HUBUNGAN ANTARA MODULUS RESILIEN DENGAN CBR DAN SIFAT FISIK LAINNYA UNTUK LAPIS PONDASI AGREGAT

Nyoman Suaryana

RINGKASAN

Karakteristik lapis pondasi agregat umumnya dinyatakan dalam suatu parameter antara lain adalah CBR dan Mr (modulus resilien). CBR dihitung berdasarkan beban statis, dan Mr dihitung berdasarkan beban dinamis, yaitu beban berulang seperti beban lalu-lintas. Mengingat pengujian yang umum dilakukan adalah CBR (emperikal) sedangkan pengujian yang mendekati kondisi lapangan adalah Mr (mekanistik), maka diperlukan pengetahuan mengenai hubungan CBR dengan Mr. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hubungan CBR dengan Mr tergantung pada beban atau tegangan yang akan dipikul. Pada makalah ini disampaikan juga hasil penelitian berupa rumus persamaan untuk menghitung nilai Mr berdasarkan sifat-sifat fisik lainnya.

SUMMARY

The characteristics of basecourse, may be expressed in parameters such as CBR and Mr (resilient modulus). CBR is determined based on static load, and Mr is based on dynamic load, being similar as the traffic load. CBR is normally used but Mr seems to be more reliable, therefore a correlations between two parameters is needed. Results of the research on base materials indicated that the relationship between CBR and Mr depend on the magnitude of load or stresses on the base courses. This paper includes a result of the research in the form of an equation to calculate Mr based on the properties of base course.

I. PENDAHULUAN

Karakteristik lapis pondasi dapat dinyatakan dalam suatu parameter yang merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan, seperti Modulus resilien(Mr) atau besaran emperikal seperti California Bearing Ratio (CBR). Nilai CBR diperoleh berdasar kan pada teknik pengujian statis dan empiris, sedangkan Mr berdasarkan pada teknik pengujian dengan beban dinamis sesuai dengan beban lalu-lintas yang berulang. Untuk mendapatkan besaran Mr, diperlukan peralatan yang mahal, tidak mudah dipindah-pindahkan dan pengoperasiannya relatif rumit. Sementara itu besaran Mr merupakan parameter utama dalam perencanaan tebal perkeras an secara analitis.

Untuk itu diperlukan metoda penentuan Mr dengan cara yang lebih sederhana, yaitu, pertama berdasarkan hubungan antara CBR dengan Mr, dan kedua dengan pembuatan rumus untuk menghitung Mr berdasarkan sifat-sifat fisik lapis pondasi agregat.

II. STUDI PUSTAKA

2.1. CBR

Nilai CBR diperoleh dari pengujian California Bearing Ratio (CBR), yaitu merupakan ratio dari unit tegangan yang dibutuhkan agar terjadi penurunan sesuai standar, atau nilai CBR merupakan prosentase dari unit tegangan standar. Selama pengujian terdapat hubungan antara tegangan dengan regangan dimana besarnya tegangan samping (σ_3) tidak diketahui.

2.2. Modulus resilien (Mr)

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). Modulus elastisitas yang didasarkan pada regangan balik akibat beban berulang disebut modulus resilien (Mr) **(Yuang, 1993).** Modulus resilien (Mr) dapat dicari dengan rumus :

$$Mr = \frac{\sigma_d}{\varepsilon_{ar}}$$

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

2.3. Hubungan Mr dengan CBR

Korelasi antara modulus elastisitas, E, dengan CBR untuk tanah dasar telah diperkenalkan oleh Heukelom dan Foster, yaitu E(MPa) = 10 CBR, yang didasarkan pada pengujian modulus tanah dasar di lapangan **(Yoder, 1975)**. Pada penelitian di Puslitbang Jalan diperoleh persamaan Mr = 8,6 CBR untuk tanah dasar, dimana Mr diuji dengan beban berulang triaxial dan CBR dalam kondisi tanpa rendaman **(Suaryana, 1999)**. Pada makalah ini

akan disampaikan hubungan Mr dengan CBR untuk lapis pondasi agregat.

III. METODOLOGI

Analisa data dilakukan dengan cara membandingkan hasil pengujian Mr dan CBR dengan kondisi yang sama. Pengujian modulus resilien, Mr, dilakukan dengan alat triaxial dengan beban berulang (UMATTA), dengan metoda pengujian berdasarkan prosedur AASHTO T294-92, 1992. Hubungan Mr dengan CBR dibuat dalam beberapa variasi tegangan. Sedangkan untuk pembuatan rumus berdasarkan sifat-sifat fisik lapis pondasi, dilakukan urutan pengerjaan sebagai berikut :

a. Pengujian sifat-sifat fisik lapis pondasi, dan pengujian Mr
b. Pembuatan beberapa alternatif persamaan.
c. Dengan analisa statistika dicari hubungan variabel pada persamaan yang diuji dengan sifat-sifat fisik lapis pondasi.
d. Persamaan yang dipilih adalah persamaan yang relatif sederhana tetapi cukup teliti.

Lapis pondasi agregat yang digunakan mempunyai sifat-sifat fisik seperti Tabel 1, dengan nilai CBR rendaman dari 50 – 94 %.

Tabel 1.
SIFAT-SIFAT FISIK LAPIS PONDASI

Lokasi	PI	LL	Lolos # 40	Lolos #200	Pro. Pecah	B Isi Maks	K air Opt.	CBR Soak
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(t/m3)	(%)	(%)
Ujung Berung	5	12	17,8	10,2	100	2,06	8,20	80
Ranca Ekek	8	28	17,8	10,5	100	1,97	9,80	77
Cianjur Terminal	NP	-	15,1	6,3	100	2,07	6,40	90
Cianjur (1+015)	12	30	16,1	9,3	50	2,12	8,20	69
Sukabumi	13	30	20,8	12,1	50	2,12	8,20	70
Bagbagan	14	34	16,7	7,9	50	2,01	9,80	51
Cikampek	5	23	14,3	6,8	60	2,20	6,30	94
Subang	10	27	14,1	6,9	60	2,13	7,50	54
Cirebon	7	24	23,3	12,4	80	2,08	6,65	77

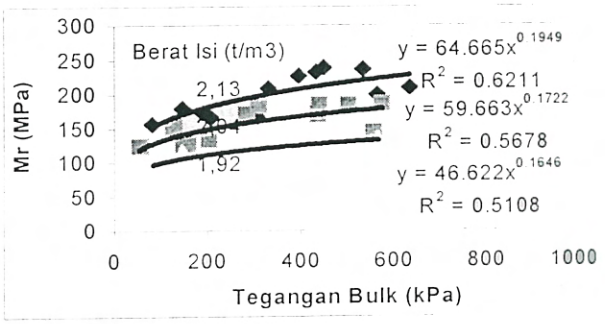
IV. HASIL PENELITIAN

4.1. Modulus Resilien (Mr)

Hasil pengujian modulus resilien (Mr) untuk lapis pondasi diperlihatkan pada Tabel 2. Makin besar tegangan yang diberikan, maka nilai Mr akan membesar sampai contoh agregat tersebut runtuh. Nilai Mr akan semakin besar apabila berat isi makin besar untuk contoh uji yang sama. Kecenderungan tersebut diperlihatkan pada Gambar 1.

Nilai R^2 yang diperoleh pada pengujian ini tidak sebaik hasil pengujian pada tanah dasar, dan nilai rata-rata R^2 yang diperoleh dari hubungan Mr dengan tegangan bulk dan hubungan Mr dengan tegangan deviator hampir sama. Pada beberapa hasil terlihat nilai R^2 sangat kecil (dibawah 0,1) karena kekurangtelitian pengujian atau pada kondisi tersebut terjadi peralihan antara prilaku tanah dasar dengan lapis pondasi agregat. **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 bulk. Tipe yang kedua adalah untuk material yang bersifat kohesif (tanah dasar) yang dimana nilai modulus resiliennya akan berkurang jika tegangan deviatorik bertambah.

Gambar 1.
TIPIKAL HASIL PENGUJIAN Mr



4.2. Hubungan Mr dengan CBR

Seperti telah disampaikan sebelumnya, besarnya tegangan bulk mempengaruhi nilai Mr, sehingga dalam pembuatan korelasi dibuat dalam beberapa variasi tegangan bulk.

Pada Gambar 2. dicantumkan hasil hubungan Mr dengan CBR tanpa rendaman. Sehingga untuk lapis pondasi agregat, alternatif sederhana penentuan nilai Mr adalah sebagai berikut :

Mr (MPa) = k x CBR(%) + 30

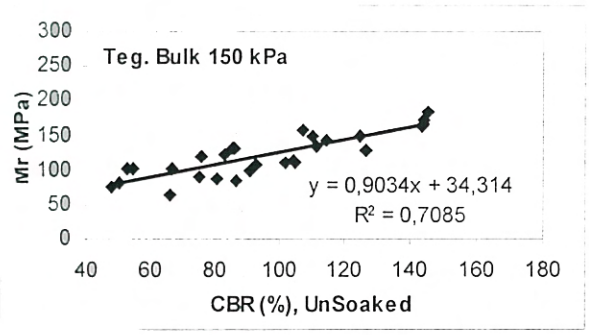
Dimana:

k = 0,9 untuk tegangan bulk 150 kPa
k = 1,1 untuk tegangn bulk 250 kPa
k = 1,2 untuk tegangan bulk 350 kPa
k = 1,3 untuk tegangan bulk 450 kPa

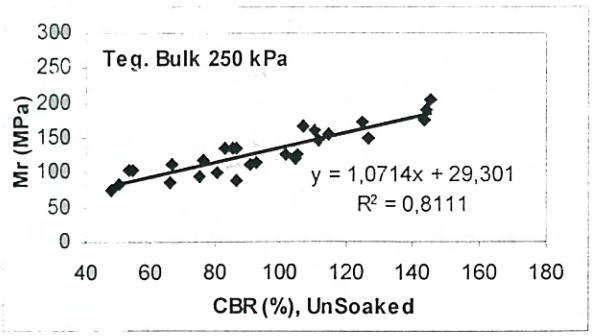
TABEL 2.
DATA MR LAPIS PONDASI

Lokasi	Berat Isi	CBR Soak	Mr pd Teg. Bulk(kPa)				Mr= Ax(Teg. Bulk) ^B			Mr= Ax(Teg. Dev) ^B		
			150	250	350	450	A	B	R^2	A	B	R^2
	(t/m3)	(%)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)						
Ujung Berung	2.12	94.0	149	173	190	205	34.55	0.2914	0.433	19.92	0.4596	0.644
	2.01	77.0	112	126	136	144	34.79	0.2329	0.458	26.27	0.3304	0.794
	1.91	61.0	86	101	112	121	18.59	0.3064	0.875	27.78	0.2855	0.818
Ranca Ekek	2.04	93.0	159	167	172	176	98.34	0.0955	0.229	107.55	0.0998	0.425
	1.94	69.0	130	136	140	143	85.98	0.0827	0.262	54.65	0.1911	0.715
	1.80	36.0	101	104	107	108	73.99	0.0622	0.444	78.22	0.0612	0.417
Cianjur	2.13	106.0	172	190	203	213	64.67	0.1949	0.621	74.00	0.2083	0.652
Terminal	2.01	78.0	141	154	164	171	59.66	0.1722	0.568	55.86	0.2235	0.702
	1.92	58.0	106	116	122	127	46.62	0.1646	0.511	78.86	0.0847	0.159
Cianjur -	2.18	82.0	134	148	157	164	53.35	0.1843	0.458	73.23	0.1509	0.578
(Sta. 1+015)	2.08	65.0	98	113	125	134	24.25	0.2794	0.586	40.60	0.2249	0.630
	1.96	45.0	64	87	106	122	3.47	0.5832	0.426	8.01	0.5032	0.755
Sukabumi	2.19	91.0	129	149	164	176	31.76	0.2801	0.776	51.25	0.2265	0.819
	2.06	66.0	112	128	140	149	29.78	0.2640	0.814	46.23	0.2197	0.782
	1.95	44.0	84	90	95	98	39.94	0.1477	0.273	28.10	0.2412	0.718
Bagbagan	2.06	66.0	130	135	139	142	87.61	0.0789	0.385	70.36	0.1382	0.677
	1.98	53.0	120	119	118	118	129.73	-0.0156	0.020	123.05	-0.007	0.005
	1.80	25.0	102	103	103	103	94.73	0.0144	0.021	75.42	0.0729	0.265
Cikampek	2.26	110.0	184	206	221	233	63.35	0.2133	0.820	76.38	0.2016	0.542
	2.12	83.0	148	161	170	177	66.97	0.1588	0.538	59.04	0.2020	0.490
	1.98	56.0	91	96	100	103	51.53	0.1126	0.517	59.94	0.1030	0.197
Subang	2.19	59.0	123	134	142	148	53.32	0.1674	0.336	69.20	0.1362	0.111
	2.07	48.0	101	113	122	129	32.10	0.2281	0.759	24.95	0.3211	0.826
	1.93	35.0	77	75	73	72	101.80	-0.0558	0.042	107.28	-0.082	0.027
Cirebon	2.14	89.0	164	177	186	193	78.27	0.1475	0.585	60.88	0.2227	0.926
	2.01	69.0	115	122	128	132	60.79	0.1265	0.411	43.44	0.2193	0.954
	1.83	41.0	83	84	84	85	74.13	0.0217	0.022	92.86	-0.019	0.004

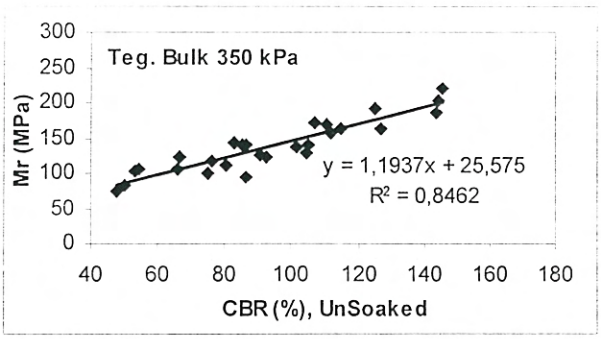
Gambar 2a.
HUBUNGAN Mr vs CBR, TEG. BULK 150 kPa



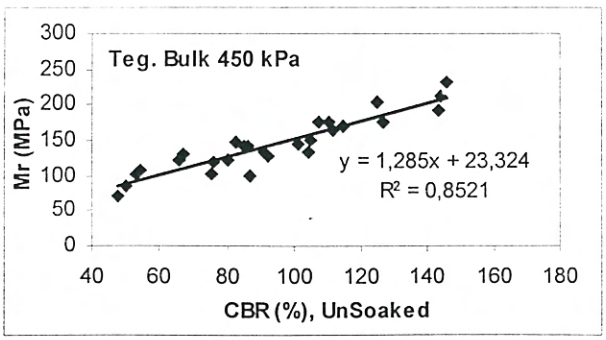
Gambar 2b.
HUBUNGAN Mr vs CBR, TEG. BULK 250 kPa



Gambar 2c.
HUBUNGAN Mr vs CBR, TEG. BULK 350 kPa

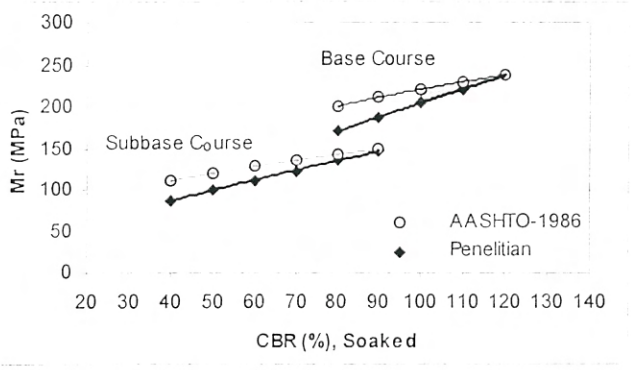


Gambar 2d.
HUBUNGAN Mr vs CBR, TEG. BULK 450 kPa



Dalam **AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1986** menunjukkan hubungan antara Modulus resilien dengan CBR untuk basecourse dan untuk subbase course. Akan tetapi tidak dijelaskan tegangan bulk yang dipakai untuk membuat korelasi tersebut. Pada gambar 3 dibuat perbandingan antara AASHTO 1986 dengan hasil penelitian, dimana untuk subbase digunakan tegangan bulk 150 kPa dan untuk base digunakan 450 kPa. Pemilihan tegangan bulk tersebut tentunya sangat tergantung pada tebal dan kekuatan lapis beraspal dan tanah dasar dibawahnya. Pada nilai CBR yang sama akan diperoleh nilai modulus resilien yang berbeda, tergantung dari tegangan bulk yang terjadi.

Gambar 3.
PERBANDINGAN AASHTO 1986 vs PENELITIAN



Gambar diatas menunjukkan bahwa hasil penelitian memberikan nilai modulus resilien yang lebih kecil, dan perbedaan tersebut akan mengecil jika CBR membesar. Kurva tersebut akan berubah jika tegangan bulk yang dipakai berubah, dan harus diperhatikan bahwa metoda pemberian tegangan sangat mempengaruhi hasil modulus yang diperoleh **(Dar-Hao Chen, 1992)**. Demikian juga metoda pembuatan contoh uji di laboratorium **(Ida Rumkita, 1998)**.

4.3. Rumus Penentuan Nilai Mr

Pada lapis pondasi agregat, modulus resilien (Mr) akan bertambah sebagai fungsi dari pada bertambahnya tegangan, dengan. Persamaan :

$$Mr = k_1 \theta^{k_2}$$

Dimana :

θ	:	Tegangan bulk ($\sigma_1 + 2\sigma_3$)
k_1, k_2	:	Parameter (k_2 positif)

Persamaan tersebut merupakan salah satu alternatif dan akan dicoba terlebih dahulu. Jika hasil yang diperoleh kurang baik maka dapat dicoba persamaan yang lain dengan memasukkan tegangan deviator sebagai salah satu faktor. Dengan MINITAB diperoleh hubungan k_1, k_2 dengan sifat-sifat fisik lapis pondasi sebagai berikut :

k_1 = -341 BI + 7,93 DP – 13,3 PI + 4,54 LL – 12,9 L200 + 9,83 L40-0,913 PC

S = 9,376

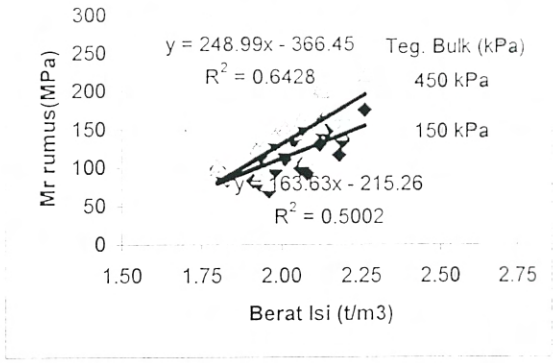
k_2 = -1,21 + 2,13 BI – 0,0389 DP + 0,0679 W + 0,0409 PI – 0,0163 LL + 0,00430 PC

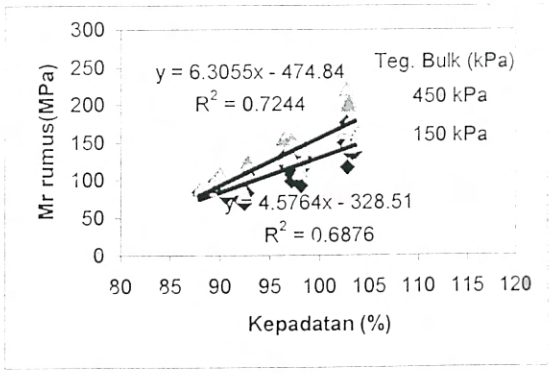
S = 0,04050 ; R-sq = 82,8 %

Dimana :

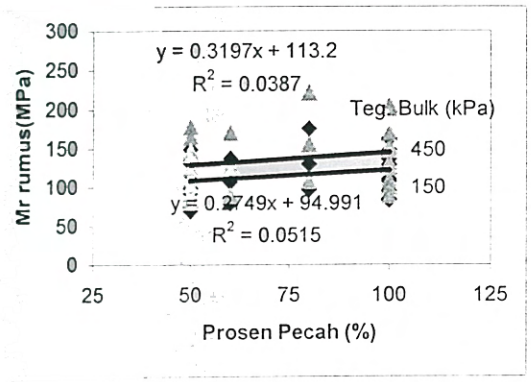
BI	:	Berat isi kering maksimum, t/m^3
DP	:	Derajat kepadatan, berat isi kering dibagi berat isi kering maksimum, %
W	:	Kadar air optimum, %
PI	:	Indeks Plastis, %
LL	:	Batas Plastis, %
L200	:	Prosentase butiran yang lolos saringan No. 200, %
L40	:	Prosentase butiran yang lolos saringan No. 40, %
PC	:	Prosentase butiran yang mempunyai minimal satu bidang pecah, %

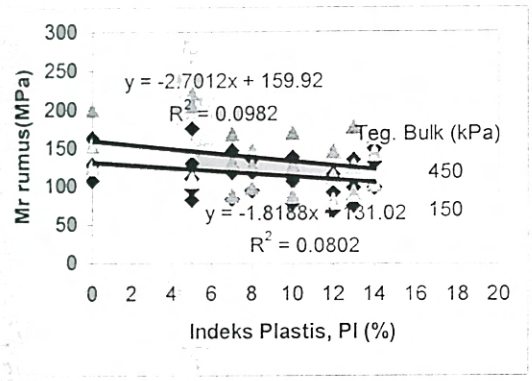
Gambar 4.a.
HUBUNGAN Mr DENGAN SIFAT-SIFAT FISIK HASIL PENGUJIAN

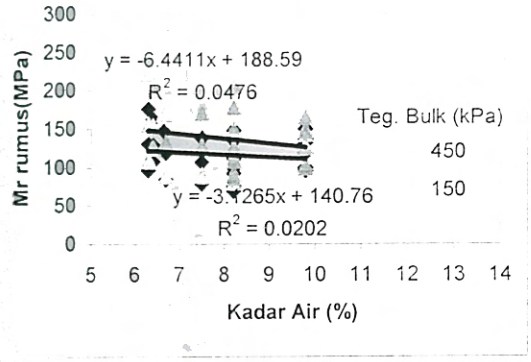


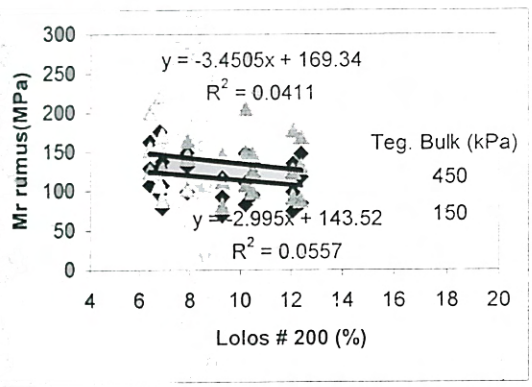


Gambar 4.b.
HUBUNGAN Mr DENGAN SIFAT-SIFAT FISIK HASIL PENGUJIAN









Dari gambar dapat disimpulkan bahwa, makin besar berat isi, kepadatan dan prosen pecah maka nilai Mr akan makin besar, dan makin besar kadar air, indeks plastis, dan lolos saringan No.200 maka nilai Mr akan makin kecil.

Pada persamaan terlihat kejanggalan dimana konstanta berat isi (BI) negatif, hal tersebut kemungkinan terjadi karena faktor berat isi dan kepadatan dalam percobaan ini berhubungan erat, dimana untuk contoh tanah yang sama dibuat variasi derajat kepadatan yang secara langsung berpengaruh pada nilai berat isi. Sehingga konstanta negatif pada berat isi (BI) diimbangi oleh konstanta positip (DP) pada derajat kepadatan, yang pada akhirnya menghasilkan nilai k_1 bertambah jika berat isi dan derajat kepadatan bertambah. Untuk menguji persamaan tersebut diperlukan data yang lebih banyak dan bervariasi.

V. KESIMPULAN

1. Metoda alternatif penentuan modulus resilien lapis pondasi agregat yang diperoleh dari hasil penelitian hubungan CBR dengan Mr adalah :

   Mr (Mpa) = k x CBR(%) + 30

   Dimana :

   k = 0,9 untuk tegangan bulk 150 kPa
   k = 1,1 untuk tegangn bulk 250 kPa
   k = 1,2 untuk tegangan bulk 350 kPa
   k = 1,3 untuk tegangan bulk 450 kPa

2. Metoda alternatif penentuan modulus resilien lapis pondasi agregat yang diperoleh dari hasil penelitian hubungan Mr dengan sifat-sifat fisik adalah :

$$Mr = k_1 \theta^{k_2}$$

   Dimana :

   θ : Tegangan bulk ($\sigma_1 + 2\,\sigma_3$)
   K_1 : -341 BI + 7,93 DP – 13,3 PI + 4,54 LL – 12,9 L200 + 9,83 L40-0,913 PC
   K_2 : -1,21 + 2,13 BI – 0,0389 DP + 0,0679 W + 0,0409 PI – 0,0163 LL + 0,00430 PC

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 Fatique Failures in Asphalt Pavements, ASCE.*
3. Ullidtz, 1998, " *Modelling Flexible Pavement response and Performance". Polyteknik Forlag, Denmark.*
4. Yang H. Huang, 1993 " *Pavement Analysisi and Design", Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey*

Penulis :
Ir. Nyoman Suaryana, MSc., Staf Balai Bahan dan Pekerasan Jalan, Puslitbang Teknologi Prasarana Jalan.