

Estimasi Modulus Resilien dari uji CBR pada Tanah Lempung distabilisasi Abu Vulkanis dan Kapur

Devi Oktaviana Latif - Dr.,ST.,M.Eng

Departemen Teknik Sipil, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada

Ahmad Rifa'i- Dr., Ir.,MT.,

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Latif Budi Suparma –Ir.,M.Sc., Ph.D

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

ABSTRAK: Tanah merupakan bagian penting pada konstruksi jalan sehingga kekuatan dan stabilitas *subgrade* sangatlah diperlukan untuk mendukung beban jalan raya tersebut. Pada umumnya penentuan kekuatan, kekakuan dan stabilitas bahan *subgrade* pada konstruksi jalan dinyatakan dengan nilai CBR (*California Bearing Ratio*) dan *Modulus Resilient* (Mr). Modulus resilien merupakan perbandingan antara tegangan siklis dengan regangan. Saat ini pengujian modulus resilien sangat jarang digunakan untuk menentukan kekakuan tanah dasar. Hal tersebut dikarenakan ketersediaan alat triaxial siklik sangat kurang, pengujian yang rumit dan biaya yang besar, sehingga untuk meminimalisir kekurangan tersebut, maka diusulkan suatu prediksi nilai modulus resilien (Mr) dengan nilai CBR. Prediksi nilai modulus resilien dan CBR bertujuan sebagai acuan pada perencanaan nilai Mr pada tanah ekspansif yang distabilisasi dengan abu vulkanis dan kapur. hasil pengujian triaksial siklis dan CBR pada penelitian ini diperoleh korelasi antara Mr dan CBR dengan menggunakan regresi linier berganda.

Kata Kunci: Modulus resilien, stabilisasi tanah, abu vulkanis

ABSTRACT: Soil is an important part of road construction, so subgrade strength and stability are needed to support the load of the highway. In general, the determination of the strength, stiffness and stability of subgrade materials in road construction is stated by the value of CBR (*California Bearing Ratio*) and Resilient Modulus (Mr). Resilient modulus is a comparison between cyclic stress and recovery strain. Currently testing resilient modulus is very rarely used to determine subgrade stiffness. This is because the availability of cyclic triaxial equipment is very lacking, complicated testing and large costs, so as to minimize these deficiency, a prediction of resilient modulus (Mr) is proposed with the CBR value. The prediction of resilient modulus and CBR values is intended as a reference for planning the value of Mr. on expansive soil stabilized with volcanic ash and lime. The results of the cyclical triaxial test and CBR in this study obtained the correlation between Mr and CBR using multiple linear regression.

Keywords: Resilien modulus, soil stabilization, volcanic ash.

1 PENDAHULUAN

Tanah merupakan bagian penting pada konstruksi jalan sehingga kekuatan dan stabilitas *subgrade* sangatlah diperlukan untuk mendukung beban jalan raya tersebut. Pada umumnya penentuan kekuatan, kekakuan dan stabilitas bahan *subgrade* pada konstruksi jalan dinyatakan dengan nilai CBR (*California Bearing Ratio*) dan *Modulus Resilient* (Mr). Modulus resilien merupakan perbandingan antara tegangan siklis dengan regangan. Saat ini pengujian modulus resilien sangat jarang digunakan untuk menentukan kekakuan tanah dasar. Hal tersebut dikarenakan ketersediaan

alat triaxial siklik sangat kurang, pengujian yang rumit dan biaya yang besar, sehingga untuk meminimalisir kekurangan tersebut, maka diusulkan suatu prediksi nilai modulus resilien (Mr) dengan nilai CBR.

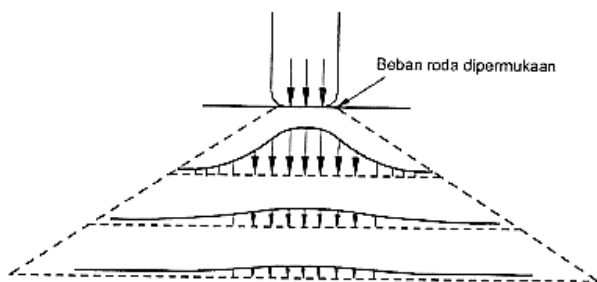
Prediksi nilai modulus resilien dengan CBR sebenarnya telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti. Namun korelasi tersebut hanya dapat digunakan untuk jenis tanah tertentu. Sedangkan untuk jenis tanah lempung ekspansif yang distabilisasi dengan abu vulkanis dan kapur tidak dapat menggunakan korelasi tersebut. Sebelum melakukan korelasi antara Mr dan CBR, dilakukan beberapa tahap penelitian yaitu tahapan penentuan kadar abu

vulkanis dari uji karakteristik tanah yang menghasilkan campuran yang digunakan adalah 20-30 % abu vulkanis dan 3-5% kapur (Latif dkk,2016), pengamatan pengaruh penambahan abu vulkanis dan kapur terhadap peningkatan nilai kekakuan tanah menggunakan triaxial siklis (Latif dkk.,2017) dan melakukan korelasi Mr dan CBR

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tegangan pada Subgrade

Tegangan yang diterima oleh Tanah dasar atau *Subgrade* akibat beban roda kendaraan yang ada diatas permukaan perkerasan jalan. Gaya yang bekerja pada permukaan perkerasan berupa gaya dinamik beban kendaraan yang lewat secara berulang-ulang. Tegangan yang terjadi pada subgrade akibat beban kendaraan dan tegangan kekang pada kedalaman tertentu menggambarkan besarnya tegangan deviator dan tegangan kekang yang dialami tanah pada pengujian triaksial siklis. Distribusi tegangan akibat beban kendaraan yang terbesar terjadi pada bagian atas dan berkurang dengan bertambahnya kedalaman seperti pada Gambar 1 Lapis perkerasan diatas tanah dasar harus mampu mereduksi tegangan yang diterima oleh tanah dasar, sehingga dapat mencegah terjadinya penurunan atau deformasi yang berlebihan. (Hardiyatmo, 2015)



Gambar 1 Penyebaran tegangan akibat beban roda kendaraan.

Analisa tegangan yang terjadi dalam massa tanah akibat pengaruh beban kendaraan dipermukaan dapat dilakukan dengan menggunakan teori Boussinesq (1885). Besarnya tegangan vertikal akibat beban roda kendaraan tidak tergantung pada modulus elastis (E) dan *poisson ratio* (μ) dan dinyatakan dalam persamaan :

$$\Delta = \frac{Q}{4(1-\mu)} \left(\frac{z}{r} \right)^3 \dots\dots\dots (1)$$

dengan,

$\Delta\sigma_z$ = Tambahan beban pada kedalaman tertentu (kPa)

Q = beban kendaraan (kN)

r = jarak dari pusat beban (m)

z = kedalaman lapisan tanah

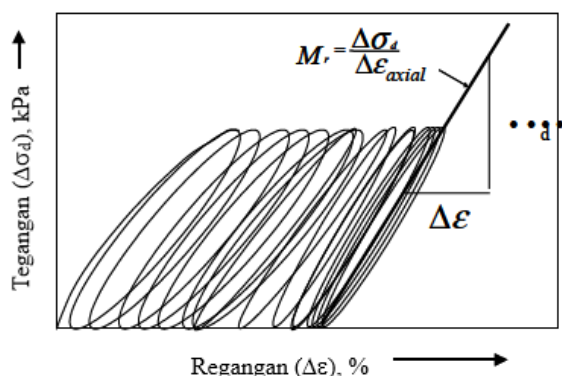
2.2 Modulus Resilien

Desain dan evaluasi kinerja perkerasan sangat dipengaruhi oleh sifat mekanis dan komposisi lapisan tanah dasar. Sifat mekanis tanah tersebut adalah kekakuan, kekuatan, dan deformasi permanen. Untuk memperoleh sifat mekanis tanah dasar (*subgrade*) membutuhkan sejumlah besar data pendukung seperti karakteristik pembebanan lalu lintas, sifat material, kondisi lingkungan dan prosedur konstruksi. Saat ini, korelasi empiris dikembangkan antara lapangan dan propertis bahan laboratorium yang digunakan untuk memperoleh karakteristik kinerja *subgrade*. korelasi ini tidak memenuhi persyaratan desain dan analisis karena mengabaikan semua mekanisme kegagalan yang mungkin di lapangan. Metode tersebut menggunakan *California Bearing Ratio* (CBR) dan Nilai Dukungan Tanah untuk memperoleh nilai kekakuan tanah tapi tidak mewakili kondisi perkerasan yang mengalami beban lalu lintas berulang. Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) 1986 dan 1993 merekomendasikan panduan desain penggunaan modulus resilient (Mr) untuk karakteristik *base course* dan *subgrade* untuk merancang perkerasan lentur. Modulus resilien (Mr) yang merupakan ukuran kekuatan tanah dibawah tingkatan tegangan beban lalu lintas. Nilai modulus resilien diperoleh dengan melakukan pengujian triaksial siklik dilaboratorium yang mensimulasikan beban lalu lintas dengan tingkatan tegangan deviator sehingga diperoleh regangan aksial dipulihkan dan regangan aksial permanen.

Konsep *modulus resilien* sebuah material awalnya diperkenalkan oleh (Seed, et al., 1962) sebagai rasio tegangan deviatoric dinamis σ_d yang diterapkan, untuk komponen tegangan resilien atau elastik (kembali) ϵ_r . Modulus Resilien digunakan untuk menggambarkan nilai tegangan tanah. Nilai tersebut tergantung dari modulus elastisitas tanah yang berbeda di bawah beban lalu lintas. Beberapa penelitian telah banyak dilakukan untuk menyelidiki pengaruh Modulus Resilien (Mr) suatu material

pada perancangan perkerasan. Hasil dari Mr memberi pengaruh yang sangat besar terhadap perancangan ketebalan lapis fondasi dan lapisan aspal.

Modulus Resilien digambarkan sebagai fase yang diperoleh dari kemiringan tegangan dan regangan yang terjadi selama pembeban berlangsung yaitu beban kendaraan melewati perkerasan. Uji modulus resilien mengukur kekakuan pada benda uji berbentuk silinder dengan menerapkan beban berulang. Untuk tegangan deviatorik yang diberikan modulus resilien didefinisikan sebagai kemiringan kurva tegangan deviatorik dan regangan aksial (Gambar 2)



Gambar 2 Definisi modulus resilien

$$= \frac{\Delta \sigma_d}{\Delta \epsilon} \dots \dots \dots (2)$$

dengan,

- : tegangan maksimum siklis (kN/m²),
- : regangan elastis (%)

2.3 Model korelasi Modulus resilien dan CBR

Nilai modulus resilien diperoleh dengan pengukuran dilaboratorium menggunakan alat triaxial siklis. Namun, ketersediaan alat triaxial siklis terbatas sehingga nilai modulus resilien ditentukan dengan korelasi empirik baik dengan nilai CBR maupun nilai-R. AASHTO mengusulkan korelasi Mr dan CBR untuk tanah berbutir halus :

$$M_r (psi) = 1500 CBR \dots \dots \dots (3)$$

Korelasi ini efektif untuk nilai CBR *unsoaked* < 20 % dan CBR *Soaked* < 10% yang dapat digunakan untuk perancangan perkerasan. Selain itu, ada juga berbagai persamaan lain yang digunakan untuk memperkirakan nilai Modulus resilien berdasarkan hasil uji CBR yaitu :

1. South African Council on Scientific and Industrial Research (CSIR)
 $M_r (psi) = 3000 CBR^{0.65} \dots \dots \dots (4)$
2. U.S. Army Waterway Experiment station
 $M_r (psi) = 5409 CBR^{0.71} \dots \dots \dots (5)$
3. Transport and road research laboratory
 $M_r (psi) = 2555 CBR^{0.64} \dots \dots \dots (6)$
4. Heukolom and Fuster (1960)
 $M_r (psi) = 1565 CBR \dots \dots \dots (7)$
5. Hopkins (1991)
 $M_r (psi) = 2596 CBR^{0.874} \dots \dots \dots (8)$

Persamaan tersebut diatas digunakan untuk jenis tanah berbutir halus sehingga persamaan diatas tidak dapat digunakan untuk jenis tanah yang distabilisasi dengan abu vulkanis dan kapur. dengan demikian perlu dilakukan pengembangan model persamaan yang dapat digunakan untuk tanah lempung ekspansif yang distabilisasi dengan abu vulkanis dan kapur.

3 METODE PENGUJIAN

Uji modulus resilien dilakukan sesuai standar AASHTO T307 menggunakan alat triaxial siklis pada Gambar 3. Prosedur pengujian untuk tanah dasar terdiri dari dua tahap. Tahap pertama adalah tahap kondisi 1000 siklis. Tahap kedua terdiri dari 15 beban kompresi siklik urutan dengan berbagai tekanan kekang. Tekanan aksial maksimum menekan selama fase ini berkisar dari sekitar 14 kPa sampai 70 kPa, dan tekanan kekang berkisar dari sekitar 14 kPa sampai 42 kPa.

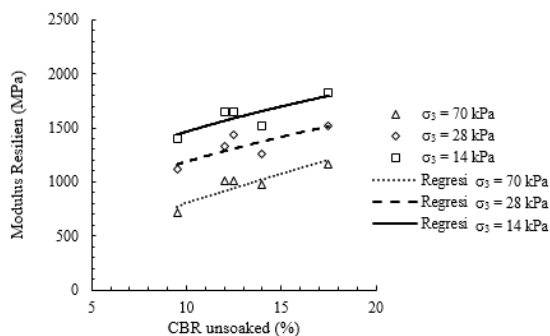


Gambar 3. Alat triaxial siklis

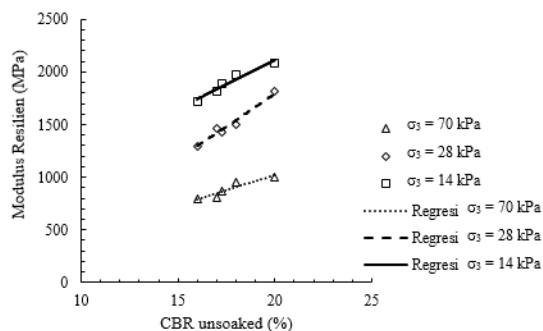
4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Korelasi nilai CBR dan modulus resilien bertujuan untuk memprediksi nilai modulus resilien yang dapat digunakan sebagai acuan perencanaan dilapangan untuk jenis tanah ekspansif distabilisasi menggunakan abu vulkanis dan kapur. Untuk memperoleh nilai

tersebut maka dilakukan analisis regresi yang terdiri dari satu variabel bebas yaitu variabel nilai CBR laboratorium. Setiap data pengujian di plotkan kedalam grafik dan dianalisis dengan cara regresi untuk mendapatkan nilai secara umum pada model konstitutif yang disajikan pada Gambar 4 dan Gambar 5. Berdasarkan hasil dari prosedur regresi nonlinier dengan model fungsi berpangkat, analisis dilakukan untuk menentukan model terbaik untuk memprediksi nilai M_r dari regresi koefisien berdasarkan Nilai CBR yang disajikan pada Tabel 2.



Gambar 4. Hubungan antara modulus resilien dan CBR pada tanah campuran abu vulkanis Merapi dan kapur 3%.



Gambar 5. Hubungan antara modulus resilien dan CBR pada tanah campuran abu vulkanis Merapi dan kapur 3%

Dari hasil yang ditampilkan pada Tabel 1 menunjukkan korelasi modulus resilien dan CBR berbeda-beda. Hal tersebut menunjukkan terdapat faktor pengaruh tegangan-tegangan yang diterapkan pada benda uji terhadap nilai modulus resilien. Pengaruh tegangan yang diterapkan pada benda uji ditampilkan pada Gambar 6 tersebut menunjukkan semakin besar tegangan deviator (σ_d), tegangan kejang (σ_3) dan tegangan utama yang diterapkan maka nilai modulus resilien semakin besar

Analisa statistik diperlukan untuk mengembangkan pengembangan model prediksi yang dapat diandalkan sebagai alternatif korelasi antara nilai modulus resilien, dan CBR dengan faktor pengaruh tegangan utama mayor, tegangan minor atau tegangan kekang.

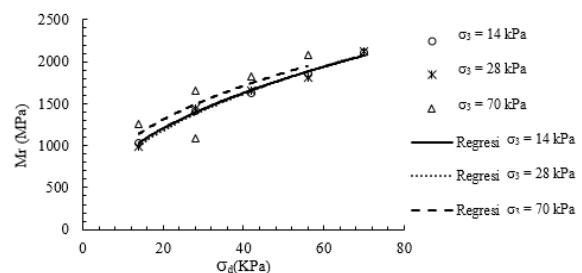
Analisa statistik diperlukan untuk mengembangkan pengembangan model prediksi yang dapat diandalkan sebagai alternatif korelasi antara nilai modulus resilien, tegangan utama mayor, tegangan minor atau tegangan kekang dan CBR. Pada hasil analisa hubungan antara modulus resilien dengan CBR, σ_d dan σ_3 diperoleh persamaan sebagai berikut

$$\text{Log} \left(\frac{M_r}{P_a} \right) = \frac{1}{3} \left(b \log(CBR) + d \log \left(\frac{\sigma_d}{P_a} \right) + f \log \left(\frac{\sigma_3}{P_a} \right) \right) \quad (9)$$

Untuk mengetahui variabel b,d,f maka dilakukan analisa regresi berganda dengan bantuan excel. Variabel dependen dan independen disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1 Persamaan hubungan M_r dan CBR

No	Keterangan	Tingkat tegangan	Persamaan	R ²
1	Merapi VA + 3% Kapur	Tinggi	$M_r = 631.52 \text{ CBR}^{0.365}$	0.67
		Sedang	$M_r = 436.38 \text{ CBR}^{0.4346}$	0.66
		Rendah	$M_r = 150.24 \text{ CBR}^{0.78}$	0.81
2	Merapi VA + 5% Kapur	Tinggi	$M_r = 143.79 \text{ CBR}^{0.8716}$	0.96
		Sedang	$M_r = 120.37 \text{ CBR}^{0.8758}$	0.61
		Rendah	$M_r = 412.01 \text{ CBR}^{0.2577}$	



Gambar 6 Pengaruh tegangan deviator dan tegangan kekang terhadap modulus resilien pada campuran 20% abu vulkanis Merapi dan 5% kapur

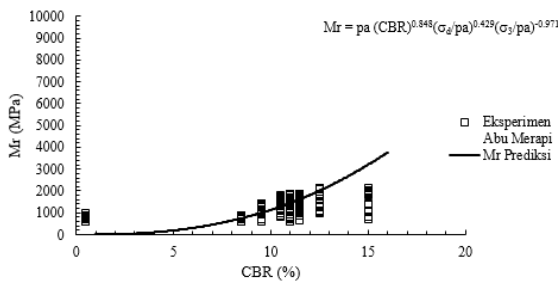
Tabel 2. Variabel Independen dan Dependen pada Analisis Regresi Linier Berganda

Tipe Variabel	Notasi	Deskripsi	Range
Independen	Mr	Modulus Resilien	590.94-3155.2 MPa
Dependen	CBR	California Bearing Ratio	5-16 %
	σ_1	Tegangan utama mayor	28 -12 kPa
	σ_3	Tegangan utama minor/ tegangan kekang	14 – 42 kPa

Hasil analisa regresi linier berganda menghasilkan koefisien b,d dan f sehingga persamaan 9 menjadi :

$$\left(\frac{M_r}{P_a}\right) = (CBR)^{0.848} \left(\frac{\sigma_d}{P_a}\right)^{0.429} \left(\frac{\sigma_3}{P_a}\right)^{-0.971} \quad (10)$$

Untuk mengetahui keandalan Persamaan maka dilakukan analisa dengan membandingkan nilai modulus resilien hasil pengujian dengan nilai modulus resilien prediksi yang disajikan pada Gambar 7



Gambar 7. Perbandingan Mr prediksi dengan Mr eksperimen abu vulkanis Merapi

Pengujian dilaboratorium menghasilkan data modulus resilien yang digunakan untuk memvalidasi korelasi antara parameter dependen dan independen dengan analisis statistik menggunakan regresi linier berganda. Analisis statistik yang dilakukan pada hasil uji abu vulkanis Merapi, Gambar 7 menghasilkan korelasi yang baik antara parameter model dan sifat tanah. Perbandingan nilai modulus resilien yang diprediksi dan eksperimen menunjukkan bahwa korelasi yang diajukan oleh penelitian ini adalah akurasi yang dapat diterima.

5 KESIMPULAN

Korelasi antara modulus resilien dan nilai CBR pada campuran tanah abu vulkanis dan kapur dengan tujuan sebagai acuan pada perencanaan nilai Mr dilakukan dengan analisis regresi dimana tegangan utama mayor dan tegangan kekang merupakan variabel yang mempengaruhi nilai modulus resilien menghasilkan formulasi :

$$\left(\frac{M_r}{P_a}\right) = (CBR)^{0.848} \left(\frac{\sigma_d}{P_a}\right)^{0.429} \left(\frac{\sigma_3}{P_a}\right)^{-0.971}$$

DAFTAR PUSTAKA - REFERENCES

- ASTM. 2007. Annual Book of ASTM Standards, section 4, Volume 04 09, Philadelphia, USA.
- Bell, F.G. (1993). Engineering Treatment o Soil, 1st edition, E & FN Spon, London
- Ingles, O. & Metcalf, J. (1972). *Soil stabilization: principles and practice*. Sidney, Melbourne, Brisbane: Butterworths
- Lambe, T.W., and Whitman, R.V. (1969), *Soil Mechanics*, SI Version, John Wiley& Sons, New York.
- Latif, D.O., Rifa'i, A. & Suryolelono, K.B. 2016. Chemical Characteristic of volcanic ash in Indonesia For Soil stabilization: Morphology and Chemical Content. International Journal of Geomate, vol 11 issue 26, pp 2606. ISSN: 2186-2982(Print), 2186-2990(Online), Japan, DOI : 10.21660/2016.26.151120 <http://geomatejournal.com/sites/default/files/articles/2606-2610-151120-Devi-Oct-2016-cl.pdf>
- Latif, D.O., Rifa'i, A. & Suryolelono, K.B. 2016. Effect of Kelud Volcanic Ash Utilization on The Physical Properties as Stabilizer Material for Soil Stabilization. Electronic Journal of Geotechnical Engineering, vol 20.4 issue 26, pp 1679-1687. <http://www.ejge.com/2016/Ppr2016.0146mb.pdf>
- Latif, D.O., Rifa'i, A. & Suryolelono, K.B. 2017. Impact of vocanic ash and lime adding on expansive soil for subgrade layer. International Review of Civil Engineering vol 8 no 5 pp 255-260.
- Latif, D.O., Rifa'i, A. & Suparma, L.B. 2017. Influence of Volcanic ash and Lime on Resilien Modulus For Subgrade. Warmadewa University International Conference of Architectural and Civil Engineering pp 165-169.
- Seed, H., Chan, C. & Lee, C., 1962. *Resilience characteristics of subgrade soil and their relation to fatigue failure in Asphalt Pavements*. Michigan, International conference on the structural design of Asphalt Pavements, University of Michigan.