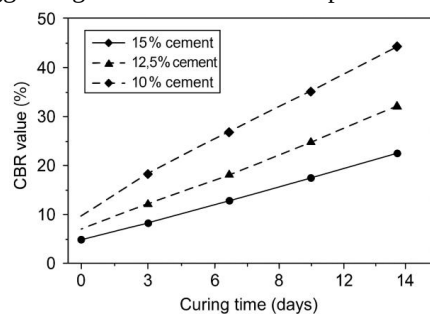
Tabel ini menegaskan bahwa semakin tinggi kadar semen dan semakin lama umur pemeraman, maka persentase peningkatan nilai CBR juga semakin besar. Peningkatan paling signifikan tercatat pada campuran 15% semen dengan pemeraman 28 hari, yang menunjukkan bahwa reaksi hidrasi dan ikatan partikel tanah-semen bekerja optimal dalam kondisi tersebut.



Gambar 2. Pengaruh Umur Pemeraman terhadap Nilai CBR Tanah A7 + PC, Kondisi Air Optimum

Gambar ini menunjukkan bahwa peningkatan umur pemeraman secara konsisten meningkatkan nilai CBR pada semua variasi kadar semen. Tren peningkatan ini mengikuti pola eksponensial yang mengindikasikan bahwa proses hidrasi semen

semakin efektif seiring waktu, memperkuat struktur tanah dan meningkatkan daya dukungnya. Nilai CBR tertinggi tercapai pada pemeraman 28 hari, menunjukkan bahwa masa pemeraman minimal dua minggu sangat krusial untuk hasil optimal.



Gambar 3. Pengaruh Prosentase Semen terhadap Nilai CBR Tanah A7 + PC, Kondisi Air Optimum

Gambar ini memperlihatkan hubungan linier antara peningkatan kadar semen dan peningkatan nilai CBR tanah hasil stabilisasi. Kadar semen 15% menghasilkan nilai CBR tertinggi pada seluruh waktu pemeraman, mengonfirmasi bahwa jumlah semen sangat berpengaruh terhadap pembentukan ikatan antar partikel tanah. Namun demikian, pertimbangan teknis dan ekonomis tetap diperlukan untuk menentukan kadar semen yang optimal di lapangan.

4.6. Karakteristik Awal Tanah Lempung A-7-6

Tanah dasar yang digunakan dalam penelitian ini tergolong dalam klasifikasi A-7-6 berdasarkan sistem AASHTO, dengan karakteristik utama berupa kadar butiran halus lebih dari 35%, batas cair tinggi (43,50%), dan indeks plastisitas sebesar 18,88%. Berdasarkan klasifikasi Unified Soil Classification System (USCS), tanah seperti ini tergolong sebagai lempung plastis tinggi (CH) yang dikenal memiliki daya dukung rendah dan potensi ekspansif yang tinggi, terutama di daerah tropis lembab seperti Sumatera Utara.

Nilai CBR unsoaked yang hanya mencapai 3,01% menunjukkan bahwa tanah ini tidak memenuhi kriteria minimum untuk material lapis bawah perkerasan jalan sesuai standar Bina Marga. Kondisi ini mengindikasikan bahwa diperlukan perlakuan teknis berupa stabilisasi untuk meningkatkan kekuatan dan kestabilannya. Temuan ini konsisten dengan laporan (Bappeda Medan, 2022) yang menyebutkan bahwa lebih dari 40% ruas jalan di kawasan Medan mengalami penurunan permukaan dini, akibat kualitas tanah dasar yang buruk.

4.7. Efektivitas Penambahan Semen

Stabilisasi tanah lempung dengan semen adalah salah satu teknik perbaikan tanah yang paling umum diterapkan di berbagai proyek konstruksi infrastruktur. Proses ini bekerja melalui reaksi hidrasi antara semen dan air, yang menghasilkan senyawa pengikat seperti calcium silicate hydrate

(C-S-H) dan calcium aluminate hydrate (C-A-H). Senyawa-senyawa ini kemudian membentuk ikatan antar partikel tanah, mengurangi plastisitas, meningkatkan kohesi, dan memperkuat struktur tanah secara keseluruhan.

Dalam penelitian ini, penambahan semen hingga 15% terbukti meningkatkan nilai CBR secara signifikan, dari 3,01% (tanah asli) menjadi 22,02% (A7+PC 15%, pemeraman 28 hari). Peningkatan ini tidak hanya mencerminkan proses ikatan internal yang berhasil, namun juga menunjukkan bahwa semen berfungsi sebagai filler yang mengisi pori-pori tanah dan meningkatkan densitas campuran. Ini sejalan dengan hasil penelitian (Adawiyah et al., 2023; Deviyanti, 2017b) yang menyatakan bahwa optimalisasi kadar semen dapat meningkatkan kapasitas dukung tanah lempung lebih dari lima kali lipat, tergantung pada kondisi awal tanah dan perlakuan curing-nya.

Namun, perlu diingat bahwa dalam konteks praktis, penambahan semen tidak dapat dilakukan secara eksekutif karena berkaitan dengan efisiensi biaya dan dampak lingkungan. Oleh karena itu, kadar 12,5% dapat dipertimbangkan sebagai kompromi teknis dan ekonomis dalam implementasi lapangan, sambil tetap memperoleh peningkatan kekuatan yang signifikan.

4.8. Peran Strategis Masa Pemeraman (Curing Time)

Pemeraman merupakan tahapan yang sangat krusial dalam proses stabilisasi tanah menggunakan semen. Proses hidrasi semen tidak terjadi seketika, melainkan memerlukan waktu untuk berkembang dan membentuk ikatan yang stabil antar partikel tanah. Oleh karena itu, pengaruh masa pemeraman terhadap nilai CBR tidak dapat diabaikan. Dari hasil penelitian, terlihat bahwa peningkatan nilai CBR berlangsung secara progresif dengan bertambahnya masa pemeraman. Pada pemeraman hari ke-1, nilai CBR belum menunjukkan peningkatan signifikan. Namun, pada hari ke-14 hingga ke-28, peningkatan CBR menjadi sangat nyata. Tren ini mendukung pendapat Sindu et al. (2018), yang menyatakan bahwa reaksi hidrasi aktif berlangsung intensif antara 7 hingga 28 hari, dan menjadi kunci utama keberhasilan stabilisasi.

Bahkan, grafik regresi menunjukkan korelasi kuat antara umur pemeraman dan peningkatan CBR, dengan nilai R^2 mendekati 1, yang menandakan hubungan fungsional yang sangat erat. Persamaan empiris regresi yang diperoleh dari data ini dapat dijadikan acuan untuk estimasi kekuatan tanah hasil stabilisasi di proyek nyata. Namun di lapangan, sering dijumpai praktik pencampuran dan pemadatan dilakukan secara instan tanpa waktu pemeraman memadai. Hal ini jelas bertentangan dengan prinsip dasar rekayasa bahan dan menyebabkan hasil stabilisasi tidak optimal, sebagaimana tercermin dari banyaknya kegagalan struktural dini pada proyek jalan di Sumatera Utara (BBPJN Sumut, 2024).

4.9. Kolaborasi antara Kadar Semen dan Pemeraman

Peningkatan nilai CBR tidak hanya dipengaruhi oleh satu variabel tunggal, tetapi merupakan hasil interaksi antara kadar semen dan lama pemeraman. Kombinasi kadar semen tinggi (15%) dengan masa pemeraman panjang (28 hari) menghasilkan nilai CBR tertinggi sebesar 22,02%. Interaksi ini bersifat sinergis, di mana kadar semen menyediakan bahan aktif untuk hidrasi, dan masa pemeraman memungkinkan reaksi kimia tersebut berlangsung secara optimal. Studi oleh (Asnur & Yunita, 2023) juga mendukung kesimpulan ini. Mereka melaporkan bahwa pemeraman selama lebih dari 21 hari diperlukan untuk memaksimalkan reaksi pozzolanik antara mineral tanah dan semen, terutama pada tanah-tanah dengan aktivitas lempung tinggi.

Temuan dalam penelitian ini membawa implikasi penting terhadap praktik perencanaan dan pelaksanaan proyek konstruksi jalan di wilayah dengan tanah marginal. Secara teknis, diperlukan pemahaman dan perhatian yang lebih serius terhadap proses curing dan kadar optimal bahan stabilisasi. Spesifikasi teknis sebaiknya memasukkan rekomendasi minimal masa pemeraman 14 hari, terutama untuk kondisi tanah lempung plastis tinggi.

Selain itu, perlu dilakukan sosialisasi dan pelatihan teknis kepada pelaksana lapangan agar tidak hanya fokus pada pemadatan segera, tetapi juga pada tahapan kimiawi yang menentukan performa jangka panjang tanah hasil stabilisasi. Kombinasi antara pendekatan laboratorium, permodelan regresi, dan justifikasi teoritis seperti yang dilakukan dalam studi ini, dapat menjadi acuan bagi pengembangan standar baru untuk konstruksi jalan di wilayah tropis dengan keterbatasan material granular.

V. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian laboratorium mengenai pengaruh waktu pemeraman terhadap nilai CBR pada tanah lempung klasifikasi A-7 yang distabilisasi dengan semen Portland, dapat diambil kesimpulan yaitu :

1. Tanah asli tergolong lempung plastis tinggi (A-7-6) dengan nilai CBR *unsoaked* hanya sebesar 3,01%, sehingga tidak memenuhi kriteria sebagai material timbunan untuk lapis bawah perkerasan jalan tanpa perlakuan stabilisasi.
2. Penambahan semen Portland pada tanah A-7 secara signifikan meningkatkan nilai CBR, di mana peningkatan tertinggi terjadi pada campuran 15% semen dengan masa pemeraman 28 hari yang mencapai nilai CBR sebesar 22,02%. Waktu Pemeraman memainkan peran penting dalam peningkatan kekuatan tanah, dengan tren peningkatan nilai CBR yang konsisten dari hari ke-1 hingga hari ke-28 untuk semua variasi kadar semen. Hal ini menunjukkan bahwa proses hidrasi semen

memerlukan waktu agar senyawa pengikat antarpartikel tanah terbentuk secara optimal. Kombinasi antara kadar semen yang cukup ($\geq 12,5\%$) dan pemeraman minimal 14 hari terbukti memberikan hasil yang efektif dalam meningkatkan daya dukung tanah lempung A-7, dan dapat dijadikan acuan teknis dalam pelaksanaan pekerjaan stabilisasi di lapangan.

3. Berdasarkan hasil penelitian laboratorium mengenai pengaruh waktu pemeraman terhadap nilai CBR pada tanah lempung klasifikasi A-7 yang distabilisasi dengan semen Portland, dapat diambil kesimpulan yaitu Tanah asli tergolong lempung plastis tinggi (A-7-6) dengan nilai CBR *unsoaked* hanya sebesar 3,01%, sehingga tidak memenuhi kriteria sebagai material timbunan untuk lapis bawah perkerasan jalan tanpa perlakuan stabilisasi.
4. Penambahan semen Portland pada tanah A-7 secara signifikan meningkatkan nilai CBR, di mana peningkatan tertinggi terjadi pada campuran 15% semen dengan masa pemeraman 28 hari yang mencapai nilai CBR sebesar 22,02%. Waktu Pemeraman memainkan peran penting dalam peningkatan kekuatan tanah, dengan tren peningkatan nilai CBR yang konsisten dari hari ke-1 hingga hari ke-28 untuk semua variasi kadar semen. Hal ini menunjukkan bahwa proses hidrasi semen memerlukan waktu agar senyawa pengikat antarpartikel tanah terbentuk secara optimal. Kombinasi antara kadar semen yang cukup ($\geq 12,5\%$) dan pemeraman minimal 14 hari terbukti memberikan hasil yang efektif dalam meningkatkan daya dukung tanah lempung A-7, dan dapat dijadikan acuan teknis dalam pelaksanaan pekerjaan stabilisasi di lapangan.

Daftar Pustaka

- [1]. Adawiyah, R., Haris, H., & Gazali, A., 2023, *Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Campuran Abu Sekam Padi Dan Semen Di Tinjau Terhadap Nilai Cbr Di Kecamatan Marabahan Kabupaten Barito Kuala*. Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil, 6(1), 74. <https://doi.org/10.31602/jk.v6i1.11648>
- [2]. Andriani, & Dkk., 2012. *Pengaruh Penggunaan Semen Sebagai Bahan Stabilisasi Pada Tanah Lempung Daerah Lambung Bukit Terhadap Nilai Cbr Tanah*. Rekayasa Sipil, 8(1), 29–44. <https://doi.org/https://doi.org/10.25077/jrs.8.1.29-44.2012>
- [3]. Anggraeni, A., 2021, *Evaluasi Sistem Dan Prosedur Pencatatan barang Milik Daerah Pada Badan Pengelola Keuangan Dan Aset Daerah (BPKAD) Kota Magelang*. Universitas Tidar.

- [4]. Asnur, H., & Yunita, R., 2023. *Perbandingan Tingkat Kepadatan Tanah Di Lima Kecamatan Kota Payakumbuh Dengan Metoda Standar Proktor*. *Saintekes*, 2(1), 54–61.
<https://doi.org/https://doi.org/10.55681/saintekes.v2i1.21>
- [5]. Badan Standarisasi Nasional. 1987, *Petunjuk pelaksanaan tebal perkerasan lentur jalan raya dengan metode analisa komponen SNI 03-1732-1989*.
- [6]. Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Metode Uji CBR Laboratorium SNI 1744:2012 (ICS 93.020)*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- [7]. Das, B. M., 2021. *Principle of Geotechnical Engineering (Tenth)*. Cengage.
- [8]. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. 2002. *Panduan Geoteknik 2 (Penyelidikan Tanah Lunak Desain & Pekerjaan Lapangan)*. In Pedoman Kimpraswil No: Pt T-09-2002-B.
- [9]. Deviyanti, S., 2017. *Semen Trikalsium Silikat Sebagai Bahan Alternatif Untuk Penatalaksanaan Hipersensitif Dentin (Kajian Pustaka)*. *Jurnal Ilmiah Dan Teknologi Kedokteran Gigi*, 13(1), 12.
<https://doi.org/10.32509/jitekgi.v13i1.852>
- [10]. Fathonah, W., Mina, E., Kusuma, R. I., & Damari, D., 2022. *Kinerja Semen Portland Komposit Sebagai Stabilisator Subgrade dan Pengaruhnya Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas*. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, 19(1), 28–34.
<https://doi.org/10.30630/jirs.v19i1.752>
- [11]. Ginting, B., & Dkk., 2023, *Analisis Perencanaan Perkerasan Lentur Pembangunan Ruas Jalan Kutabangun-Kutakendit Liang Melas Datas Kabupaten Karo*. *Ilmiah Teknik Sipil*, 12(2), 223–236.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.46930/tekniksipil.v12i2.3591>
- [12]. Hardiyatmo, H. C., 2019, *Perancangan perkerasan jalan dan penyelidikan tanah* (3rd ed.). Gadjah Mada University Press.
- [13]. Husen, A., 2011, *Manajemen Proyek (Perencanaan, Penjadwalan dan Pengendalian Proyek)* (Edisi 2). Penerbit Andi.
- [14]. Kamaluddin, Sari, N. P., & Marwan. 2023. *Analisa Penggunaan Campuran Semen Pada Timbunan Tanah Lunak Dalam Meningkatkan Daya Dukung Terhadap Nilai Uji CBR*. *Prosiding Seminar Nasional Teknik UISU (SEMNASTEK)*.
<https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/semnastek/article/view/7256/5314>
- [15]. Kusuma, R. I., Mina, E., Fathonah, W., & Kartika, C. D., 2020. *Stabilisasi Tanah Lempung Organik Menggunakan Semen Slag Terhadap Nilai Cbr Berdasarkan Variasi Kadar Air Optimum (Studi Kasus Jl. Raya Kubang Laban, Desa Terate, Kecamatan Kramatwatu, Kabupaten Serang)*. *Jurnal Fondasi*, 9(2), 154.
<https://doi.org/10.36055/jft.v9i2.9015>
- [16]. Mina, E., & Dkk., 2021. *Pemanfaatan Semen Slag untuk Stabilisasi Tanah dan Pengaruhnya Terhadap Nilai CBR Berdasarkan Variasi Kadar Air Sisi Basah Optimum*. *Ilmiah Teknik Sipil*, 18(2), 132–140.
<https://doi.org/https://doi.org/10.30630/jirs.v18i2.648>
- [17]. Nugroho, S., & Dkk., 2021. *Pengaruh Penggunaan Semen dan Fly Ash Terhadap Nilai CBR Tanah Lempung Muara Fajar*. *Rekayasa Sipil (JRS-UNAND)*, 17(3), 267–278.
<https://doi.org/https://doi.org/10.25077/jrs.17.3.267-278.2021>
- [18]. Nuri Badariah, C., & Hanova, Y., 2012. *(Perbaikan Tanah Dasar Jalan Raya Dengan Penambahan Kapur)*. *Jurnal Rancang Sipil*, 1(1), 57–68.
- [19]. Pahrda, A., Gandi, S., & Sarie, F., 2021. *Pengaruh Penambahan Bubuk Arang Kayu Pada Tanah Lempung Terhadap Nilai Indeks Plastisitas Dan Nilai Cbr*. *Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 4(1), 223.
<https://doi.org/10.31602/jk.v4i1.5271>
- [20]. Rachael Tunas Pratama, Fatma Sarie, & Okrobianus Hendri. 2021. *Analisis Perbaikan Tanah Menggunakan Geotekstil Pada Lapisan Subgrade Proyek Pekerjaan Jalan (Studi Kasus: Peningkatan Jalan G.Obos Xxiv Kota Palangka Raya)*. *Jurnal Teknik: Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Keteknikan*, 4(2), 148–154.
<https://doi.org/10.52868/jt.v4i2.2728>
- [21]. Ramadhani, & Priyandy, D. O., 2017. *Perbaikan Subgrade Menggunakan Tanah Lempung Organik Dengan Penambahan Semen Dan Kapur*. *Univ PGRI Palembang*, 2(2007), 14–22.
- [22]. Sampurna, S. A., Iswan, & Zakaria, A., 2018. *Pengaruh Penambahan Zat Additive Abu Sekam Padi dan Matos Terhadap Nilai CBR (California Bearing Ratio) Tanah Lempung Ditinjau dari Waktu Pemeraman*. *Jrsdd*, 6(1), 100–113.
- [23]. Saodang, H., 2019. *Konstruksi jalan raya* (Buku 2). Penerbit Nova.
- [24]. Simbolon, S. H., 2018. *Stabilitas Tanah Lempung Menggunakan Gypsum, Kapur (CaO) dan Semen ditinjau dari Nilai CBR (California Bearing Ratio)*. *Jurnal Pembangunan Wilayah & Kota*, 1(3), 82–91.
- [25]. Standards, G. engineering. (n.d.). *ASTM D854-10*.
- [26]. Warman, H., Andrea, B., & Teknik Sipil, P. 2023. *Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Difa Soil Stabilizer Dan Semen PCC*. *Sigma Teknik*, 6(1), 195–201.