



METODA ALTERNATIF PENENTUAN MODULUS TANAH DASAR

Nyoman Suaryana

RINGKASAN

Untuk menentukan karakteristik tanah dasar diperlukan teknik pengujian tegangan-regangan dengan beban dinamis sesuai dengan beban lalu-lintas yang bersifat dinamis. Hasil yang diperoleh dinyatakan dalam modulus resilien (M_r). Parameter tersebut merupakan parameter utama dalam perencanaan tebal perkerasan secara analitis. Akan tetapi teknik pengujian tersebut memerlukan peralatan yang mahal, tidak mudah dipindah-pindahkan, dan relatif susah dioperasikan. Dengan meningkatkan ketelitian pengujian dan analisa menggunakan metoda finite element, hasil pengujian CBR dapat digunakan sebagai metode alternatif penentuan modulus resilien tanah dasar.

SUMMARY

To determine characteristic of subgrade, it is needed a kind of testing which use a dynamic load to represent the traffic load. The result is named resilient modulus (M_r), which becomes a major parameter in designing of pavement thickness using analytical method. But that technique needs an expensive equipment, difficult to mobilize and operate. By improving the precision of testing and analysis using finite element method, result of the CBR testing could be used as an alternative method to determine the resilient modulus of subgrade.

I. PENDAHULUAN

Sampai saat ini penentuan karakteristik tanah dasar sangat bergantung pada teknik pengujian statis dan empiris seperti California Bearing Ratio (CBR). Untuk mendekati kondisi lapangan diperlukan teknik pengujian dengan beban dinamis sesuai dengan beban lalu-lintas yang bersifat dinamis. Dari teknik pengujian tersebut dapat diperoleh karakteristik material lepas yang dinyatakan dalam parameter modulus resilien (M_r). Parameter tersebut merupakan parameter utama dalam perencanaan tebal perkerasan secara analitis. Dengan metoda analitis tersebut diharapkan memberikan hasil perencanaan tebal perkerasan yang lebih efisien dan efektif.

Ada beberapa cara untuk mendapatkan besaran modulus resilien, namun diperlukan peralatan yang mahal, tidak mudah dipindah-pindahkan dan pengoperasiannya relatif rumit. Dengan metoda finite element diharapkan proses pengujian CBR dapat dimodelkan dan dianalisa, sehingga dapat diketahui hubungan antara tegangan dengan regangan dan koreksi akibat tahanan samping (mold). Hubungan tegangan dengan regangan hasil analisa tersebut dapat mencerminkan karakteristik tanah dasar.

II. STUDI PUSTAKA

Jika material yang bersifat linear elastik dibebani, maka ratio antara tegangan vertikal (σ_z) dengan regangan vertikal (ϵ_z) akan konstan. Ratio tersebut

disebut Modulus Elastisitas atau Young Modulus (E). Sedangkan ratio antara regangan horisontal dengan regangan vertikal disebut Poisson's ratio (ν). Hal tersebut dikenal dengan hukum Hooke (Ullidtz, 1998). Modulus elastisitas yang didasarkan pada regangan balik akibat beban berulang disebut modulus resilien (M_r) (Yuang, 1993).

Modulus resilien (M_r) dapat dicari dengan menggunakan alat beban berulang triaxial, dan dihitung dengan rumus yang pertamakali diperkenalkan Seed et al. (1962), dengan asumsi material elastis dan isotropis, sebagai berikut :

$$M_r = \frac{\sigma_d}{\epsilon_{ar}}$$

Dimana :

- σ_d : Tegangan deviator ($\sigma_1 - \sigma_3$)
- σ_1 : Tegangan utama major (axial)
- σ_3 : Tegangan utama minor (radial)
- ϵ_{ar} : Regangan resilien

Ullidtz, 1998 menyatakan sifat tidak linear dari material lepas terdiri dari dua tipe, yaitu untuk granular material (lapis pondasi), modulus resilien akan bertambah sebagai fungsi dari bertambahnya nilai tegangan. Tipe yang kedua adalah untuk material yang bersifat kohesif (tanah dasar) dimana akan terjadi hal sebaliknya, yaitu nilai modulus resilien akan berkurang jika tegangan bertambah.

a. Granular material (lapis pondasi)

$$Mr = K_1 \sigma^{\circ K_2}$$

Dimana :

- σ° : Tegangan bulk ($\sigma_1 + 2 \sigma_3$)
- $K_{1,2}$: Parameter (K_2 positif)

b. Material kohesif (tanah dasar)

$$Mr = K_1 \sigma_d^{K_2}$$

Dimana :

- σ_d : Tegangan deviator ($\sigma_1 - \sigma_3$)
- $K_{1,2}$: Parameter (K_2 negatif)

III. METODOLOGI

Analisa data hasil pengujian CBR dengan metoda finite element dilakukan dengan cara :

- a. Dengan program Plaxis, dibuat model finite element pengujian CBR, kemudian dimasukkan nilai modulus resilien dan dicatat hubungan antara beban dan penurunan yang terjadi.
- b. Bandingkan hubungan antara beban dan penurunan dari hasil pengujian CBR dengan hasil item a).
- c. Nilai modulus tanah dasar adalah nilai modulus resilien dimana bentuk kurva sama.
- d. Modulus hasil evaluasi diatas dinamai E-plx.

Pada contoh tanah yang sama dilakukan pengujian modulus resilien (Mr) dengan alat beban berulang triaxial (UMATTA). Hasilnya dibandingkan.

Tabel 1.
SIFAT-SIFAT FISIK TANAH DASAR

Lokasi	PI	LL	Lolos # 200 (%)	B. Isi Maks. (t/m3)	K. Air Opt. (%)	Klasifikasi
	(%)	(%)				AASHTO
	(%)	(%)	(%)	(t/m3)	(%)	USC
Garut	21	44	46,2	1,43	26,8	A-7-6 (6) CL
Pasir Jati	42	79	94,8	1,31	37,2	A-7-5(49) MH
Ujung Berung	29	57	82,7	1,39	30,2	A-7-6(26) CH
Ranca Ekek	24	56	82,0	1,37	33,2	A-7-5(23) MH
Cianjur (1+015)	42	75	93,4	1,28	36,6	A-7-5(47) CH
Cianjur terminal	33	69	91,5	1,25	40,7	A-7-5(37) MH
Bagbagan	34	63	78,4	1,37	31,8	A-7-5(29) CH
Cikampek	46	77	96,6	1,3	37,2	A-7-5(53) CH
Subang	33	64	89,3	1,34	34,6	A-7-5(34) CH
Sultan Agung Cirebon	35	65	85,7	1,32	34,7	A-7-5(34) CH

Tanah dasar yang dipakai sebagai bahan studi mempunyai sifat-sifat fisik seperti Tabel 1. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa tanah yang dievaluasi adalah tanah dalam kelompok A-7-5 dan A-7-6, dengan nilai CBR memenuhi persyaratan sebagai tanah dasar, yaitu minimum 4 %.

IV. HASIL PENELITIAN

4.1. Modulus Resilien (Mr)

Dilihat dari R² hubungan Mr dengan tegangan deviator memberikan persamaan yang lebih baik dibandingkan hubungan Mr dengan tegangan bulk, sebagai contoh diperlihatkan pada Gambar 1, dan nilai modulus resilien akan berkurang jika tegangan bertambah. Prilaku tersebut sesuai dengan studi pustaka yang telah dibahas sebelumnya.

Tabel 2 memperlihatkan hasil pengujian Mr terhadap tegangan deviator. Hasil tersebut menunjukkan nilai Mr akan mengecil jika tegangan deviator membesar, dan untuk masing-masing lokasi makin tinggi berat isi kering maka kurva hubungan Mr dengan tegangan deviator akan makin keatas posisinya. Atau untuk tiap lokasi makin besar berat isi kering maka nilai Mr akan makin tinggi.

Tabel 2a.
HASIL PENGUJIAN MODULUS RESILIEN (Mr)
(CONTOH TANAH TERGANGGU)

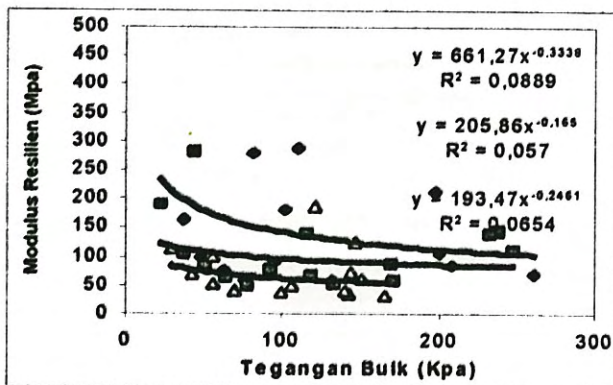
Lokasi	Berat Isi t/m3	Kadar Air %	Mr	Mr = A x (Teg. Dev) ^B		R ²
			69 kPa MPa	A	B	
Garut	1,43	26,8	41	63,21	-0,1050	0,808
	1,32	26,8	31	71,80	-0,1987	0,936
	1,18	26,8	19	117,24	-0,4357	0,716
Pasir Jati	1,34	37,2	64	12235,0	-1,2405	0,887
	1,32	37,2	58	1643,90	-0,7885	0,831
	1,22	37,2	35	1288,10	-0,8527	0,864
Ujung Berung	1,39	30,2	66	1081,70	-0,6588	0,663
	1,34	30,2	40	955,64	-0,7517	0,841
	1,28	30,2	43	147,17	-0,2893	0,649
Ranca Ekek	1,39	33,2	87	385,35	-0,3512	0,683
	1,35	33,2	68	400,32	-0,4202	0,636
	1,29	33,2	58	270,34	-0,3624	0,640
Cianjur (1 + 015)	1,29	36,6	72	470,41	-0,4442	0,635
	1,26	36,6	55	744,40	-0,6148	0,754
	1,24	36,6	48	332,49	-0,4577	0,480
Bagbagan	1,40	31,8	109	3458,90	-0,8168	0,606
	1,38	31,8	90	1815,30	-0,7102	0,533
	1,27	31,8	62	1152,30	-0,6887	0,501
Subang	1,36	34,6	59	247,98	-0,3379	0,795
	1,30	34,6	40	354,53	-0,5157	0,859
	1,21	34,6	27	312,40	-0,5818	0,895
Cikampek	1,35	37,2	89	162,63	-0,1421	0,574
	1,33	37,2	83	143,22	-0,1281	0,437
	1,26	37,2	62	121,71	-0,1590	0,790
Sultan Agung Cirebon	1,33	34,1	97	558,61	-0,4123	0,949
	1,31	34,1	83	234,05	-0,2452	0,843
	1,18	34,1	48	389,40	-0,4934	0,936

Tabel 2b.
HASIL PENGUJIAN MODULUS RESILIEN (Mr)
(CONTOH TANAH TIDAK TERGANGGU)

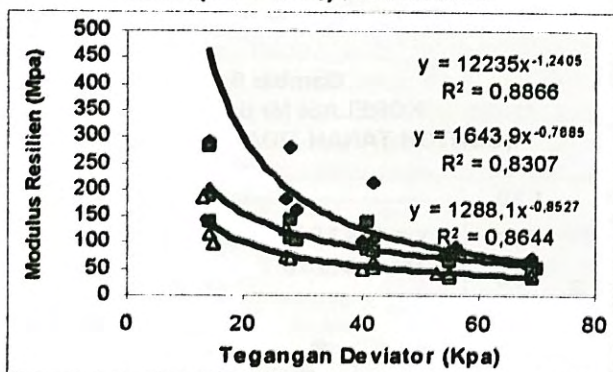
Lokasi	Berat Isi t/m ³	Kadar Air %	Mr 69 kPa MPa	Mr = A x (Teg. Dev) ^B		
				A	B	R ²
Ujung Berung	1,44	28,0	52	224,80	-0,3450	0,856
Ranca Ekek	1,38	32,9	33	348,79	-0,5563	0,821
Cianjur (1+015)	1,29	40,9	99	963,50	-0,5365	0,845
Cianjur Terminal	1,22	43,6	32	291,81	-0,5220	0,993
Subang	1,32	36,0	50	280,70	-0,4070	0,854
Cikampek	1,29	38,6	108	353,59	-0,2794	0,779
Cirebon	1,27	39,5	36	298,87	-0,4988	0,971

Hasil pada pengujian modulus resilien pada Tabel 2 menunjukkan bahwa hasil pengujian pada contoh tanah tidak terganggu memberikan hasil yang lebih baik jika dilihat dari nilai R².

Gambar 1a.
TIPIKAL HUBUNGAN Mr DENGAN TEGANGAN DEVIATOR ($\sigma_1 - \sigma_3$), PASIR JATI



Gambar 1b.
TIPIKAL HUBUNGAN Mr DENGAN TEGANGAN BULK ($\sigma_1 + 2\sigma_3$), PASIR JATI



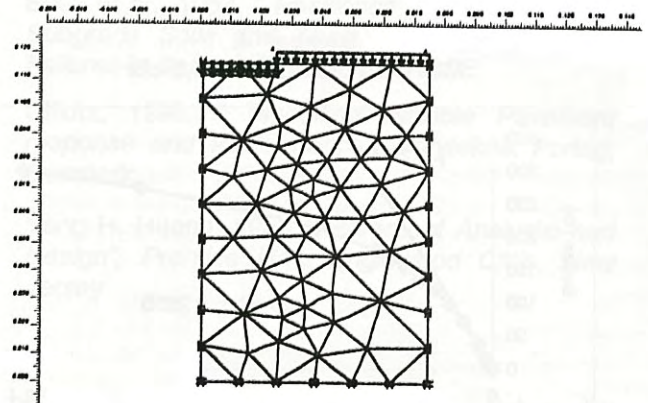
4.2. Hasil Evaluasi Finite Element, E-plx

Evaluasi pengujian CBR dengan finite element dilakukan memakai program Plaxis dengan metoda analisa linear-elastis. Benda uji dalam mold CBR disimulasikan dalam 2 dimensi, aximetris, dan dinding mold dimasukkan sebagai batasan yang kaku (pergeseran hanya ke arah vertikal).

Metoda Alternatif Penentuan Modulus Tanah Dasar Nyoman Suarnaya

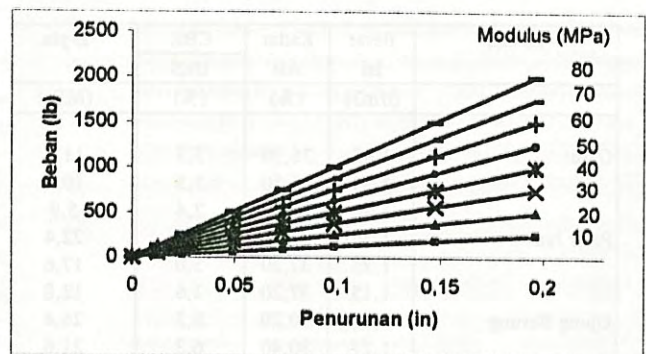
Elemen bahan dibagi dalam elemen segitiga. Beban yang dipakai terdiri dari dua jenis, yaitu beban tetap, dan beban berubah seperti pada pengujian CBR.

Gambar 2.
MODEL FINITE ELEMENT PENGUJIAN CBR



Setelah proses pemodelan, maka tahap berikutnya adalah memasukkan nilai modulus tanah dasar dan kemudian diamati hubungan beban dan penurunan yang terjadi, dan seterusnya sehingga diperoleh hubungan beban dengan penurunan untuk masing-masing nilai modulus elastisitas.

Gambar 3.
HUBUNGAN BEBAN vs PENURUNAN UNTUK TIAP NILAI Mr



Hubungan yang diperoleh dari metoda tersebut dapat disederhanakan sebagai berikut :

$$E-plx = 0,008 E-cbr$$

Dimana :

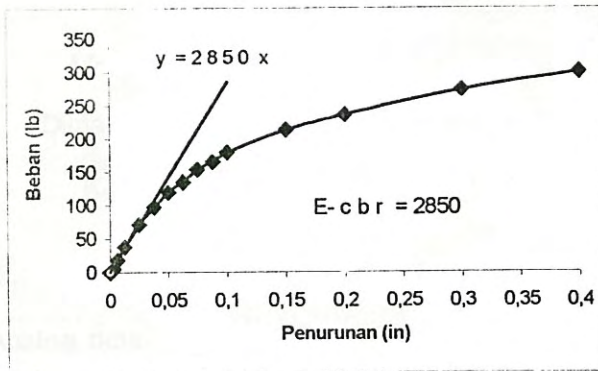
E-plx : Modulus elastisitas dalam MPa,

E-cbr : Tangen pengujian CBR, yaitu hasil bagi beban (lb) dengan penurunan (in).

Nilai E-cbr tersebut diperoleh dengan cara menarik garis lurus (tangen) pada bagian lurus dari kurva hubungan beban dengan penurunan pada pengujian CBR tanpa rendaman. Pada bagian lurus tersebut diasumsikan bahwa material lepas masih berperilaku linear. Metoda menentukan nilai E-cbr diperlihatkan pada Gambar 4 di bawah ini.

Untuk memudahkan menarik garis lurus diadakan modifikasi form pengujian CBR tanpa rendaman tanah dasar. Penurunan yang dicatat ditambahkan menjadi (0,003125 in), (0,00625 in), (0,0125 in), (0,025 in), (0,0375 in), (0,050 in), (0,0625), (0,075), (0,0875), (0,1) dan seterusnya sesuai AASHTO T193-81 (1990).

Gambar 4.
METODA PENENTUAN E-cbr



Hasil evaluasi dipresentasikan dalam Tabel 3 untuk masing-masing nilai berat isi kering. Untuk contoh tanah yang sama, makin tinggi berat isi kering maka nilai E-plx semakin tinggi. Pada umumnya nilai E-plx yang diperoleh lebih rendah dari nilai Mr.

Tabel 3a.
HASIL EVALUASI FINITE ELEMENT
(CONTOH TANAH TERGANGGU)

Lokasi	Berat Isi (t/m ³)	Kadar Air (%)	CBR	E-plx (MPa)
			UnS (%)	
Garut	1,43	26,30	5,3	11,4
	1,34	26,50	3,5	10,1
Pasir Jati	1,18	26,50	2,4	5,9
	1,30	37,10	6,7	22,4
Ujung Berung	1,23	37,20	5,0	17,6
	1,15	37,20	2,6	12,8
Ranca Ekek	1,39	30,20	8,2	26,4
	1,27	30,40	6,3	21,6
Cianjur (1+015)	1,08	30,20	2,0	6,7
	1,37	33,10	10,8	38,4
Bagbagan	1,28	33,20	5,8	25,6
	1,09	33,10	2,5	12,8
Cikampek	1,27	36,20	7,1	26,4
	1,18	36,20	4,3	16,0
Subang	1,06	36,20	1,3	3,6
	1,37	31,50	11,0	38,4
Sultan Agung	1,28	31,50	6,3	23,2
	1,12	31,50	4,2	12,8
Cirebon	1,30	37,20	8,0	30,4
	1,20	37,20	4,5	16,0
Cirebon	1,12	37,20	1,7	4,3
	1,34	34,70	6,0	22,8
Cirebon	1,27	34,70	3,8	11,2
	1,09	34,70	2,4	6,4
Cirebon	1,32	34,10	10,3	34,6
	1,21	34,10	4,8	15,8
Cirebon	1,09	34,10	1,9	5,9

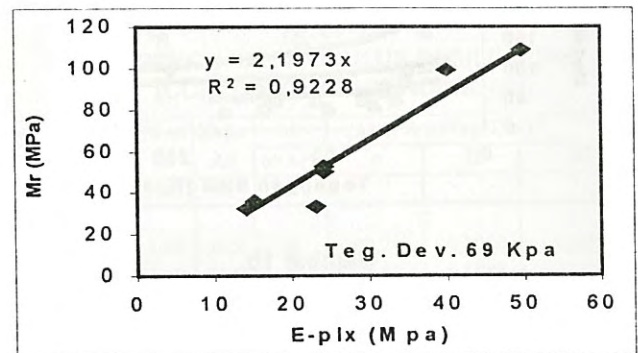
Tabel 3b.
HASIL EVALUASI FINITE ELEMENT
(CONTOH TANAH TIDAK TERGANGGU)

Lokasi	Berat Isi (t/m ³)	Kadar Air (%)	CBR	E-plx (MPa)
			UnS (%)	
Ujung berung	1,44	28	7,6	24,0
Ranca ekek	1,38	32,9	7,1	23,2
Cianyur (1+015)	1,29	40,9	8,7	40,0
Cianyur terminal	1,22	43,6	3,8	14,0
Subang	1,32	36,0	8,5	24,0
Cikampek	1,29	38,6	8,8	49,6
Cirebon	1,27	39,5	4,0	15,0

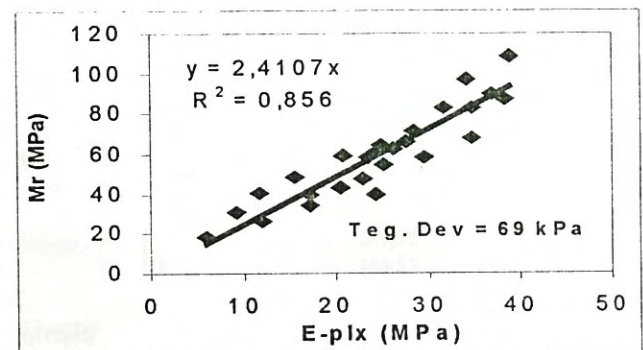
4.3. Hubungan Mr dengan E-plx

Gambar 5 dan 6 memperlihatkan korelasi antara Mr dengan E-plx. Nilai E-plx tersebut merupakan hasil evaluasi finite element terhadap pengujian CBR, pada kondisi berat isi dan kadar air yang sama dengan pengujian Mr. Pada contoh tanah terganggu, karena terdapat perbedaan berat isi (Tabel 2a dengan 3a), maka terlebih dahulu diadakan penyesuaian dengan cara interpolasi.

Gambar 5.
KORELASI Mr dan E-plx
(CONTOH TANAH TERGANGGU)



Gambar 6.
KORELASI Mr dan E-plx
(CONTOH TANAH TIDAK TERGANGGU)



Dari nilai R² yang diperoleh dapat dikatakan bahwa korelasi baik, terutama pada contoh tanah tidak terganggu. Hasil pada contoh tidak terganggu

menunjukkan hasil yang sangat baik yaitu dengan nilai R^2 diatas 90 %, dan kedua korelasi menghasilkan faktor yang hampir sama, 2,2 E-plx dan $M_r = 2,4$ E-plx.

Dari pembahasan sebelumnya telah diketahui bahwa hubungan antara E-plx dengan E-cbr sangat baik, sehingga untuk memudahkan dan menghilangkan kerancuan, persamaan tersebut diatas dapat dirubah dan dibulatkan menjadi :

$$M_r \text{ (MPa)} = 2,2 \times (0,008 \text{ E-cbr});$$

atau

$$M_r \text{ (MPa)} = 0,018 \times \text{E-cbr}.$$

V. KESIMPULAN

1. Hasil pengujian modulus resilien, dan korelasi antara M_r dengan modulus hasil evaluasi finite element (E-plx) pada contoh tanah tidak terganggu memberikan hasil yang lebih baik, dibandingkan dengan pada contoh tanah terganggu (contoh uji dibuat di laboratorium).
2. Metoda alternatif penentuan modulus resilien tanah dasar yang diperoleh dari hasil analisa finite element terhadap pengujian CBR adalah sebagai berikut :

$$M_r \text{ (MPa)} = 0,018 \times \text{E-cbr}$$

Dimana : E-cbr = Tangen dari pengujian CBR tanpa rendaman, beban (lb)/penurunan (in).

DAFTAR PUSTAKA

1. Suaryana N., 2000, " *Penelitian Agregat (Lapis Pondasi Atas, Bawah dan Tanah Dasar*", Puslitbang Jalan, Bandung.
2. Seed et al., 1963, " *Resilience Characteristics of Subgrade Soils and Their Relation to Fatigue Failures in Asphalt Pavements*, ASCE.
3. Ullidtz, 1998, " *Modelling Flexible Pavement response and Performance*". Polyteknik Forlag, Denmark.
4. Yang H. Huang, 1993 " *Pavement Analysis and Design*", Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey

Penulis :

Ir. Nyoman Suaryana, MSc., Staf Balai Bahan dan Pengerasan Jalan, Puslitbang Teknologi Prasarana Jalan.