

# Perancangan Tebal Perkerasan Jalan Lentur Metode AASTHO 1993 Terhadap Tanah Dasar Ekspansif yang Distabilisasi

Lutfi Nur A Hidayah<sup>1</sup>, M Riza Aditya Gunawan<sup>2</sup>, Andri Krisnandi Somantri<sup>3\*</sup>, Moch. Imam Muflih<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

<sup>1</sup>E-mail : [lutfi.nur.tksi22@polban.ac.id](mailto:lutfi.nur.tksi22@polban.ac.id)

<sup>2</sup>E-mail : [m.riza.tksi22@polban.ac.id](mailto:m.riza.tksi22@polban.ac.id)

<sup>3\*</sup>co-responden E-mail : [andri.krisnandi@polban.ac.id](mailto:andri.krisnandi@polban.ac.id)

<sup>4</sup>E-mail : [moch.imam@polban.ac.id](mailto:moch.imam@polban.ac.id)

## ABSTRAK

Kabupaten Majalengka memiliki kebutuhan pembangunan infrastruktur yang cukup tinggi akibat pengelolaan kawasan dengan konsep aerotropolis yang mengintegrasikan bandar udara untuk meningkatkan daya tarik, pertumbuhan ekonomi dan konektivitas. Namun kondisi perkerasan yang ada di jalur Pantai Utara (Pantura) mengalami kerusakan berupa retak di sepanjang jalannya yang disebabkan oleh tanah dasar yang mengalami kembang susut tinggi ketika terkena air atau yang disebut dengan tanah ekspansif. Sehingga sangat diperlukannya stabilisasi tanah sebelum dilakukan konstruksi di atasnya. Dalam penelitian ini dilakukan perkuatan tanah menggunakan nanomaterial dan biopolimer sebagai bahan tambah yang diuji kuat tekan bebas. Dapat dikatakan penambahan bahan-bahan ini berpengaruh pada kenaikan tegangan optimum hingga 151,17% dengan masa peram yang paling optimum di 0 dan 7 hari. Hasil perbandingan CBR hasil korelasi nilai UCS menunjukkan kenaikan 403,70% dari hasil pengujian CBR tanah asli di laboratorium, dan naik hingga 151,22% dari angka CBR korelasi nilai UCS tanah asli. Perhitungan perencanaan tebal perkerasan lentur juga dilakukan menggunakan metode AASTHO 1993 dengan variasi nilai CBR tanah dasar yang berbeda. Dikarenakan terjadi kenaikan nilai CBR tanah campuran maka terdapat penurunan tebal lapis fondasi bawah sebesar 71,95%.

### Kata Kunci

Biopolimer, Nanomaterial, Kuat Tekan Bebas, CBR, Perkerasan Lentur

*Majalengka Regency has high infrastructure construction needs due to the development of the aerotropolis concept that integrates the airport to increase attractiveness, economic growth and connectivity. However, the condition of the existing pavement on the North Coast (Pantura) route is cracked along the road caused by the subgrade soil that has a high shrinkage expansion when exposed to water or what is called expansive soil. So it is very necessary to stabilize the soil before construction is carried out on it. In this study, soil improvement was done using nanomaterials and biopolymers as additives that were tested for unconfined compressive strength. It is found that the addition of these materials has an effect on the optimum stress increase up to 151.17% with the most optimum soaking period at 0 and 7 days. The CBR comparison results of the UCS value correlation showed an increase of 403.70% from the original soil CBR test results in the laboratory, and up to 151.22% from the original soil UCS value correlation CBR. Calculation of flexible pavement thickness planning was also carried out using the 1993 AASTHO method with different variations in subgrade CBR values. Due to an increase in the CBR value of mixed soil, there is a decrease in the thickness of subbase course layer by 71.95%.*

### Keywords

*Biopolymer, Nanomaterials, Unconfined Compressive Strength, California Bearing Ratio, Flexible Pavement*

## 1.PENDAHULUAN

Kabupaten Majalengka memiliki kebutuhan pembangunan infrastruktur yang cukup tinggi akibat pengelolaan kawasan dengan konsep aerotropolis. Kawasan ini merupakan bentuk pengembangan suatu area dalam mengintegrasikan bandar udara bertujuan untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi dan konektivitas dengan meningkatkan daya tarik (1). Indonesia memerlukan perencanaan yang sangat matang, diikuti dengan integrasi tata ruang wilayah dan berkoordinasi dengan pemangku kepentingan dalam implementasi aerotropolis ini (2).

Kawasan yang berada di Pantai Utara (Pantura) Jawa Barat, spesifiknya di Kecamatan Kadipaten ini memiliki tanah asli berjenis tanah ekspansif teridentifikasi dengan pengujian secara langsung maupun tidak langsung di laboratorium. Berdasarkan pengujian klasifikasi tanah *Unified Soil Classification System* (USCS) pada penelitian (3) menyebutkan tanah ini lempung yang mempunyai nilai *Liquid Limit* (LL) 66,91% dan *Plasticity Indeks* (PI) 45,58%. Angka PI yang melebihi 35% ini memiliki kemungkinan tinggi dalam mengalami kembang susut (*swelling*) atau disebut tanah ekspansif dengan karakteristik yang dianggap bermasalah dalam dunia konstruksi (4).

Tanah ekspansif merupakan tanah lempung yang mengalami pengembangan yang sangat signifikan ketika kontak langsung dengan air (3). Hal ini bisa menyebabkan kerusakan pada bangunan infrastruktur di atasnya akibat pergeseran dan penurunan yang tidak merata (5) seperti yang terjadi pada kondisi perkerasan yang mengalami keretakan di sepanjang jalur Pantura termasuk di Kec. Kadipaten, Majalengka.

Dari masalah yang tersebut, pertimbangan stabilisasi tanah sangat penting dilakukan sebelum membangun infrastruktur di atas tanah ekspansif. Stabilisasi mekanik dengan pemadatan, getadan, dan geosintetik adalah salah satu kategori perbaikan tanah. Kategori lainnya bisa stabilisasi kimia dengan pencampuran atau injeksi pengikat semen (6). Di dunia geoteknik, penelitian yang dilakukan dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan kemajuan dalam stabilisasi tanah dengan nanomaterial yang terbukti meningkatkan sifat fisik (*index properties*) dan mekanis (*mechanical properties*) pada tanah (7). Nano-kapur dan nano-silika digunakan sebagai nanomaterial dalam penelitian ini untuk stabilisasi tanah ekspansif. Menurut Chompoorat, 2021 (8) dalam penelitiannya, nano-kapur sangat efektif dalam mengubah karakteristik kekuatan dan stabilitas tanah jangka panjang. Studi lain yang dilakukan oleh Ali, 2023 menunjukkan bahwa *nano-zeolite* dapat menaikkan kekuatan geser tanah. Selain itu nano-silika juga terbukti efektif meningkatkan kekuatan tanah di penelitian yang dilakukan oleh Ghavami, 2021 (8).

Disamping menggunakan nanomaterial, pada penelitian stabilisasi tanah ini dikombinasikan dengan biopolimer sebagai bahan ramah lingkungan yang dapat terurai dengan mudah dan tidak menimbulkan masalah lingkungan (9).

Berdasarkan kondisi jalan eksisting di Kec Kadipaten, Majalengka yang mengalami kerusakan akibat tanah ekspansif. Pada penelitian kali ini dilakukan perencanaan tebal perkerasan lentur dari dengan kondisi tanah asli dan tanah yang telah di stabilisasi. Metode yang digunakan pada perhitungan perencanaan tebal perkerasan lentur yaitu dengan metode AASTHO 1993. Metode AASTHO 1993 merupakan metode perencanaan dari Amerika yang sering digunakan sebagai pedoman diberbagai negara di dunia (10). Metode ini digunakan dalam perencanaan tebal perkerasan dengan kondisi nilai CBR tanah dasar yang bervariasi. Nilai *California Bearing Ratio* (CBR) yang digunakan dari hasil pengujian CBR laboratorium dan hasil korelasi nilai kuat tekan bebas.

## 2. STUDI PUSTAKA

### 2.1 Nanomaterial dan Biopolimer

Nanomaterial ialah suatu material berbentuk bulat atau tidak beraturan yang memiliki rentang ukuran antara 1 hingga 100 nanometer (13) Ukuran ini diperoleh dari proses hasil pemecah partikel menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA), bekerja dengan metode *Dynamic Lights Scattering* (DLS) dengan panjang gelombang maksimum 633 nm.

Penggunaan nano kapur di dunia konstruksi sudah cukup lama diaplikasikan sebagai bahan tambah pada perkuatan tanah ekspansif dengan kelebihan yang dapat menggumpalkan partikel tanah, bahan ini dapat menaikkan kekuatan tanah secara signifikan seiring dengan bertambahnya persentase meski dengan sedikit (14). Nano silika biasanya berbentuk bubuk halus yang mudah terdispersi pada stabilisasi tanah ini berperan sebagai pengisi ruang atau pori dalam tanah secara drastis meningkatkan kepadatan, konduktivitas hidrolik, dan kekuatan tanah yang diuji (15).

Penggunaan nano kapur (NK) dan nano silika (NS) keduanya menunjukkan memengaruhi tanah ekspansif dalam penurunan Indeks Plastisitas (IP) seperti dalam penelitian Firmansyah, 2022 (3), terjadinya penurunan IP hingga 67,18% pada campuran tanah + NK 4% + NS 2%.

Stabilisasi nanomaterial digabungkan dengan bahan aditif berbasis bio-geoteknik berupa biopolimer kitosan (*chitosan*) kulit udang. Kitosan adalah bahan yang berasal dari limbah industri sehingga memiliki nilai ekonomi dan lingkungan yang baik. Selain itu, kitosan merupakan senyawa kedua paling melimpah setelah selulosa, senyawa ini bisa diperoleh dari cangkang kepiting, udang, moluska dan invertebrata laut lainnya (8). Pada penelitian yang dilakukan Sanniyah, 2024 menghasilkan bahwa penambahan kitosan ke dalam campuran tanah ekspansif yang sama dapat meningkatkan kohesi antar partikel dan menurunkan nilai PI hingga 68,89% pada (16).

### 2.2 Kuat Tekan Bebas

Kuat tekan bebas (*Unconfined Compressive Strength Test*, UCS) merupakan pengujian yang bertujuan untuk menghitung kekuatan geser tanah disertai dengan penentuan kuat tekan bebas tanah kohesif. Pengujian dilakukan dengan menggunakan sampel tanah asli dan tanah yang sudah distabilisasi.

Berdasarkan ASTM D2166 (17) perhitungan regangan aksial yang mendekati 0,1% pada beban yang diterapkan, maka perhitungan menggunakan persamaan berikut.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (1)$$

Dimana:

$\varepsilon$  = regangan aksial, %

$\Delta L$  = pembacaan perubahan dial deformasi, mm

$L_0$  = panjang awal, mm

(Sumber: ASTM D2166)

Perhitungan tegangan normal untuk mengidentifikasi nilai kuat tekan bebas maksimum dapat dilakukan dengan persamaan berikut ini,

$$\sigma_c = \frac{P}{A} = \frac{k \times N}{A} \quad (2)$$

Dimana :

$\sigma_c$  = tegangan normal, kg/cm<sup>2</sup>

$P$  = pembebanan, kg

$A$  = luas, cm<sup>2</sup>

$k$  = faktor kalibrasi *proving ring*

$N$  = bacaan *proving ring*

(Sumber: ASTM D2166)

### 2.3 California Bearing Ratio (CBR)

Pada pembangunan jalan tanah dasar *eksisting* tidak dapat dipakai secara langsung pada saat konstruksi dikarenakan adanya variasi kondisi tanah yang berbeda. Oleh karena itu, pengujian daya dukung tanah dasar diperlukan dengan pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) (18).

Berdasarkan ASTM (19) perhitungan nilai CBR laboratorium pada penetrasi 0,1” dan 0,2” menggunakan rumus berikut:

$$\% \text{ CBR } 0,1'' = \frac{\text{beban terkoreksi}}{3000} \times 100\% \quad (3)$$

$$\% \text{ CBR } 0,2'' = \frac{\text{beban terkoreksi}}{4500} \times 100\% \quad (4)$$

Dan untuk kepadatan kering desain pada CBR desain menggunakan rumus berikut:

$$\text{Kepadatan kering desain} = 95\% \times \text{MDD} \quad (5)$$

Dimana :

MDD = Kepadatan Kering Maksimum ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

Dikarenakan lamanya proses pembuatan bahan tambah nanomaterial mengakibatkan keterbatasan bahan stabilisasi. Maka dari itu, untuk mencari nilai CBR dari tanah yang telah distabilisasi digunakan persamaan korelasi nilai  $q_u$  dari kuat tekan bebas menjadi nilai CBR dengan persamaan korelasi Nilai UCS dan CBR dari buku *Soil Properties and Their Correlations* (20):

$$\text{CBR} = \frac{q_u \times 100}{6900} \quad (6)$$

Dimana :

CBR = Nilai CBR (%)

$q_u$  = Tegangan *ultimate* (Kpa)

Sumber : Carter & Bently, 2019

### 2.4 Perkerasan Jalan Lentur Metode AASTHO 1993

Perkerasan jalan merupakan susunan lapisan agregat yang dipadatkan baik menggunakan pengikat ataupun tidak di atas lapisan tanah dasar disebut jalur jalan (21). Perkerasan lentur sendiri yaitu jenis perkerasan jalan yang terdiri dari lapis permukaan (campuran aspal), lapis fondasi atas (*base course*), lapis fondasi bawah (*subbase*). Serta lapis tanah dasar (*subgrade*).

Penggunaan metode AASTHO 1993 pada perhitungan tebal perkerasan lentur dikarenakan metode ini sudah digunakan secara umum untuk perencanaan dan diadopsi menjadi pedoman standar perencanaan di berbagai negara. Metoda ini pada dasarnya termasuk metoda perencanaan yang berdasarkan pada metoda empiris (22). Parameter yang dibutuhkan pada perencanaan menggunakan metoda AASTHO 1993 ini antara lain *Structural Number* (SN), Lalu lintas, *Reliability*, Faktor lingkungan dan *Serviceability*.

Persamaan dasar pada Metode AASTHO 1993 seperti berikut (23):

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_r \times S_0 + 9,63 \times \log_{10}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32 \times \log_{10}(M_r) - 8,07 \quad (7)$$

Dimana:

$W_{18}$  = kumulatif beban gandar standar selama umur rencana (CESA)

ZR = standar normal deviasi

SN = *structural number*

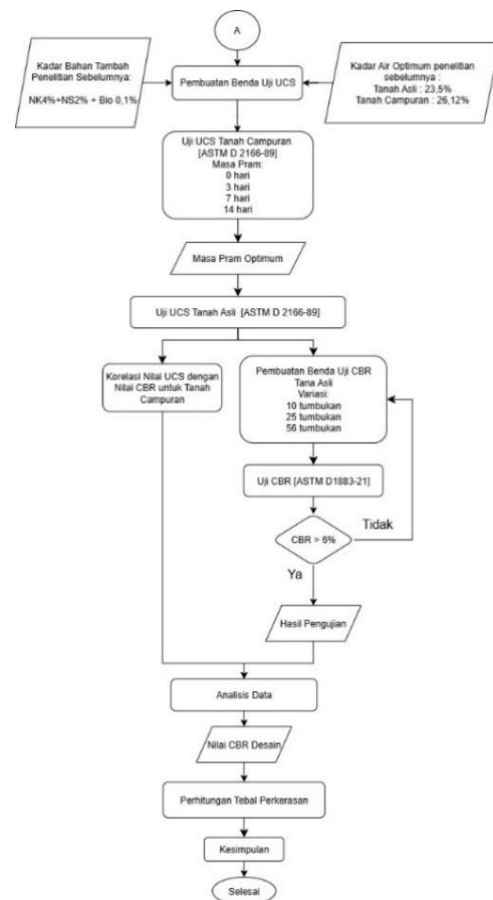
$\Delta PSI$  = *total loss serviceability*

$M_r$  = modulus resilien tanah dasar (psi) .

### 3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini berfokus pada analisis hasil pengujian di laboratorium yang dilakukan untuk mengetahui penambahan nanomaterial dengan kadar nano kapur 4 % ditambah nano silika 2% serta biopolimer *chitosan* kulit udang 0,1% terhadap tanah ekspansif. Pengujian yang dilakukan adalah kuat tekan bebas untuk tanah asli dan tanah stabilisasi dengan pembuatan benda uji yang berdasarkan kadar air optimum pada uji pemadatan. Pengujian selanjutnya adalah uji CBR laboratorium untuk tanah asli dan untuk tanah stabilisasi digunakan korelasi nilai UCS dan CBR untuk mencari nilai CBR desainnya. Variabel utama dalam pengujian ini adalah nilai CBR desain dari tanah asli dan tanah stabilisasi yang selanjutnya akan digunakan dalam perbandingan tebal perkerasan lentur menggunakan metode AASTHO 1993.

Berikut adalah tahapan penelitian yang tersaji pada Gambar 1.

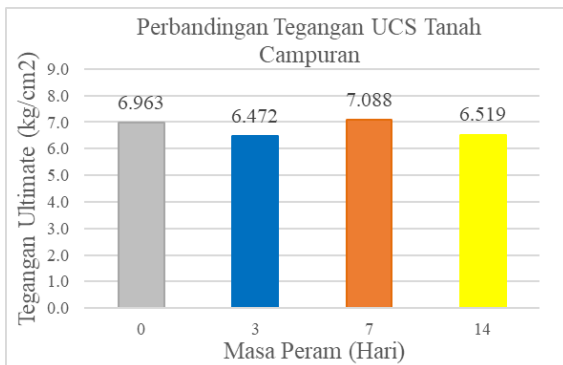


Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

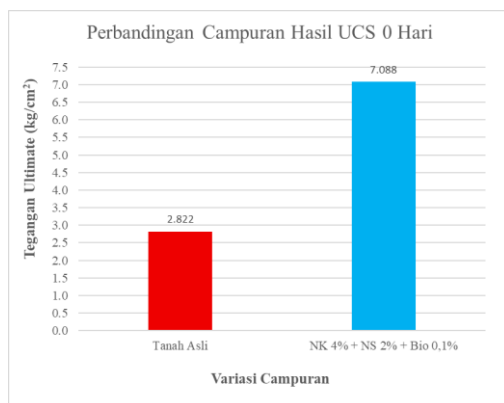
### 4.1 Kuat Tekan Bebas

Pengujian kuat tekan bebas untuk tanah ekspansif yang distabilisasi dilakukan dengan masa peram untuk mencari waktu pemeraman yang paling optimal dengan menggunakan kadar air optimum yang sama dari hasil pengujian kompaksi standar pada penelitian sebelumnya. Berikut merupakan hasil data pengujian kuat tekan bebas pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Perbandingan Tegangan Maksimum UCS Tanah Campuran

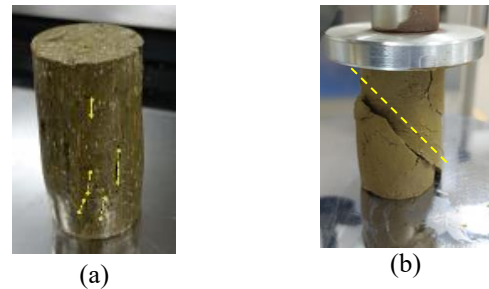
Berdasarkan grafik pada Gambar 2 di atas, diperoleh nilai tegangan yang paling tinggi pada tanah campuran dengan masa pemeraman 0 hari ( $\pm 2$  jam) dan 7 hari dengan nilai tegangan hampir sama yaitu 6,963 kg/cm<sup>2</sup> dan 7,088 kg/cm<sup>2</sup>. Dilakukan perbandingan dengan nilai kuat tekan bebas tanah asli dari uji kompaksi dengan kadar air optimum dari penelitian sebelumnya. Berikut grafik perbandingan tegangan dan regangannya pada Gambar 3



Gambar 3. Perbandingan Tegangan Hasil Uji UCS

Berdasarkan perbandingan pada grafik yang terlihat pada Gambar 3 terlihat bahwa penambahan nanomaterial dan biopolimer terbukti efektif menaikkan nilai daya dukung tanah asli dengan persentase kenaikan hingga 151,17%, yang pada awalnya rendah dengan nilai tegangan *ultimate* sebesar 2,822 kg/cm<sup>2</sup> menjadi 7,088 kg/cm<sup>2</sup> pada tanah stabilisasi nanomaterial dan biopolimer. Hasil ini selaras dengan penelitian yang dilakukan Firmansyah, 2024 dimana penambahan nanomaterial dan biopolimer juga menaikkan nilai UCS hingga 11 kali dari tanah asli (8). Nilai tegangan

ini lah yang selanjutnya akan dikorelasikan menjadi nilai CBR untuk perhitungan tebal perkerasan lentur.

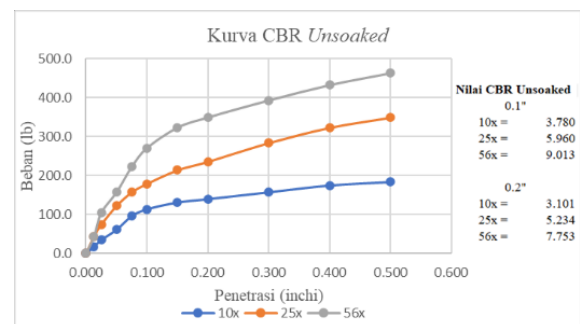


Gambar 4. (a) Keruntuhan Sampel Tanah Campuran (b) Keruntuhan Tanah Asli

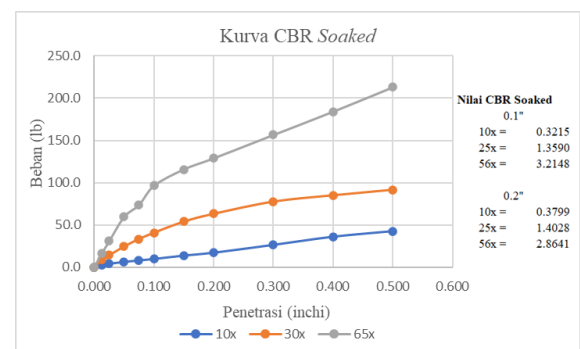
### 4.2 California Bearing Ratio (CBR)

#### 4.2.1 CBR Laboratorium

Pengujian CBR Lab merupakan pengujian yang perlu dilakukan untuk mengetahui daya dukung tanah dasar suatu perkerasan. Uji CBR dibagi menjadi 2 kondisi yaitu kondisi tanpa rendaman (*unsoaked*) dan kondisi rendam (*soaked*). Berikut hasil pengujian CBR untuk tanah asli untuk kondisi *unsoaked* pada Gambar 5 dan untuk kondisi *soaked* pada Gambar 6.

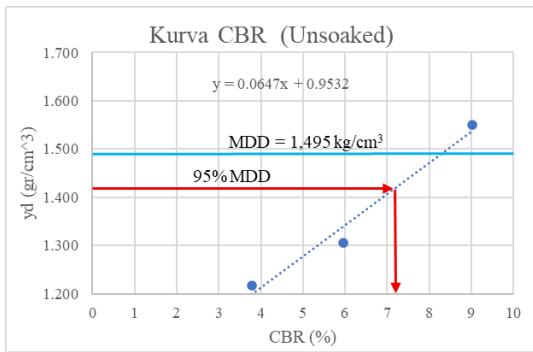


Gambar 5. Grafik CBR Kondisi *Unsoaked*

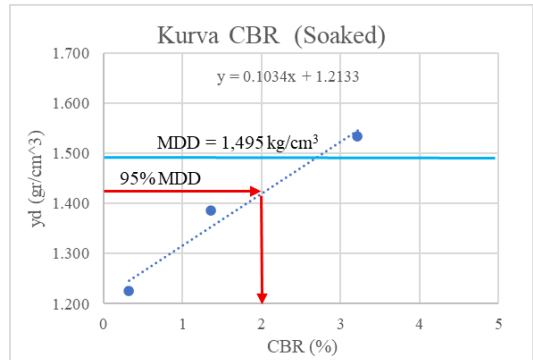


Gambar 6. Grafik CBR Kondisi *Soaked*

Dari kedua hasil nilai CBR tersebut selanjutnya dicari nilai CBR *design* dengan menggunakan 95% kepadatan kering maksimum (MDD) dari uji pemadatan. Nilai CBR *design* ini lah yang akan digunakan pada perhitungan perkerasan lentur dengan tanah dasar dalam kondisi asli. Penentuan CBR *design* tanah asli untuk kondisi *unsoaked* dapat dilihat pada Gambar 7 dan untuk kondisi *soaked* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 7. Grafik CBR Desain *Unsoaked*



Gambar 8. Grafik CBR Desain *Soaked*

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat penurunan nilai cbr dari kondisi *unsoaked* dan *soaked* sebesar 72,2%. Hal ini menandakan bahwa tanah ekspansif akan mengalami penurunan kekuatan daya dukungnya pada saat terendam air. Maka perbaikan tanah ekspansif menggunakan nanomaterial dan biopolimer perlu dilakukan agar menstabilkan nilai CBR dan menurunkan nilai kembang susutnya.

Tabel 1. Nilai CBR Desain untuk Tanah Asli

CBR Design	Tanah Asli
<i>Unsoaked</i>	7,2%
<i>Soaked</i>	2%

#### 4.2.2 CBR Korelasi UCS

Nilai CBR untuk tanah campuran tidak diperoleh dari hasil uji CBR laboratorium secara langsung dikarenakan keterbatasannya bahan nanomaterial yang ada. Untuk mengetahui nilai CBR desain pada tanah stabilisasi digunakan persamaan korelasi nilai dari kuat tekan bebas menjadi nilai CBR. Menggunakan persamaan berikut (20):

$$CBR = \frac{q_u \times 100}{6900}$$

Dari persamaan tersebut bisa kita hitung nilai CBR dari tanah yang sudah diberi bahan tambah nanomaterial dan biopolimer dengan nilai hasil pengujian kuat tekan bebas  $q_u = 7,09 \text{ kg/cm}^2$  atau 695,10 kPa.

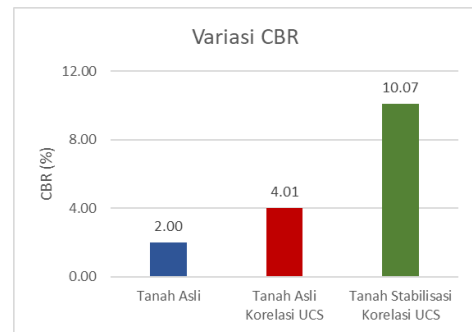
$$CBR = \frac{695,099 \times 100}{6900} = 10,07\%$$

Nilai CBR yang digunakan yaitu 10,07% dari hasil korelasi nilai UCS dan CBR. Selain tanah campuran, nilai UCS dari tanah asli juga dikorelasikan dengan persamaan yang sama dan menghasilkan Nilai CBR tanah asli sebesar 4,01%. Nilai

CBR dari hasil korelasi ini yang akan digunakan dalam perencanaan tebal perkerasan lentur.

#### 4.2.3 Perbandingan Nilai CBR Lab dan Korelasi

Berikut merupakan grafik perbandingan yang menunjukkan variasi nilai CBR dari hasil uji dan korelasi dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Perbandingan Variasi Nilai CBR

Berdasarkan perbandingan nilai CBR tersebut, dapat dilihat peningkatan sebesar 403,70% pada CBR korelasi UCS tanah dengan nanomaterial (NK 4% + NS 2%) dan Biopolimer (Bio 0,1%) jika dibandingkan dengan angka CBR tanah asli dari pengujian di laboratorium. Dan mengalami peningkatan sebesar 151,22% pada CBR hasil korelasi UCS tanah asli.

#### 4.3 Perhitungan Tebal Perkerasan Metode AASTHO 1993

Penelitian ini dilakukan di daerah kecamatan Kadipaten, Majalengka. Jalan ini termasuk jalan kabupaten yang direncanakan akan direncanakan perkerasan lentur dengan tipe 2 arah dengan 2 lajur. Berikut adalah data perencanaan jalan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Perencanaan Perkerasan Jalan

Data Teknis Jalan	
Tipe Jalan	2/2 UD
Fungsi Jalan	Kolektor rural
Umur Rencana	20 tahun
Jenis Perkerasan	Perkerasan Lentur
Angka Pertumbuhan Lalu Lintas (i)	8,50%
CBR Tanah Dasar	
- Tanah Asli	2,00%
- Tanah Asli Korelasi UCS	4,01%
- CBR Minimum perkerasan	6,00%
- Tanah Perbaikan korelasi UCS	10,0739%

##### 4.3.1 Parameter Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur

Setelah perhitungan beban selesai dicari parameter perencanaan untuk perkerasan seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter Perencanaan

No	Parameter SN	Nilai	Keterangan
1	Umur Rencana (n)	20	Tahun
2	Perkembangan Lalu Lintas (g) Faktor Distribusi	8,50	%
3	lajur (DD) Kadipaten-Jatitujuh	0,52	

	Faktor Distribusi lajur (DD) Jatitujuh-Kadipaten	0,48	
4	Faktor Distribusi Arah (DL)	1	
5	Lalu lintas pada lajur rencana (W18)	7.140.527,927	ESAL
6	Modulus Resilient (MR) Subgrade Tanah Asli	3000	Psi
	Tanah Asli Korelasi UCS	6015	Psi
	CBR Minimum	9000	Psi
	Tanah Perbaikan korelasi UCS	15167,12	Psi
7	Koefisien drainase (m2 dan m3)	1	
8	Indeks Kemampuan pelayanan awal (Po)	4,2	
9	Indeks Kemampuan pelayanan akhir (Pt)	2,5	
10	Nilai total indeks pelayanan ( $\Delta$ Psi)	1,7	
11	Reabilitas (R)	85	
12	Simpangan Baku Keseluruhan (So)	0,45	
13	Standar deviasi normal (ZR)	-1,037	
14	MR Surface	440.000	Psi
15	MR Base	30.000	Psi
16	MR Sub Base	15.000	Psi

### 4.3.2 Structural Number (SN)

Perhitungan SN menggunakan metode *trial & error* dari persamaan AASTHO 1993, berikut hasil perhitungan nilai SN pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Perhitungan SN

Structural Number (SN)	Tanah Asli (CBR=2%)	Tanah Asli Korelasi UCS (CBR=4%)	CBR minimum 6%	Tanah Perbaikan Korelasi (CBR = 10,07%)
SN1	2,7	2,7	2,7	2,7
SN2	3,5	3,5	3,5	3,5
SN3	6,1	4,9	4,3	3,5

### 4.3.3 Perhitungan Tebal Lapisan

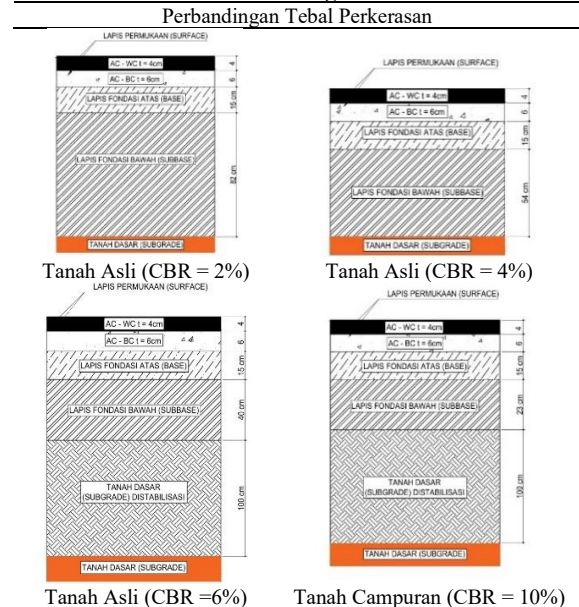
Berikut hasil rekapitulasi tebal perkerasan lentur dalam Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Tebal Perkerasan

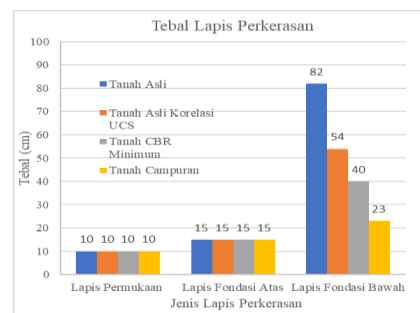
Lapis Perkerasan Lentur	Ketebalan (cm)			
	Tanah Asli	Tanah Asli Korelasi UCS	CBR minimum 6%	Tanah Perbaikan Korelasi UCS
Lapis Permukaan	10	10	10	10
Lapis Fondasi Atas	15	15	15	15
Lapis Fondasi Bawah	82	54	40	23

Berikut ilustrasi ketebalan tiap lapisan perkerasan dengan variasi nilai CBR tanah dasar.

Tabel 6. Ilustrasi Perbandingan Tebal Perkerasan



Untuk tebal lapisan *surface* dan *subbase* sudah memenuhi spesifikasi AASTHO. Akan tetapi, pada tebal lapis fondasi bawah (*sub base course*) memiliki ketebalan yang bervariasi tergantung nilai CBR tanah dasarnya.



Gambar 10. Grafik Perbandingan Tebal Lapis Perkerasan

Dari grafik pada Gambar 10 pada tanah dengan campuran nanomaterial dan biopolimer terjadi penurunan ketebalan *sub base* yang signifikan. Hal ini dikarenakan nilai CBR tanah stabilisasi yang tinggi. Penambahan nanomaterial dan biopolimer ini meningkatkan nilai CBR tanah dasar sebesar 403,70% yaitu dari 2% menjadi 10%. Sedangkan apabila dibandingkan antara nilai CBR tanah asli dan tanah stabilisasi yang keduanya dihasilkan dari korelasi nilai UCS dan CBR terjadi kenaikan sebesar 151,22%.

Pada perkerasan jalan nilai CBR berpengaruh terhadap nilai *modulus resilient*-nya, sehingga dapat menurunkan tebal lapis fondasi bawah perkerasan sebesar 71,95% yang sebelumnya 82 cm untuk tanah dasar sebelum di stabilisasi menjadi 23 cm pada perkerasan jalan yang tanahnya sudah distabilisasi. Penurunan tebal lapis fondasi bawah sebesar 57,41 % dari 54 cm menjadi 23 cm yang terjadi di antara perbandingan nilai CBR tanah dasar sebelum dan sesudah distabilisasi yang kedua nilai CBR-nya diambil dari perhitungan korelasi UCS dan CBR. Sedangkan untuk perbandingan antara tebal lapis fondasi bawah yang menggunakan nilai CBR minimum perkerasan jalan dengan

nilai CBR tanah stabilisasi nanomaterial dan biopolimer, terjadi penurunan sebesar 42,50% yaitu dari 40 cm menjadi 23 cm.

## 7. KESIMPULAN

Berdasarkan diskusi yang telah dilakukan, penggunaan nanomaterial dan biopolimer pada stabilisasi tanah ekspansif terbukti meningkatkan nilai kuat tekan bebas sampai 151,17% dengan masa peram yang paling optimum di 0 dan 7 hari.

Hasil perbandingan nilai CBR hasil korelasi nilai UCS menunjukkan kenaikan 403,70% dari hasil pengujian CBR tanah asli di laboratorium, dan naik hingga 151,22% dari angka CBR korelasi nilai UCS tanah asli. Kenaikan nilai CBR ini berpengaruh pada penurunan lapis fondasi bawah (*subbase*). Penurunan yang terjadi sebesar 71,95% pada tanah dasar yang terstabilisasi. Sedangkan untuk ketebalan lapis fondasi bawah pada perbandingan dengan nilai CBR hasil korelasi mengalami penurunan sebesar 57,41%. Sehingga penambahan nanomaterial dan biopolimer pada tanah ekspansif terbukti menaikkan nilai daya dukung tanah yaitu nilai kuat tekan bebas serta nilai CBR.

## DAFTAR PUSTAKA

- Berawi Ma, Affiandi Zn, Miraj P, Gunawan. Financial And Institutional Scheme Of Aerotropolis Conceptual Design. *Iop Conf Ser Mater Sci Eng*. 2019;650(1).
- Kurniawan Js. Implementation Of Aerotropolis Interaction Concept Based Spatial In Indonesia. *Warta Ardhia Jurnal Perhubungan Udara*. 2017;42:195–202.
- Firmansyah D, Madaliyah N, Verani A, Krisnandi A. Perancangan Perkerasan Lentur Pada Tanah Lunak Dengan Modifikasi Nanomaterial Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Politeknik Negeri Bandung*; 2022.
- Nelson Jd, Chao Kc, Overton Dd, Nelson Ej. Foundation Engineering For Expansive Soils. *Foundation Engineering For Expansive Soils*. 2015. 1–385 P.
- Mostafiz R Bin, Friedland Cj, Rohli R V., Bushra N, Held Cl. Property Risk Assessment For Expansive Soils In Louisiana. *Front Built Environ*. 2021;7(October):1–10.
- Makusa Gp. Soil Stabilization Methods And Materials In Engineering Practice. *Journal*. 2012;1:1–35.
- Niroumand H, Balachowsk L, Manafvand Ardi S. Nano Soil-Improvement Or Nano Ground-Improvement In Geotechnical Engineering. *Proceedings Of The Seventeenth International Conference On Civil, Structural And Environmental Engineering Computing*. 2023;6:1–7.
- Firmansyah Da, Somantri Ak, Sihombing Avr, Mase Lz, Sundara A. Mechanical Properties Of Soft Clay Soil Improved With Nanomaterials And Chitosan Biopolymer. *Geotechnical Engineering*. 2024;55(2):31–7.
- Soldo A, Miletić M, Auad Ml. Biopolymers As A Sustainable Solution For The Enhancement Of Soil Mechanical Properties. *Sci Rep*. 2020;10(1):1–13.
- Amaludin Ah. Analisis Perbandingan Tebal Perkerasan Lentur Antara Metode Aashto 1993 Dengan Metode Manual Desain Perkerasan 2017 (Studi Kasus: Jalan Lingkar Luar Barat Kota Surabaya). 2022;
- Sanniyah Ss, Sihombing Avr, Mase Lz, Susanto A, Somantri Ak, Krisologus Yp. Experimental Evaluation Of Nano-Material And Biopolymer Additives On Expansive Subgrade Soil For Pavement Applications. *Transportation Infrastructure Geotechnology [Internet]*. 2024;(0123456789). Available From: <https://doi.org/10.1007/S40515-024-00449-9>
- Depatemen Pekerjaan Umum (Public Works Department). Dpu Pd T-10-2005-B Pedoman Penanganan Tanah Ekspansif Untuk Konstruksi Jalan (Handling Of Expansive Soil For Road Construction). 2005.
- Alshawmar F. Utilization Of Nano Silica And Plantain Leaf Ash For Improving Strength Properties Of Expansive Soil. *Sustainability (Switzerland)*. 2024 Mar 1;16(5).
- Govindasamy P, Taha Mr, Alsharif J, Ramalingam K. Influence Of Nanolime And Curing Period On Unconfined Compressive Strength Of Soil. *Appl Environ Soil Sci*. 2017;2017.
- Ghavami S, Naseri H, Jahanbakhsh H, Moghadas Nejad F. The Impacts Of Nano-Sio2 And Silica Fume On Cement Kiln Dust Treated Soil As A Sustainable Cement-Free Stabilizer. *Constr Build Mater*. 2021 May 24;285.
- Sanniyah Ss, Sihombing Avr, Mase Lz, Susanto A, Somantri Ak, Krisologus Yp. Pengaruh Nano-Material Dan Biopolimer Terhadap Karakteristik Tanah Lunak Untuk Desain Perkerasan Jalan. *Jurnal Hpji*. 2024;10(1):53–64.
- Astm International. Standard Test Method For Unconfined Compressive Strength Of Cohesive Soil. *West Conshohocken, Pa*; 2013.
- Damayanti An, Adha I, Zakaria A. Komparasi Kadar Daya Dukung Tanah Berbutir Halus Berdasarkan Uji Cbr Menggunakan Alat Tekan Modifikasi Dan Modified Proctor. *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Desain*. 2020 Dec;8(No.4).
- Astm International. Test Method For California Bearing Ratio (Cbr) Of Laboratory-Compacted Soils [Internet]. *West Conshohocken, Pa: Astm International*; 2021 Nov. Available From: <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?D1883-21>
- Carter M, Bentley Sp. Soil Properties And Their Correlations - Second Edition. *Second Edi. Vol. 11, Sustainability (Switzerland)*. John Wiley & Sons, Ltd; 2019. 1–14 P.
- Farida I, Noer Hakim G. Ketebalan Perkerasan Lentur Dengan Metode Aashto 1993 Dan Manual Perkerasan Jalan 2017. *Jurnal Teknik Sipil Cendekia (Jtsc)*. 2021 Feb 8;2(1):59–68.
- Yudha Permana M, Gede Sumanjaya A, Ketut Nudja S Dan I. Perencanaan Perkerasan Pada Ruas Jalan Dari Simpang Jalan Gatot Subroto Barat Sampai Simpang Jalan Gunung Sopotan Denpasar. *Paduraksa*. 2019;8(1).
- Trasportation Aa Of Sh. Aashto Guide For Designof Pavement Structures 1993. *Washington, D.C*; 1993.