

**PERBANDINGAN MODULUS REAKSI *SUBGRADE*
BERDASARKAN UJI CBR TERHADAP HASIL UJI BEBAN PELAT
(STUDI KASUS: PERENCANAAN PERKERASAN KAKU)**

**Aulia Rahmawati, Yulvi Zaika, Eko Andi Suryo
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang
Jalan MT Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
Email: auul.rahma@gmail.com**

ABSTRAK

Tanah merupakan material dasar yang sangat penting dan merupakan tempat didirikannya berbagai konstruksi. Dalam perencanaan perkerasan jalan, perlu diketahui sebuah parameter kekuatan tanah yaitu modulus reaksi *subgrade* (k_s). Dengan melakukan uji beban pelat dapat diketahui secara langsung nilai modulus reaksi *subgrade* dari tanah yang ditinjau. Uji CBR (*California Bearing Ratio*) cukup banyak dilakukan di lapangan, dari pengujian ini bisa diperoleh nilai k_s . Namun, untuk mendapatkan nilai k_s perlu dilakukan pendekatan. Berdasarkan grafik hubungan CBR dan k_s , diperoleh nilai k_s pada satu titik saja. Namun nilai k_s berdasarkan grafik ini mendekati hasil uji beban pelat. Begitu pula dengan tebal perkerasan kakunya. Berdasarkan analisa Elsa, *et.al* dengan persamaan umum modulus reaksi *subgrade* yang memperhitungkan modulus elastisitas, diperoleh nilai k_s yang mendekati hasil uji beban pelat. Namun hasil analisa Elsa, *et.al* memiliki nilai yang lebih besar. Hasil analisa ini mendapatkan tebal perkerasan yang lebih rendah dibanding hasil uji beban pelat. Hal ini cukup menimbulkan faktor resiko yang cukup besar.

Kata-kata kunci: modulus reaksi *subgrade*, modulus elastisitas, uji beban pelat, CBR, perkerasan kaku.

PENDAHULUAN

Tanah merupakan material dasar yang sangat penting dan merupakan tempat didirikannya berbagai konstruksi. Subgrade merupakan lapisan tanah yang dominan menopang beban konstruksi baik itu bangunan, perkerasan jalan raya, landas pacu pesawat terbang, dan lain-lain.

Dalam perencanaan perkerasan jalan, perlu diketahui sebuah parameter kekuatan tanah yaitu modulus reaksi subgrade (k_s). Dengan melakukan uji beban pelat dapat diketahui secara langsung nilai modulus reaksi subgrade dari tanah yang ditinjau. Untuk keperluan perencanaan perkerasan jalan, pengujian ini dapat dilakukan agar diperoleh nilai modulus reaksi subgrade (k_s).

Uji CBR cukup banyak dilakukan di lapangan, dari pengujian ini bisa diperoleh nilai k_s . Namun, untuk mendapatkan nilai k_s perlu dilakukan

pendekatan secara analitis terlebih dahulu. Mengingat lebih umum digunakannya uji CBR dibanding uji beban pelat yang dapat secara langsung mendapat nilai k_s , dilakukan analisa perbandingan dari keduanya. Akan dilakukan penelitian untuk mendapatkan nilai k_s yang selanjutnya akan digunakan untuk merencanakan tebal perkerasan kaku jalan raya. Nilai k_s dan desain perkerasan kaku dari kedua pengujian ini akan dibandingkan.

TINJAUAN PUSTAKA

Uji beban pelat

Pada pengujian ini digunakan pelat berbentuk lingkaran. Beban yang diberikan berupa beban yang cukup besar dan dapat dikontrol (digerakkan). Beban ini disalurkan pada pelat dan terhubung pada *hydraulic jack*. Defleksi yang terjadi pada tanah juga dapat diukur dalam percobaan

ini, yaitu dengan meletakkan *dial gauges* pada beberapa titik di atas pelat dengan posisi 1/3 dari bagian terluar pelat. Untuk menambah kekakuan digunakan beberapa pelat. Umumnya digunakan pelat baja dengan diameter 30, 24, 18, dan 12 inci. Pelat diposisikan sesuai ukurannya, dengan pelat diameter terbesar di posisi yang paling bawah, sedangkan beban akan dikenakan pada pelat dengan diameter terkecil. (Yoder, E. J., et al. 1975)

Uji California Bearing Ratio (CBR)

Harga CBR dihitung pada harga penetrasi 0.1 dan 0.2 inci, dengan cara membagi beban pada penetrasi ini masing-masing dengan beban sebesar 3000 dan 4500 *pound*. Beban ini adalah beban standard yang diperoleh dari percobaan terhadap batu pecahan (standard material) yang dianggap mempunyai CBR 100%. Jadi harga CBR adalah perbandingan antara kekuatan tanah yang bersangkutan dengan kekuatan bahan agregat yang dianggap standard. (Wesley, L. D., 1997)

Modulus Elastisitas Tanah

Dalam menentukan nilai modulus elastisitas terdapat persamaan yang menyatakan hubungan antara CBR dan modulus elastisitas, seperti tercantum pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Hubungan modulus elastisitas dan CBR tanah

Referensi	Hubungan
Heukelom dan Klomp (1998)	$E \sim 10 \text{ CBR (Psi)}$
	(nilai sebenarnya 10.35 CBR)
Croney dan Croney (1991)	$E = 6.6 \text{ CBR (MPa)}$
NAASRA (1950)	$E = 16.2 \text{ CBR}^{0.7} \text{ (MPa)}$
	$E = 22.4 \text{ CBR}^{0.5} \text{ (MPa)}$
Powell, Potter, Mayhew and Nunn (1984)	$E = 17.6 \text{ CBR}^{0.64} \text{ (MPa)}$
Angell (1988)	$E = 19 \text{ CBR}^{0.68} \text{ (MPa)}$

(Look, Burt G. 2007)

Dan terdapat satu persamaan modulus elastisitas tanah yang memperhitungkan nilai CBR dan dengan nilai *poisson's ratio* tertentu. P. E. Elsa, *et.al.* menyatakan sebuah korelasi antara nilai CBR tanah dengan modulus elastisitas, yaitu sebagai berikut:

... (1)

$$E = 840.53 (kPa), \nu = 0.3$$

(P., Elsa E, 2012)

Modulus Reaksi Subgrade

Modulus reaksi subgrade adalah hubungan konseptual antara tekanan tanah dengan defleksi (Bowles, 1996).

Berdasarkan uji beban pelat, nilai modulus reaksi *subgrade* dapat diketahui melalui persamaan berikut:

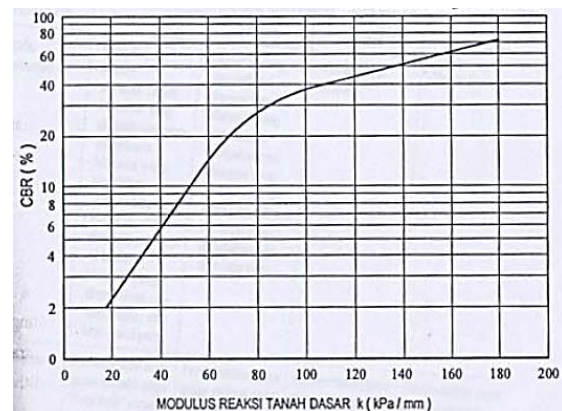
$$k_s = \frac{p}{\Delta} \quad \dots (2)$$

Dimana:

p= tekanan yang diterima pelat (kN/m²)

Δ= defleksi yang terjadi pada pelat (m)

Berdasarkan uji CBR, nilai k_s dapat diperoleh secara grafis dan analitis. Secara grafis, dapat diperoleh melalui grafik berikut ini:



(NAASRA, 1987)

Gambar 1. Grafik hubungan k_s dan CBR

Modulus reaksi *subgrade* (k_s) dapat juga dinyatakan dalam persamaan yang diperoleh dari teori elastisitas tanah, yaitu sebagai berikut:

$$k_s = 1.13 \frac{E}{(1 - \nu^2)} \frac{1}{\sqrt{A}} \quad \dots (3)$$

Dimana:

k_s = modulus reaksi *subgrade* (kN/m³)

ν = *poisson's* rasio

A = luas penampang pendorong pada uji CBR (m²)

E = modulus elastisitas tanah (kPa)

Perencanaan Perkerasan Kaku

Menurut AASHTO 1993, terdapat beberapa parameter yang digunakan untuk perencanaan perkerasan kaku yang terdiri dari:

- Batasan waktu
- Lalu lintas
- Index kemampuan layan yang direncanakan
- kemampuan layan awal (P_o)
- Reliabilitas (R)
- Modulus reaksi *subgrade* (k_s)
- Modulus elastisitas beton (E_c)
- Modulus runtuh beton
- Koefisien drainase (C_d)
- Koefisien transfer beban (J)

METODE PENELITIAN

Penelitian pendahuluan

Penelitian pendahuluan yang dimaksud ada beberapa macam, yaitu sebagai berikut:

- a. *Grain Size Analysis/Sieve Analysis* (ASTM: C-136-46)
- b. *Specific Gravity (GS)* (ASTM: D-1298)
- c. *Atterberg Limits* (ASTM: D-1348)

Selain itu juga terdapat beberapa pengujian tambahan yaitu sebagai berikut:

- a. Uji triaksial untuk mendapatkan *poisson's ratio* tanah

- b. Uji *density* untuk mendapatkan berat isi kering tanah yang terdapat di lapangan
- c. Uji pemadatan standar yang dilakukan untuk mendapat kadar air optimum (OMC) selanjutnya digunakan untuk pengujian CBR.

Pengujian

Uji beban pelat dilakukan di *PT. Greenfields* Indonesia, Wagir, Kabupaten Malang pada tiga titik pengujian yang tersebar di lokasi. Untuk pengujian laboratorium, digunakan tanah yang berasal dari lokasi pengujian beban pelat. Uji CBR yang digunakan adalah CBR laboratorium *soaked*.

Perencanaan tebal perkerasan kaku

Setelah dilakukan analisa hasil pengujian, dilakukan perencanaan tebal perkerasan jalan berdasarkan AASHTO (1993) dengan menggunakan data modulus reaksi *subgrade* yang didapat dari kedua pengujian yaitu CBR dan uji beban pelat.

PEMBAHASAN

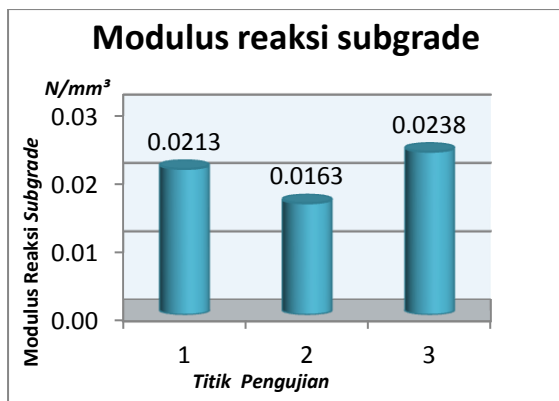
Setelah dilakukan beberapa uji pendahuluan, dapat diketahui jenis tanah yang diuji tergolong tanah "Pasir Berlanau".

Hasil uji beban pelat

Berdasarkan pengujian beban pelat yang dilakukan di lapangan, diperoleh nilai k_s (modulus reaksi *subgrade*) sebagai berikut:

Tabel 1. Modulus reaksi *subgrade* berdasarkan uji beban pelat

Titik	P (N)	k'_s (N/mm ³)
1	8000	0.0213
2	6000	0.0162
3	9000	0.0238



Gambar 2. Modulus reaksi *subgrade* berdasarkan uji beban pelat

Hasil uji CBR

Hasil pengujian CBR terdapat pada tabel 2 berikut ini:

Tabel 2. Hasil pengujian CBR

Titik Pengujian	Nilai CBR (%)
1	1.76
2	1.2
3	2.04

Modulus reaksi *subgrade* berdasarkan uji CBR dapat diketahui melalui beberapa pendekatan, yang pertama adalah dengan menggunakan grafik hubungan CBR dan k_s .

Hanya terdapat satu nilai k_s yang diperoleh berdasarkan grafik hubungan CBR dan k_s , karena dua nilai CBR yaitu di titik pengujian 1 dan 2 bernilai kurang dari 2%. Sementara pada grafik, nilai CBR minimum yang disyaratkan adalah 2%.

Berdasarkan grafik ini, diperoleh nilai k_s sebagai berikut:

Titik pengujian 1: - pci (CBR < 2%)

Titik pengujian 2: - pci (CBR < 2%)

Titik pengujian 3: 72.251 pci

Cara yang kedua untuk mendapatkan nilai modulus reaksi *subgrade* berdasarkan uji CBR adalah cara analitis, yang diketahui berdasarkan persamaan 3, dengan hasil sebagai berikut:

a) Titik pengujian 1

Tabel 3. Modulus reaksi *subgrade* titik pengujian 1

Referensi	k_s (pci)
Heukelom dan Klomp (1998)	1107.27
Croney dan Croney (1991)	730.80
NAASRA (1950)	1513.96
Powell, et.al (1984)	1589.94
Angell (1988)	1755.66
Elsa, Rao, Mannan (2012)	93.07

b) Titik Pengujian 2

Tabel 4. Modulus reaksi *subgrade* titik pengujian 2

Referensi	k_s (pci)
Heukelom dan Klomp (1998)	754.954
Croney dan Croney (1991)	498.270
NAASRA (1950)	1157.927
Powell, et.al (1984)	1244.308
Angell (1988)	1353.119
Elsa, Rao, Mannan (2012)	63.456

c) Titik Pengujian 3

Tabel 5. Modulus reaksi *subgrade* titik pengujian 3

Referensi	k_s (pci)
Heukelom dan Klomp (1998)	1283.422
Croney dan Croney (1991)	847.058
NAASRA (1950)	1678.786
Powell, et.al (1984)	1747.492
Angell (1988)	1941.071
Elsa, Rao, Mannan (2012)	107.875

Perbandingan modulus reaksi *subgrade*

Nilai modulus reaksi *subgrade* berdasarkan dua jenis pengujian yaitu uji beban pelat dan uji CBR yang didapat

sebelumnya dibandingkan untuk mengetahui sejauh mana nilai yang dihasilkan dari kedua jenis pengujian tersebut.

Tabel 6. Rekapitulasi modulus reaksi *subgrade*

Nilai Modulus Reaksi <i>Subgrade(pci)</i>			
Titik Pengujian	Titik 1	Titik 2	Titik 3
Uji Beban Pelat	76.96	58.79876	86.04493
Uji CBR			
Grafik CBR vs ks	-	-	72.251
Heukelom, Klomp	1107.27	754.95	1283.42
Croney dan Croney	730.80	498.27	847.06
NAASRA	1513.96	1157.93	1678.79
Powell et. al	1589.94	1244.31	1747.49
Angel	1755.66	1353.12	1941.07
Elsa et. al	93.07	63.46	107.88

Berdasarkan tabel diatas, dapat kita ketahui nilai modulus reaksi *subgrade* yang diperoleh dari uji beban pelat dan uji CBR laboratorium *soaked*. Untuk nilai k_s berdasarkan grafik hubungan CBR dengan k_s hanya diperoleh nilai k_s pada satu titik uji. Meskipun hanya diperoleh satu data, pengujian sampel 3 menunjukkan hasil yang baik, karena nilai k_s yang diperoleh dari pengujian ini mendekati nilai hasil uji beban pelat. Nilai k_s berdasarkan grafik ini adalah sebesar 72.251 pci sementara hasil uji beban pelat adalah 86.049 pci. Dari sini dapat dikatakan bahwa grafik ini dapat digunakan sebagai pendekatan untuk memperoleh nilai modulus reaksi *subgrade* berdasarkan hasil uji CBR laboratorium *soaked*.

Berbeda halnya dengan nilai modulus reaksi *subgrade* yang diperoleh melalui analisis. Seperti terlihat pada Tabel 6 bahwa nilai modulus reaksi *subgrade* yang diperoleh dari uji beban pelat dan uji CBR memiliki perbedaan yang sangat besar. Dengan kata lain, berdasarkan penelitian yang dilakukan, jenis analisa yang digunakan untuk mendapat nilai modulus reaksi *subgrade* berdasarkan uji

CBR laboratorium *soaked* belum bisa mewakili hasil uji beban pelat di lapangan.

Salah satu analisa, yaitu pendekatan oleh Elsa, *et.al* menunjukkan hasil modulus reaksi *subgrade* yang mendekati hasil uji beban pelat. Namun nilai yang didapat melalui pendekatan ini melebihi nilai modulus reaksi *subgrade* yang menjadi acuan. Angka yang dihasilkan pendekatan Elsa, *et.al* ini tergolong memenuhi untuk digunakan dalam mendapatkan parameter modulus reaksi *subgrade* karena mendekati hasil uji beban pelat. Namun, untuk *safety factor* perlu adanya nilai atau koefisien yang menyatakan angka ekuivalensi hasil pendekatan ini terhadap hasil uji beban pelat. Jika tidak terdapat koefisien/angka koreksi untuk analisis Elsa, *et.al*. maka hasil perencanaan akan memberikan faktor resiko yang lebih besar, hal ini lah yang harus diperhatikan.

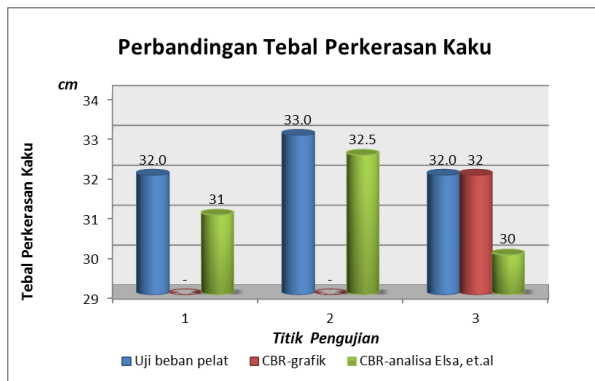
Perbandingan tebal perkerasan kaku

Berdasarkan perencanaan tebal perkerasan kaku menggunakan nomogram perkerasan kaku AASHTO 1993, diperoleh hasil akhir sebagai berikut:

Tabel 7. Rekapitulasi k_s dan tebal perkerasan kaku

	k_s (pci)			Tebal Perkerasan Kaku (cm)		
	1	2	3	1	2	3
Uji beban pelat	76.96	58.80	86.04	32.00	33.00	32.00
Grafik CBR-ks	-	-	72.25	-	-	32.00
CBR-analisa Elsa, <i>et.al</i>	93.07	63.46	107.88	31.00	32.50	30.50

Jika dinyatakan dalam diagram, tebal perkerasan kaku yang diperoleh berdasarkan hasil uji beban pelat dan CBR seperti terlihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 2. Perbandingan tebal perkerasan kaku

Pada titik pengujian 3, terlihat bahwa tebal perkerasan kaku yang didapat berdasarkan uji beban pelat dan hasil pendekatan uji CBR melalui grafik hubungan CBR dan k_s memiliki tebal perkerasan yang sama. Dapat dikatakan grafik hubungan CBR dan k_s dapat digunakan sebagai pendekatan untuk mendapatkan nilai k_s berdasarkan pengujian CBR karena hasil yang didapat mendekati hasil uji lapangan yang sebenarnya.

Hasil perencanaan tebal perkerasan kaku berdasarkan k_s uji CBR analisa *Elsa, et.al* memberikan tebal perkerasan yang lebih rendah dibanding uji beban pelat. Maka dari itu perlu digunakan faktor koreksi seperti angka ekuivalensi hasil analisa *Elsa, et.al* dengan hasil uji beban pelat. Ini dilakukan supaya pendekatan *Elsa, et.al* memenuhi ketentuan untuk mendapatkan angka modulus reaksi subgrade terutama dari sisi keamanan struktur.

PENUTUP

Kesimpulan

1. Nilai modulus reaksi *subgrade* hasil uji beban pelat berkisar antara 50-90 pci.
2. Nilai modulus reaksi *subgrade* hasil uji CBR diperoleh dari dua pendekatan yaitu berdasarkan grafik hubungan k_s dan CBR dan berdasarkan analisa *Elsa,*

et.al. Berdasarkan grafik hubungan k_s dan CBR dua titik pengujian tidak diperoleh nilai k_s karena nilai CBR kurang dari 2%, pada titik uji 3 diperoleh k_s sebesar 72.25 pci. Untuk nilai k_s berdasarkan analisa *Elsa, et.al.* berkisar antara 60-110 pci.

3. Tebal perkerasan kaku berdasarkan uji beban pelat masing-masing titik adalah 32, 33, dan 32 cm. Untuk uji CBR dapat diketahui tebal perkerasan kaku berdasarkan grafik hubungan CBR dan k_s hanya diketahui satu nilai, yaitu 32 cm. Sedangkan tebal perkerasan kaku berdasarkan analisa *Elsa, et.al.* adalah 31, 32, dan 30.5 cm.
4. Berdasarkan grafik hubungan CBR dan k_s , diperoleh nilai k_s pada satu titik saja. Namun nilai k_s berdasarkan grafik ini mendekati hasil uji beban pelat. Begitu pula dengan tebal perkerasan kakunya yang memiliki nilai yang sama dengan hasil uji beban pelat. Dengan begitu pendekatan ini dapat diterima. Berdasarkan analisa *Elsa, et.al,* diperoleh nilai k_s yang mendekati hasil uji beban pelat. Namun hasil analisa *Elsa, et.al* memiliki nilai yang lebih besar. Hasil analisa ini mendapatkan tebal perkerasan yang lebih rendah dibanding hasil uji beban pelat. Hal ini cukup menimbulkan faktor resiko yang cukup besar.

DAFTAR PUSTAKA

- American Association of State Highway and Transportation Officials. *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. 1993. Washington DC.
- Bowles, Joseph E. *Foundation Analysis and Design (fifth edition)*. 1996. New

York: McGraw-Hill International Editions.

Bowles, Joseph E. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. 1986. Jakarta : Erlangga.

Croney, D., Paul Croney. *The Design and Performance of Road Pavements (second edition)*. 1991. New York: McGraw-Hill International Editions.

Das, Braja M. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid I*. 1985. Surabaya: Erlangga.

Putri, Elsa Eka., et al. *Evaluastion of Modulus of Elasticity and Modulus Subgrade Reaction of Soils Using CBR Test*. 2012. Civil Engineering Research, 2(1): 34-40.

Department of The Environment Transport and Road Research Laboratory. *Soil Mechanics for Road Engineers*. 1952. London: Her Majesty's Stationery Office.

Hardiyatmo, Hary Christady. *Mekanika Tanah I*. 2006. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada Press.

Look, Burt G. *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*. 2007. London: CRC Press

Wesley, L. D. *Mekanika Tanah*. 1977. Jakarta: Badan Penerbit Pekerjaan Umum.

Yoder E. J., M. W. Witczak. *Principles of Pavement Design (second edition)*. 1975. United States of America: A wiley-Interscience Publication.