



Pengujian Kekuatan Struktur Perkerasan Berdasarkan Lendutan dengan *Benkelman Beam* dan *Falling Weight Deflectometer*

Oleh :
Furqon Affandi

RINGKASAN

Metoda evaluasi kekuatan struktur perkerasan jalan secara garis besar dapat dibedakan atas dua macam, yaitu yang bersifat merusak (*destructive*) dan tidak merusak (*non destructive*). Perkembangan alat dan metoda yang didasarkan pada sifat yang “*non destructive*”, telah berkembang dengan pesat misalnya alat *Falling Weight Deflectometer (FWD)*. namun demikian alat tersebut sangat mahal, sehingga untuk memilikinya diperlukan dana yang sangat besar, apalagi jika jumlah ruas jalan yang harus dilayani sangat panjang. Alat lain yang cukup sederhana dan telah lama dikenal di Indonesia ialah alat *Benkelman Beam (BB)* dimana alat ini murah serta praktis dalam penggunaannya, walaupun kemampuannya tidak sebaik alat *FWD*.

Pada tulisan ini disajikan hubungan antara hasil pengujian kekuatan struktur perkerasan jalan dengan menggunakan alat *FWD* dan *BB*, di beberapa ruas jalan di Jawa Tengah yang ditinjau dari lendutan yang terjadi serta “kemiringan cekung lendutan”. Dari hasil yang didapat, hubungan tersebut cukup bervariasi, sehingga perlu hati-hati dalam mengkorelasikan hubungan kekuatan struktur perkerasan berdasarkan *FWD* dan *BB*.

SUMMARY

The evaluation of pavement strength has been conducted and developed for long. There are two different types of evaluation namely *destructive* and *non destructive* methods. The tools for *non destructive* techniques have rapidly developed such as *Falling Weight Deflectometer (FWD)*, however, this equipment is very expensive so that big budget is required for it. Moreover, the number of road links served is long. Another simple equipment is *Benkelman Beam (BB)* which well known in Indonesia, cheap and more practical in use.

This paper presents the relationship between the test results of the strength of the structural number of existing pavement structures in Central Java using *FWD* and *BB* obtaining from surface deflections and tangent of deflection bowl. The study reveals that a variety of relationships occurred so that careful consideration is needed in correlating the relationships of the strength of pavement structures based on *FWD* and *BB*.

I. PENDAHULUAN

Penilaian struktur perkerasan jalan merupakan hal penting guna mengetahui kemampuan jalan dalam melayani lalu lintas yang melaluinya. Penilaian ini berguna untuk menentukan umur sisa dari pelayanan jalan tersebut dan juga untuk menentukan kebutuhan penambahan kekuatan perkerasan guna melayani beban lalu lintas dimasa datang.

Hal ini sudah disadari oleh para ahli jalan raya, sehingga telah dibuat beberapa cara dalam mengevaluasi kekuatan perkerasan jalan tersebut.

Pada dasarnya ada dua jenis cara evaluasi perkerasan jalan ini, yaitu: Pertama yang bersifat merusak (*destructive*) perkerasan jalan yang ada dan yang kedua yang bersifat tidak merusak (*non destructive*).

Evaluasi yang bersifat merusak dilakukan dengan membuat lubang pada perkerasan serta diikuti dengan pengujian sifat dan kekuatan masing masing lapisan perkerasan dari mulai tanah dasar sampai ke lapisan permukaan. Dengan diketahui tebal dan kondisi serta kekuatan masing-masing lapisan tersebut ditambah dengan beban lalu lintas yang melaluinya, maka dengan menggunakan

metoda analisa komponen bisa dievaluasi kekuatan struktur perkerasan tersebut. Cara ini mempunyai beberapa kerugian yaitu, jalan menjadi rusak karena dilubangi serta memerlukan waktu pengujian yang cukup lama.

Cara yang bersifat tidak merusak (*non destructive*) dilakukan dengan mengukur kekuatan perkerasan melalui pengukuran lendutan perkerasan akibat beban standar tertentu. Cara ini banyak sekali macamnya diantaranya *Benkelman Beam* (BB), *Deflectograph* dan *Falling Weight Deflectometer* (FWD). Perbedaan dari ketiga alat tersebut ialah cara pengujian yang disempurnakan, sehingga mendekati keadaan lendutan akibat beban kendaraan yang sebenarnya. FWD merupakan alat dengan pengembangan cara pengujian yang cukup baik, yang ditujukan untuk mendekati keadaan pembebanan perkerasan yang sebenarnya terjadi.

Keuntungan dari cara pengujian yang bersifat "*non destructive*" ini ialah sesuai istilahnya yaitu tidak menimbulkan kerusakan pada perkerasan, serta pengukuran bisa dilakukan lebih cepat dibandingkan pengujian yang bersifat *destructive*.

II. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pengujian *non destructive*

Tujuan utama dari pengukuran lendutan pada perkerasan jalan lama, ialah untuk mengetahui kekuatan struktur dari perkerasan tersebut. Pada pengukuran lendutan perkerasan ini, besarnya lendutan pada pusat beban belum akan menjamin hasil yang diinginkan. Faktor-faktor lain seperti jari-jari cekungan, bentuk cekungan keseluruhan dan komponen yang mempengaruhi lendutan akan mempengaruhi hasil evaluasi tersebut.

Alat pengukur yang cukup sederhana dari *non destructive* ini, ialah *Benkelman Beam* yang telah banyak dipergunakan di beberapa negara lain termasuk Indonesia.

Alat *Benkelman Beam* ini, dikembangkan oleh A.C Benkelman berkaitan dengan jalan percobaan WASHO. Prinsip dari pengukuran dengan alat *Benkelman Beam* ini ialah mengukur lendutan perkerasan jalan akibat tipe dan beban roda kendaraan tertentu. Besar beban sumbu yang dipergunakan biasanya sebesar 8,16 ton, dengan tipe roda ganda. *Benkelman* merancang pengukuran lendutan permukaan perkerasan ini dengan menggunakan batang yang cukup panjang, lendutan dicatat oleh *dial* yang ditempatkan disatu ujungnya lagi. *Benkelman Beam* ini dilengkapi dengan bagian ujung yang berupa "tumit batang" yang bisa diletakkan diantara dua roda pada sumbu belakang kendaraan pengukur. Pada umumnya pengukuran berupa pengukuran lendutan balik (*rebound deflection*) dari perkerasan setelah beban yang bekerja "dihilangkan" dengan cara menggerakkan kendaraan beban kedepan.

Penggunaan alat BB di Indonesia dipandang sangat cocok dilihat dari keadaan geografi, dimana terdiri dari beberapa pulau yang tersebar dan tidak begitu mudah untuk mencapai satu tempat ke tempat lainnya. Salah satu keuntungan lain dari BB ini ialah, alatnya yang praktis serta mudah didapat, dan waktu pengukuran yang relatif cepat.

Cara pengukuran dengan BB ini dimaksudkan untuk mendapatkan data lendutan akibat beban statis, yang dipergunakan untuk menilai sistim perkerasan, baik untuk tujuan penelitian, perencanaan teknik, pelaksanaan maupun pemeliharaan jalan. Ada beberapa cara pemeriksaan dengan BB yang dapat dipergunakan untuk pengukuran perkerasan jalan ini, dimana yang paling umum digunakan ialah cara lendutan balik (*rebound deflection*) statis perkerasan lentur, yang dipergunakan pada pengukuran lendutan balik dan pengukuran lendutan balik titik belok. Umumnya pemeriksaan perkerasan jalan dengan alat BB di Indonesia dilakukan dengan cara pengukuran lendutan balik dan sebagai perbandingan atau pelengkap pemeriksaan dapat dipergunakan cara pengukuran lendutan balik titik belok. Pada pemeriksaan perkerasan lentur, data yang diperoleh bermanfaat untuk (Manual BB, 1983) :

1. Penilaian struktur perkerasan
2. Membandingkan sifat-sifat struktural sistim perkerasan yang berlainan
3. Meramalkan perujudan (*performance*) perkerasan jalan
4. Perencanaan teknik perkerasan baru atau lapis tambah (*overlay*) diatas perkerasan lama.

Prinsip alat BB ini, telah dimodifikasi dengan cara mekanis sehingga bentuk lendutan akibat beban roda yang bergerak lambat pada satu titik pengukuran dapat dilihat dengan melakukan pembacaan secara kontinyu, misalnya alat *Deflectograph*.

Metoda pengujian *non destructive* ini berkembang dengan cepat dari satu tipe ke tipe lainnya, dimana pada perkembangan-perkembangan terakhir telah menggunakan komputerisasi. Pengujian lendutan perkerasan lainnya ialah dengan menggunakan alat *Falling Weight Deflectometer*. Prinsip kerja alat ini ialah dengan melakukan pembebanan impuls pada perkerasan yang memberikan efek seperti akibat beban roda kendaraan yang melalui perkerasan jalan. Besarnya lendutan dicatat oleh alat sensor yang dipasang dengan jarak tertentu yang sengaja dipasang untuk keperluan ini.

Salah satu hal yang perlu mendapat perhatian pada pengukuran lendutan perkerasan dengan alat lendutan ini ialah pengaruh temperatur. Hal ini menunjukkan bahwa susunan dan tebal konstruksi perkerasan sangat berpengaruh terhadap faktor penyesuaian temperatur, dimana bila temperatur perkerasan naik maka lendutan pun akan naik. Selanjutnya evaluasi lendutan pun harus

memperhitungkan lendutan kritis, yang juga dipengaruhi oleh temperatur.

2.2 Interpretasi data lendutan

Sebagaimana pada perencanaan, ketepatan dari perencanaan yang dipilih oleh engineer tergantung pada interpretasi data tersebut, yang termasuk didalamnya variabilitas dari satu titik ke titik pengukuran berikutnya. Hal penting lainnya ialah perlunya untuk menyiapkan sejumlah data untuk mendapatkan nilai pengujian yang baik. Jumlah pengujian yang diperlukan untuk evaluasi hendaknya minimum 10, yang dipilih dari masing masing seksi perencanaan yang mempunyai kemiripan didalamnya. Biasanya 20 pengujian per mil atau 10 pengujian per km sangat disarankan.

Sebagaimana disebutkan sebelumnya, pada pengukuran *Benkelman Beam* ini pengukuran didasarkan pada pengukuran lendutan balik yang pengukurannya lebih praktis dan cepat. Dalam pengukuran ini yang diukur adalah besarnya lendutan balik maksimum, tanpa memperhatikan bentuk cekung lendutan maupun "*radius of curvature*" yang terjadi. Pembacaan besarnya lendutan balik pada alat *Benkelman Beam* yang selama ini dilakukan ialah sewaktu beban telah meninggalkan titik pengukuran sejauh 6 m, dimana pada jarak ini pengaruh beban diperkirakan sudah tidak ada lagi terhadap besar lendutan balik yang diukur.

Pengukuran lainnya yang biasa dilakukan pada pemeriksaan lendutan ialah kemiringan dari cekung lendutan yang disebut dengan istilah titik belok, yang menggambarkan kemiringan dari cekung lendutan dekat daerah nilai lendutan maksimum. Kemiringan dari cekung lendutan yang relatif datar menunjukkan kekuatan struktur perkerasan yang lebih baik dibandingkan dengan perkerasan yang mempunyai kemiringan cekung lendutan yang lebih tajam.

Evaluasi dari kekuatan perkerasan tersebut pada dasarnya paling tidak dilakukan terhadap dua parameter tersebut, yaitu terhadap besar lendutan balik maksimum dan terhadap kemiringan dari titik belok lendutan tersebut, serta selanjutnya diambil nilai yang memberikan hasil yang paling kritis.

Pada perkembangan selanjutnya dalam evaluasi struktur perkerasan jalan, pengukuran cekung lendutan perkerasan yang lebih detail sangat diperlukan guna mengevaluasi sifa-sifat material mulai dari lapisan tanah dasar sampai ke lapisan permukaan atau lapisan beraspal. Dari bentuk cekung lendutan ini, dengan menggunakan program-program "*back calculation*" yang sudah ada seperti ELMOD dapat dicari nilai-nilai modulus dari masing-masing lapisan perkerasan, yang selanjutnya dapat dipergunakan untuk mengevaluasi kebutuhan penambahan struktur

perkerasan sesuai dengan beban lalu lintas yang harus dipikulnya berdasarkan "**mekanistik- empirik**". Analisa dengan cara mekanistik - empirik ini sangat baik, karena sudah memasukkan sifat-sifat bahan berupa modulus, sehingga perhitungan selanjutnya akan menghasilkan analisa struktur perkerasan yang lebih tepat. Pengembangan pengukuran lendutan perkerasan dengan BB ini, dimaksudkan untuk mendapatkan besar dan bentuk cekung lendutan yang lengkap, sehingga diharapkan selanjutnya bisa dianalisa dengan menggunakan program yang memberikan nilai modulus dari masing-masing lapisan. Dalam mencapai tujuan ini, perlu dilakukan perbandingan dengan alat yang telah memberikan hasil yang memuaskan, baik pengukuran cekung lendutan maupun hasil akhir analisa.

Alat yang akan dijadikan pembanding ialah alat FWD, dimana pengukuran lendutannya menggunakan 7 buah sensor, guna mendapatkan cekung lendutan perkerasan yang memadai.

2.3 Cara mengukur lendutan balik dan cekung lendutan

Pengukuran ini dilakukan dengan menempatkan salah satu ban ganda pada titik yang telah ditentukan terlebih dahulu. Selanjutnya letakkan tumit batang (*beam toe*) *Benkelman Beam* pada titik yang akan diperiksa, dengan cara menyelipkan tumit batang *Benkelman Beam* ditengah-tengah ban ganda tersebut, sehingga tepat dibawah pusat muatan sumbu gandar dan batang *Benkelman Beam* sejajar dengan arah truk. Sebelum pengukuran dimulai, beri tanda pada permukaan jalan mulai dari titik kontak batang, dengan jarak 10, 20, 30, 40, 50, 70, 100, 150, 200, dan 600 cm arah kemuka.

Pembacaan arloji pengukur dilakukan setiap menit, sampai kecepatan perubahan jarum jam lebih kecil atau sama dengan 0,01 mm/ menit atau setelah 3 menit. Hal ini dicatat sebagai nilai lendutan balik.

Perhitungan kemiringan titik belok

Kemiringan (tangen) titik belok pada tiap titik dihitung dengan rumus :

$$\text{tangen } \theta = 2 \left(\frac{d_2 - d_1}{x_t} \right) \cdot f_t \cdot C$$

dimana :

- tangen θ = kemiringan titik belok
- d_1 = pembacaan awal
- d_2 = pembacaan antara (mm), sejauh 0,30 mm untuk lapis penetrasi dan lain lain, serta 0,40 m untuk aspal beton
- x_t = 300 mm (untuk penetrasi dan lain lain)
400 mm (untuk aspal beton)

III. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian yang dilakukan pada penelitian ini ialah dengan melakukan percobaan lapangan dan analisa di tempat. Dalam melakukan percobaan lapangan perlu dilakukan penentuan segmen-segmen pengujian yang didasarkan atas keseragaman karakteristik perkerasan dari masing-masing segmen serta meliputi berbagai jenis dan ketebalan perkerasan. Pada penelitian ini dilakukan pengujian pada jenis perkerasan beraspal, yaitu aspal beton, yang sudah banyak dipergunakan di Indonesia. Adapun pengukuran lendutan dilakukan dengan menggunakan alat BB dan FWD. Metoda pengukuran lendutan dengan *Benkelman Beam* dilakukan dengan melakukan pengukuran lendutan balik pada beberapa pembacaan, dimana jumlah dan jarak titik pengukuran disamakan dengan jumlah dan titik pengukuran yang ada pada FWD.

Dari data lendutan yang didapat dilapangan, dibuat hubungan langsung antara nilai-nilai lendutan yang didapat dari pengukuran lendutan dengan BB dan FWD, Selanjutnya dilakukan perbandingan antara hasil analisa dari pengukuran lendutan dengan BB terhadap hasil analisa dari pengukuran lendutan dengan FWD.

Dalam melakukan hubungan antara pengukuran lendutan dengan BB dan FWD, ada beberapa sasaran yang akan dicapai :

- Korelasi antara cekung lendutan BB dan dari FWD
- Korelasi antara modulus lapis perkerasan yang dihitung berdasarkan lendutan BB dan berdasarkan cekung lendutan FWD

IV. PEMBAHASAN

4.1 Data Pendukung

Berdasarkan data awal yang didapat dari survey instansional, didapat ruas-ruas jalan untuk percobaan adalah sebagai berikut :

Ruas jalan percobaan dengan lapis permukaan aspal beton

Ruas	Dari	Sampai	Jenis perkerasan	Tebal Perkerasan (mm)		
				Subbase	Base	Permukaan
Brebes - Pejagan	88+000	88+725	Aspal beton	300	200	150
Boyolali - Salatiga	39+175	39+900	Aspal beton	300	200	150
Sragen - Mantingan	44+000	44+725	Aspal beton	300	200	100
Pejagan - Ketanggungan	96+000	96+725	Aspal beton	300	200	150
Kediri - Ngantru	132+000	132+725	Aspal beton	300	200	150

Jarak titik pengukuran lendutan yang dilakukan baik dengan menggunakan Benkelman Beam maupun dengan *Falling Weight Deflectometer*, adalah sebagai berikut :

Titik pembacaan	d ₀	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅	d ₆
Jarak pembacaan dari beban (cm)	0	30	60	75	90	120	150

Dari titik pembacaan tersebut dapat digambarkan cekung lendutan berdasarkan pengukuran BB dengan beban gandar 8,2 ton, dan pada tempat serta titik yang sama dilakukan pengukuran dengan FWD. Beban untuk FWD ialah beban standar, yaitu beban impuls yang memberikan tekanan pada perkerasan jalan sebesar 580 KPa.

4.2 Data Lendutan *Benkelman Beam* dan *Falling Weight Deflectometer*

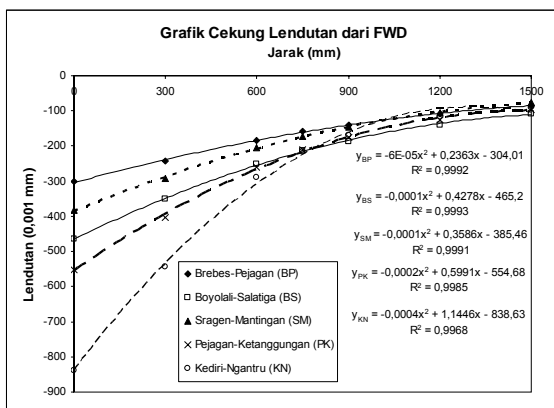
Dari hasil pengukuran lendutan BB dan FWD didapat data lendutan dari beberapa pembacaan untuk setiap satu titik pengukuran. Untuk setiap ruas jalan yang dijadikan tempat pengukuran, disusun pasangan besar lendutan yang terjadi untuk setiap nomor pembacaan yang sama bagi setiap titik pengukuran yang dilakukan, sebagai mana terlihat pada Tabel 1.

Dari hasil tersebut terlihat bahwa lendutan berdasarkan BB untuk pembacaan d₁ sampai d₄ selalu lebih besar dari lendutan berdasarkan FWD, selanjutnya perbandingan lendutan antara BB dan FWD semakin besar untuk titik-titik pembacaan yang mendekati ke pusat pembebanan (d₁), semakin jauh dari pusat beban maka perbandingan tersebut semakin kecil pula.

4.3 Bentuk umum cekung lendutan dari pemeriksaan *Falling Weight Deflectometer*

Berdasarkan hasil pengukuran lendutan dengan FWD pada beberapa ruas diatas, dicoba dibuat bentuk umum lendutan yang dihasilkannya. Untuk setiap satu ruas yang sama dibuat bentuk tipikal lendutan yang terjadi yang menggambarkan cekung lendutan berdasarkan 7 (tujuh) sensor pengukuran pada setiap titik pengukuran. Bentuk tipikal cekung lendutan dan persamaan dari cekung lendutan tersebut diperlihatkan pada Gambar 1 bersama persamaannya. Dari masing masing bentuk tipikal cekung lendutan dari beberapa ruas tersebut, terlihat masing masing bentuk tipikal cekung lendutan memberikan suatu angka korelasi yang cukup baik, dimana terlihat nilai r² lebih besar dari 0,90.

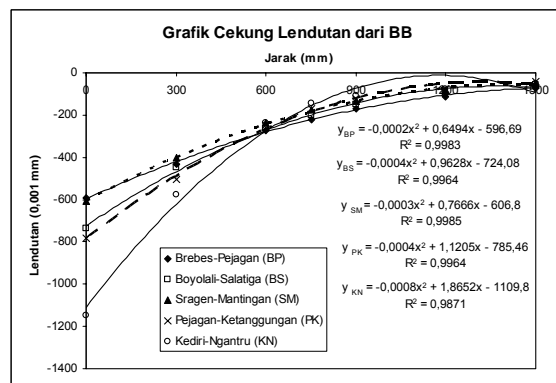
Ruas	Jarak beban	Nilai Lendutan (0,001 mm)						Rasio BB/FWD			
		BB			FWD			Min	Maks	Rata2	Std-Dev
		Min	Maks	Rata2	Min	Maks	Rata2				
Brebes - Pejagan	d1 = 0 mm	340	960	591	255	477	302	1,33	2,52	1,96	0,27
	d2 = 300 mm	240	620	429	187	355	243	1,06	2,55	1,78	0,29
	d3 = 600 mm	130	420	274	150	244	183	0,80	2,19	1,49	0,33
	d4 = 750 mm	110	340	217	134	203	159	0,73	2,29	1,40	0,37
	d5 = 900 mm	80	240	168	120	172	139	0,58	1,71	1,21	0,27
	d6 = 1200 mm	60	140	108	96	126	108	0,68	1,40	1,05	0,22
	d7 = 1500 mm	40	80	71	75	95	86	0,43	1,07	0,84	0,16
Boyolali - Salatiga	d1 = 0 mm	380	1580	737	217	1153	465	1,10	2,13	1,64	0,25
	d2 = 300 mm	180	1000	455	175	811	361	0,81	1,86	1,29	0,27
	d3 = 600 mm	100	560	261	136	491	250	0,63	1,49	1,05	0,25
	d4 = 750 mm	80	440	199	117	390	213	0,55	1,41	0,94	0,22
	d5 = 900 mm	60	340	151	103	322	186	0,41	1,29	0,81	0,22
	d6 = 1200 mm	40	160	93	79	215	140	0,28	1,12	0,67	0,23
	d7 = 1500 mm	20	120	56	62	153	108	0,23	0,94	0,51	0,22
Sragen - Mantingan	d1 = 0 mm	320	780	601	236	517	384	1,32	2,47	1,60	0,22
	d2 = 300 mm	220	600	407	182	412	293	1,08	1,84	1,37	0,18
	d3 = 600 mm	140	400	238	139	293	206	0,77	2,00	1,17	0,29
	d4 = 750 mm	100	360	179	122	245	172	0,68	2,14	1,02	0,30
	d5 = 900 mm	80	300	137	106	205	146	0,52	2,03	0,92	0,30
	d6 = 1200 mm	40	200	80	80	148	105	0,34	1,82	0,80	0,37
	d7 = 1500 mm	20	140	48	56	106	76	0,24	1,75	0,64	0,39
Pejagan - Ketanggungan	d1 = 0 mm	293	831	551	420	1200	783	1,08	1,92	1,44	0,23
	d2 = 300 mm	252	605	403	300	660	503	0,96	1,78	1,26	0,21
	d3 = 600 mm	186	364	260	180	360	251	0,63	1,57	0,97	0,24
	d4 = 750 mm	164	279	211	100	240	172	0,36	1,33	0,83	0,22
	d5 = 900 mm	140	225	174	60	180	123	0,27	1,27	0,72	0,24
	d6 = 1200 mm	106	154	125	40	120	73	0,26	1,20	0,62	0,26
	d7 = 1500 mm	67	116	95	20	80	43	0,17	0,94	0,47	0,23
Kediri - Ngantru	d1 = 0 mm	542	1417	840	780	1990	1146	1,05	1,55	1,36	0,13
	d2 = 300 mm	347	919	544	320	1000	580	0,65	1,43	1,06	0,20
	d3 = 600 mm	184	473	288	120	440	237	0,34	1,28	0,84	0,24
	d4 = 750 mm	141	344	217	80	260	145	0,29	1,20	0,69	0,21
	d5 = 900 mm	106	266	170	60	220	109	0,28	1,34	0,66	0,25
	d6 = 1200 mm	72	174	118	40	160	79	0,24	1,43	0,69	0,29
	d7 = 1500 mm	64	128	91	20	120	51	0,16	1,33	0,56	0,30



Gambar 1. Bentuk tipikal cekung lendutan rata-rata berdasarkan pengujian FWD

Dari hasil pemeriksaan lendutan dengan *Benkelman Beam* seperti ditunjukkan dalam Gambar 2, untuk ruas dan titik titik pengukuran yang sama juga dilakukan analisa bentuk umum dari cekung lendutan yang terjadi. Dari hasil analisa untuk masing masing ruas, terlihat bahwa

bentuk umum cekung lendutan berdasarkan *Benkelman Beam* juga memberikan bentuk umum yang cukup baik dimana persamaan bentuk umum cekung lendutan ini memberikan nilai r^2 yang cukup baik, dengan nilai r^2 nya lebih besar dari 0,90.

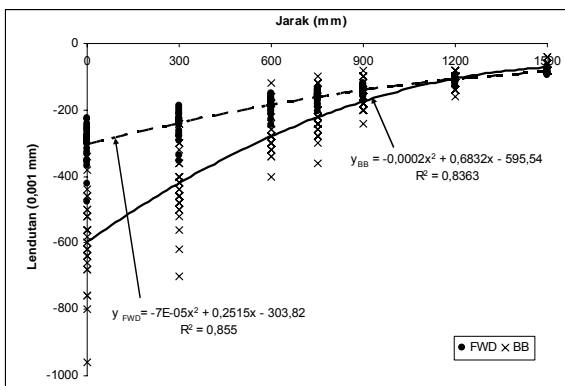


Gambar 2. Bentuk tipikal cekung lendutan rata-rata berdasarkan pengujian BB

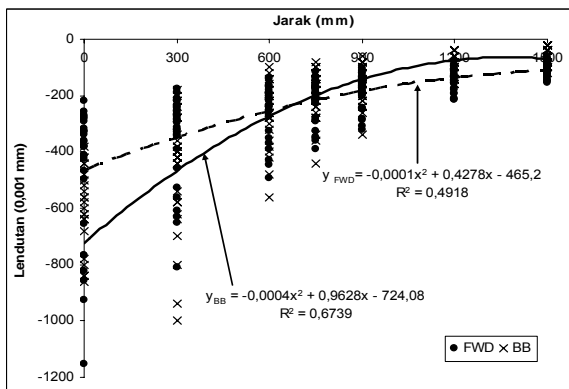
4.4 Hubungan antara cekung lendutan berdasarkan pemeriksaan dengan *Benkelman Beam* dan *Falling Weight Deflectometer*

Dari gambar gabungan cekung lendutan sebagai mana diperlihatkan pada Gambar 3 sampai Gambar 7, terlihat bahwa cekung lendutan berdasarkan BB untuk titik pembacaan lendutan yang dekat dari pusat beban selalu lebih besar dari nilai lendutan berdasarkan pemeriksaan FWD, dan selanjutnya untuk titik-titik pembacaan yang lebih jauh dari pusat beban menunjukkan nilai lendutan berdasarkan *Benkelman Beam* lebih kecil dari lendutan berdasarkan pemeriksaan FWD.

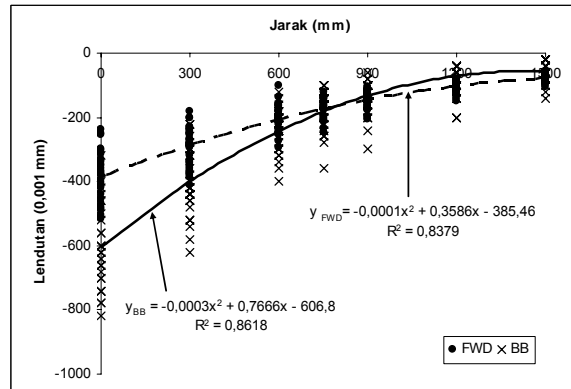
Hal ini menunjukkan bahwa pemeriksaan dengan BB jika ditinjau dari lendutan maksimum di bawah pusat beban selalu memberikan nilai keamanan yang lebih tinggi, atau hasil BB memberikan nilai sifat bahan perkerasan yang *under estimate* dibandingkan dengan hasil FWD, dimana ditunjukkan dengan besar lendutan maksimum dari BB yang lebih besar, serta bentuk cekung lendutan BB yang lebih tajam dari bentuk cekung lendutan FWD.



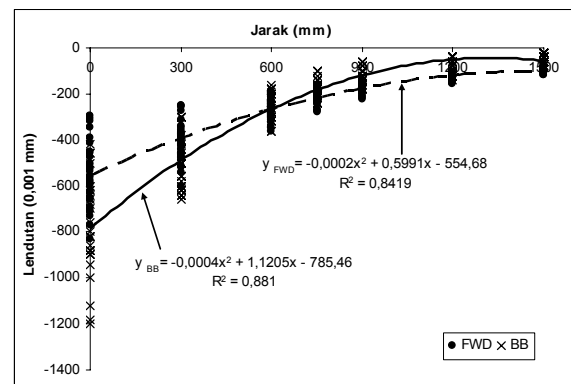
Gambar 3. Perbandingan cekung lendutan rata-rata berdasarkan BB dan FWD Ruas Brebes – Pejagan



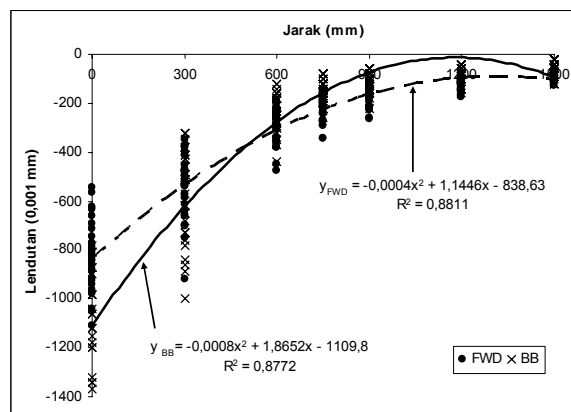
Gambar 4. Perbandingan cekung lendutan rata-rata berdasarkan BB dan FWD Ruas Boyolali – Salatiga



Gambar 5. Perbandingan cekung lendutan rata-rata berdasarkan BB dan FWD Ruas Sragen - Mantingan



Gambar 6. Perbandingan cekung lendutan rata-rata berdasarkan BB dan FWD Ruas Pejagan – Ketanggungan



Gambar 7. Perbandingan cekung lendutan rata-rata berdasarkan BB dan FWD Ruas Kediri - Ngantru

4.5 Hubungan antara lendutan maksimum dari pemeriksaan BB dengan pemeriksaan FWD

Pemeriksaan lendutan dengan BB, biasanya ditujukan untuk mendapatkan nilai lendutan maksimum dan tangen dari cekung lendutan tersebut. Tetapi besar lendutan maksimum

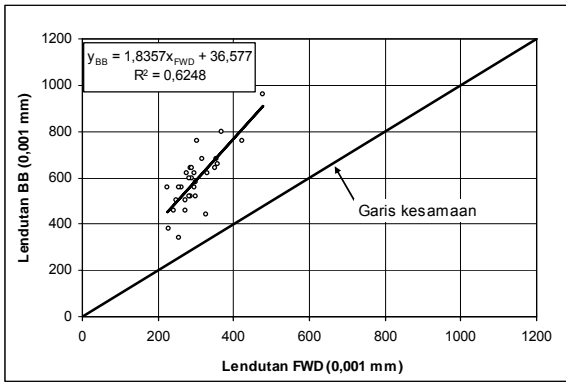
merupakan besaran utama dalam evaluasi kekuatan serta perencanaan peningkatan perkerasan yang dipergunakan pada saat ini. Hubungan antara besar lendutan maksimum yang diperiksa dengan BB dan FWD diperlihatkan pada Tabel 2 dan Gambar 8 sampai Gambar 13.

Dari Tabel 2 terlihat perbandingan antara lendutan maksimum BB dan FWD ialah bervariasi antara 0,90 sampai 2,49, dengan nilai rata-rata sebesar 1,05 sampai 1,96 dengan standar deviasi 0,27, 0,25, 0,22, 0,23, dan 0,13 untuk ruas-ruas Brebes - Pejagan, Boyolali – Salatiga, Sragen – Mantingan, Pejagan – Ketanggungan, dan Kediri – Ngantru sebagai mana diperlihatkan pada Tabel 2 tersebut.

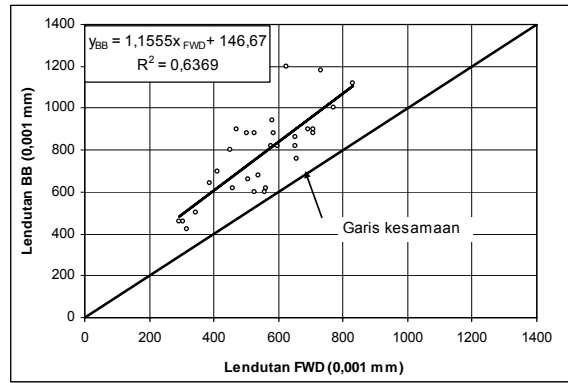
Dilihat dari nilai perbandingan lendutan maksimum yang bervariasi tersebut, dicoba dibuat korelasi dari kedua besaran itu, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 8 sampai Gambar 13. Pada Gambar tersebut terlihat bahwa hubungan tersebut berupa garis lurus dengan nilai r^2 nya cukup tinggi, diatas 0,63. Dari hubungan tersebut terlihat pula bahwa semakin kecil nilai lendutan maksimum yang didapat semakin kecil perbedaan antara lendutan hasil pemeriksaan dengan BB dan FWD, hal ini terlihat dengan jelas dari Gambar 13, dimana untuk nilai lendutan yang semakin kecil, garis persamaan tersebut makin mendekati kepada garis kesamaan (*equal line*) yang merupakan garis dengan sudut kemiringan 45° terhadap kedua sumbu tersebut.

Tabel 2.
Lendutan Maksimum berdasarkan pengujian FWD dan BB

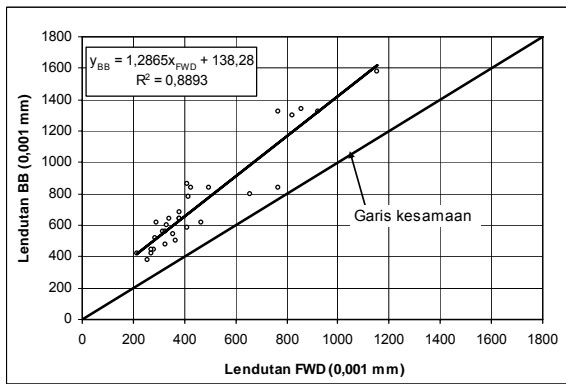
Lendutan Maksimum (x 0,001 mm)														
Brebes - Pejagan			Boyolali - Salatiga			Sragen - Mantingan			Pejagan - Ketanggungan			Kediri - Ngantru		
FWD	BB	Rasio	FWD	BB	Rasio	FWD	BB	Rasio	FWD	BB	Rasio	FWD	BB	Rasio
328	440	1,34	496	840	1,69	332	820	2,47	576	820	1,42	542	780	1,44
256	340	1,33	382	640	1,68	403	640	1,59	525	600	1,14	694	980	1,41
264	560	2,12	273	420	1,54	375	600	1,60	563	620	1,10	743	900	1,21
285	520	1,82	382	680	1,78	348	560	1,61	537	680	1,27	713	980	1,37
225	560	2,49	340	640	1,88	483	700	1,45	586	880	1,50	775	1120	1,45
228	380	1,67	425	840	1,98	489	740	1,51	599	820	1,37	634	870	1,37
242	460	1,90	410	860	2,10	517	740	1,43	658	760	1,16	629	810	1,29
368	800	2,17	291	620	2,13	441	660	1,50	831	1120	1,35	566	810	1,43
257	560	2,18	284	520	1,83	395	600	1,52	708	900	1,27	662	980	1,48
275	620	2,25	279	440	1,58	456	700	1,54	651	860	1,32	623	870	1,40
423	760	1,80	316	560	1,77	514	680	1,32	506	660	1,30	771	810	1,05
354	680	1,92	325	480	1,48	350	660	1,89	692	900	1,30	876	1200	1,37
296	620	2,09	258	380	1,47	253	400	1,58	557	600	1,08	785	870	1,11
249	500	2,01	270	440	1,63	301	500	1,66	771	1000	1,30	890	1320	1,48
285	640	2,25	327	560	1,71	251	460	1,83	654	820	1,25	843	1180	1,40
291	600	2,06	414	780	1,88	506	780	1,54	707	880	1,24	1417	1990	1,40
284	520	1,83	1153	1580	1,37	380	560	1,47	388	640	1,65	1107	1460	1,32
297	560	1,89	766	840	1,10	479	660	1,38	345	500	1,45	859	1060	1,23
274	500	1,82	769	1320	1,72	420	640	1,52	305	460	1,51	977	1510	1,55
318	680	2,14	380	640	1,68	236	320	1,36	317	420	1,32	914	1060	1,16
300	520	1,73	330	600	1,82	416	740	1,78	293	460	1,57	1052	1620	1,54
300	580	1,93	217	420	1,94	366	620	1,69	459	620	1,35	840	1120	1,33
302	760	2,52	358	540	1,51	313	420	1,34	412	700	1,70	1042	1510	1,45
357	660	1,85	365	500	1,37	336	520	1,55	472	900	1,91	961	1370	1,43
350	640	1,83	413	580	1,40	312	460	1,47	625	1200	1,92	977	1120	1,15
274	460	1,68	657	800	1,22	370	600	1,62	450	800	1,78	942	1340	1,42
332	620	1,87	467	620	1,33	338	620	1,83	503	880	1,75	922	1340	1,45
284	600	2,11	924	1320	1,43	360	620	1,72	526	880	1,67	827	1040	1,26
477	960	2,01	824	1300	1,58	299	440	1,47	733	1180	1,61	813	1200	1,48
291	640	2,20	859	1340	1,56	466	780	1,67	580	940	1,62	805	1150	1,43
Rata-rata		1,96	Rata-rata		1,64	Rata-rata		1,60	Rata-rata		1,44	Rata-rata		1,36
Standar deviasi		0,27	Standar deviasi		0,25	Standar deviasi		0,22	Standar deviasi		0,23	Standar deviasi		0,13



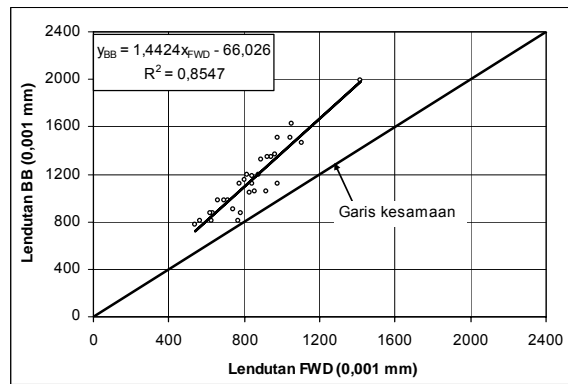
Gambar 8. Hubungan lendutan maksimum antara BB dan FWD Ruas Brebes – Pejagan



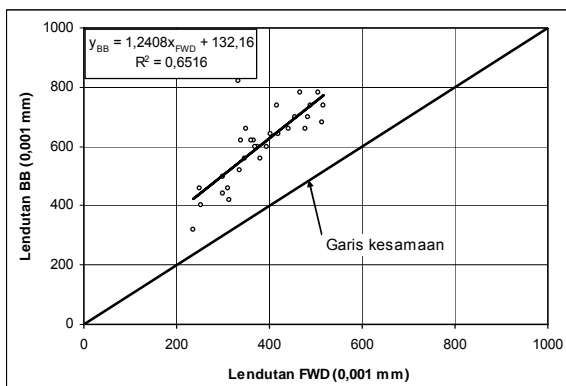
Gambar 11. Hubungan lendutan maksimum antara BB dan FWD Ruas Pejagan – Ketanggungan



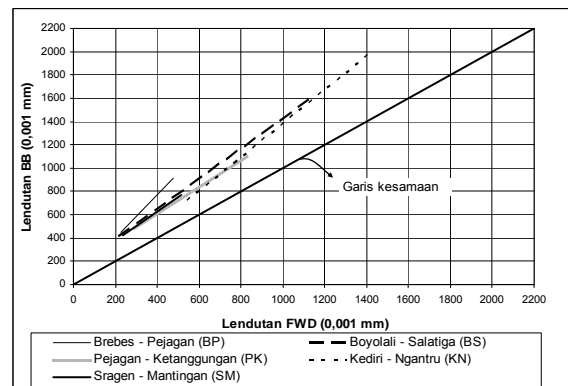
Gambar 9. Hubungan lendutan maksimum antara BB dan FWD Ruas Boyolali – Salatiga



Gambar 12. Hubungan lendutan maksimum antara BB dan FWD Ruas Kediri - Ngantru



Gambar 10. Hubungan lendutan maksimum antara BB dan FWD Ruas Sragen - Mantingan



Gambar 13. Hubungan antara lendutan maksimum BB dan FWD, serta garis kesamaan (*equal line*).

4.6 Perhitungan modulus lapisan perkerasan

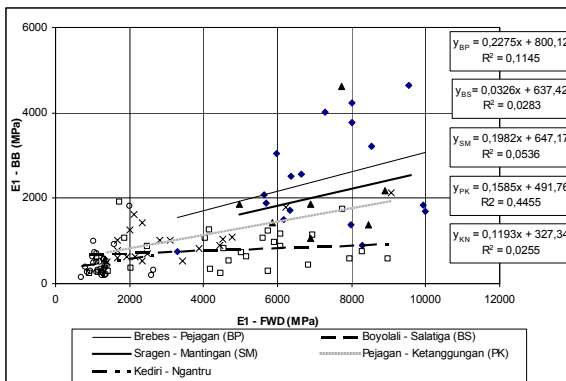
Perkembangan analisa perkerasan pada saat sekarang didasarkan atas sifat bahan perkerasan tersebut yang dinyatakan dengan modulusnya. Dengan diketahui sifat dan besar modulus masing-masing lapisan perkerasan dan tanah dasar, maka besaran regangan dan tegangan yang terjadi yang merupakan dasar terhadap penilaian kekuatan perkerasan tersebut, bisa dianalisa dan selanjutnya bisa menentukan umur atau kekuatan perkerasan yang dibutuhkan. Hal ini dikenal dengan istilah cara "mekanistik - empirik".

Untuk perkerasan jalan yang sudah ada, maka penentuan besaran modulus dari masing-masing lapisan tersebut dapat dilakukan dengan melakukan pengukuran dengan alat yang bersifat *non destructive* seperti FWD misalnya, dimana pada dasarnya dari cekung lendutan yang didapat berdasarkan hasil pengukuran dilapangan, bisa dihitung besar modulus masing-masing lapisan dengan mengetahui tebal masing-masing lapisan tersebut, yang disebut metoda perhitungan "*back calculation*".

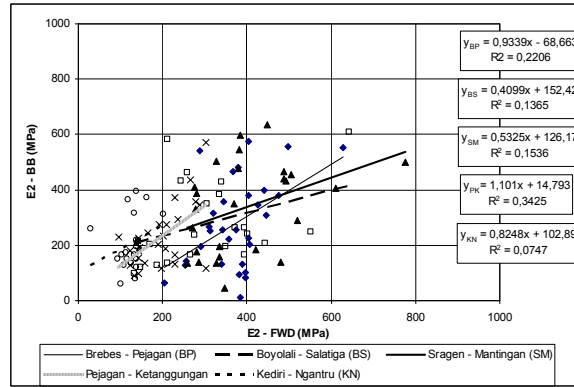
Berdasarkan hasil pemeriksaan cekung lendutan dengan FWD dan tebal perkerasan masing-masing lapis dari masing-masing ruas, dengan menggunakan program ELMOD bisa didapat nilai modulus lapisan tersebut.

Dengan cara yang sama, berdasarkan hasil pengukuran cekung lendutan dari BB, maka dapat dihitung pula nilai modulus dari masing-masing lapisan, pada masing-masing ruas. Perlu diingat bahwa titik-titik pengukuran dan pembacaan antara FWD dan BB dilakukan pada tempat yang sama, sehingga ketidaksamaan kondisi titik pengukuran dapat dieliminir.

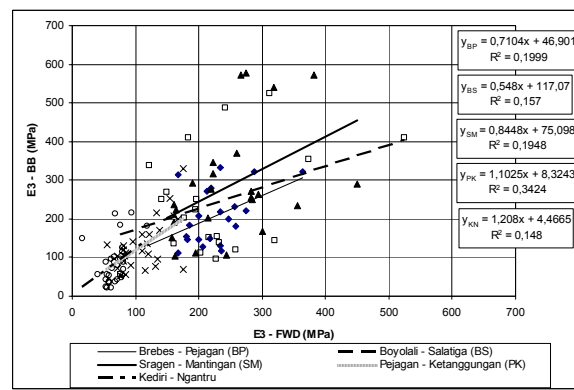
Hubungan antara nilai modulus untuk setiap lapis, dari hasil pengukuran FWD dan BB diperlihatkan pada Gambar 14 sampai Gambar 17.



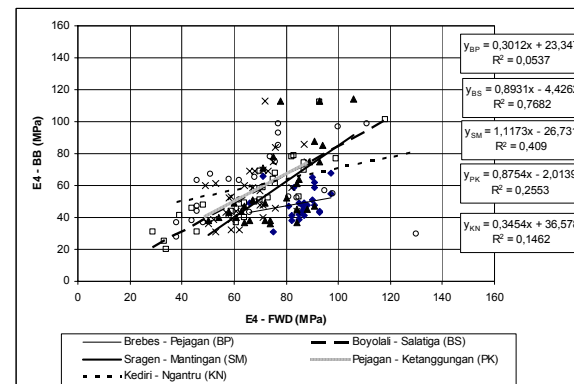
Gambar 14. Hubungan antara nilai Modulus Elastis lapisan beraspal dengan FWD dan BB



Gambar 15. Hubungan antara nilai Modulus Elastis base dengan FWD dan BB



Gambar 16. Hubungan antara nilai Modulus Elastis sub-base dengan FWD dan BB



Gambar 17. Hubungan antara nilai Modulus Elastis tanah dasar dengan FWD dan BB

Dari Gambar 14 terlihat bahwa tidak ada hubungan yang baik antara modulus lapisan beraspal berdasarkan pemeriksaan FWD dan BB yang ditunjukkan dengan garis lurus yang mempunyai nilai r^2 yang kecil.

Hubungan antara modulus lapisan berbutir (lapis pondasi) dan lapis pondasi bawah antara pengukuran dengan FWD dan BB diperlihatkan pada Gambar 15 dan Gambar 16. Dari Gambar

tersebut terlihat bahwa hubungan tersebut tidak cukup baik, yang dinyatakan dengan nilai r^2 nya yang cukup kecil. Begitu juga untuk tanah dasar tidak terlihat adanya hubungan yang baik berdasarkan pemeriksaan FWD dan BB, dengan nilai r^2 nya yang cukup kecil, kecuali untuk ruas Boyolali – Salatiga yang menunjukkan adanya hubungan antara modulus untuk pengukuran dengan FWD dan BB, yaitu dengan nilai r^2 nya sebesar 0,768, seperti ditunjukkan pada Gambar 17.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Nilai lendutan maksimum berdasarkan BB lebih besar dari FWD dengan perbandingan yang tidak konstan, namun bervariasi dengan kisaran antara 1 (satu) sampai 2 (dua) kali.
2. Besar pembacaan lendutan untuk BB sampai jarak sekitar 75 cm dari pusat beban selalu lebih besar dari hasil FWD namun untuk jarak yang lebih jauh dari 120 cm dari pusat beban, besar bacaan lendutan dari BB lebih kecil dari bacaan FWD.
3. Bentuk cekung lendutan dari BB lebih tajam dari bentuk lendutan berdasarkan FWD, sehingga akan memberikan kesan seolah-olah perkerasan yang diperiksa dengan BB lebih lemah dibandingkan dengan hasil FWD.
4. Tidak terdapat korelasi yang baik antara nilai modulus lapis perkerasan, baik untuk lapisan beraspal, lapisan pondasi atas, pondasi bawah dan tanah dasar dari hasil pengukuran BB dan FWD.

5. Nilai Modulus hasil perhitungan berdasarkan pemeriksaan BB umumnya lebih kecil dari FWD.
6. Perlu kehati-hatian dalam melakukan korelasi lendutan antara hasil FWD dan BB.
7. Perlu dilakukan pengujian serupa untuk jenis perkerasan lainnya, misalnya penetrasi, guna mendapatkan hasil yang mewakili.

Daftar Pustaka

- a. Departemen Pekerjaan Umum, "Manual Perkerasan Jalan dengan Alat Benkelman Beam", Direktorat Jenderal Bina Marga, 1987
- b. Departemen Pekerjaan Umum, "Metode Pengujian Lendutan Perkerasan Jalan Lentur dengan Alat *Falling Weight Deflectometer*".
- c. Dynatest Engineering A/S, "Operating Instructions Owner's Manual Part 1 Dynatest 8000 FWD Test System", Herlev, Denmark, 1989
- d. Dynatest Engineering A/S, "Operating Instructions Owner's Manual Part 2 Dynatest 8000 FWD Test System", Herlev, Denmark, 1989
- e. Yoder. E.J, M.W. Witczak, "Principles of Pavement Design".

Penulis :

DR. Ir. Furqon Affandi, MSc. Ahli Peneliti Madya, serta Kepala Balai Bahan dan Perkerasan Jalan, pada Pusat Litbang Prasarana Transportasi, Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum.