

KAJIAN PENGARUH TEMPERATUR DAN BEBAN SURVAI TERHADAP MODULUS ELASTISITAS LAPISAN BERASPAL PERKERASAN LENTUR JALAN

Djunaedi Kosasih

Jurusan Teknik Sipil, FTSL-ITB, Jln. Ganesha 10, Bandung

Siegfried

Puslitbang Jalan dan Jembatan, Jln. AH Nasution 264, Bandung

RINGKASAN

Penggunaan metoda perhitungan balik dalam menganalisis sistem perkerasan jalan sudah menjadi hal yang umum saat ini. Ada banyak tersedia program komputer yang dapat digunakan untuk melakukan proses perhitungan balik dari data lendutan FWD. Hasil dari proses perhitungan balik adalah besaran modulus elastisitas dari masing-masing lapisan perkerasan. Beberapa faktor yang mempengaruhi modulus elastisitas lapisan perkerasan, khususnya modulus lapisan beraspal, antara lain adalah temperatur dan beban survai. Kajian yang dilakukan berlokasi di jln. Sukarno-Hatta, Bandung di mana data lendutan FWD diukur pada temperatur dan beban survai yang bervariasi. Makalah ini membandingkan proses perhitungan balik yang dilakukan dengan menggunakan program BackCalc dan program BAKFAA. Diperoleh hasil bahwa temperatur dan beban survai sangat berpengaruh pada modulus elastisitas lapisan beraspal; dan seperti yang diharapkan, hasil yang didapat dari kedua program tidak begitu berbeda.

Kata Kunci: cekung lendutan FWD, proses back calculation, program BackCalc, program BAKFAA

SUMMARY

The use of back calculation method in pavement system analysis is very common nowadays. There are many computer programs available to perform back calculation process on FWD deflection data. The results from back calculation process are the elastic moduli of pavement layers. These pavement layer moduli, particularly asphalt layer moduli, are affected by such factors as temperature and survey load. This study was carried out on jln. Sukarno-Hatta in Bandung where FWD deflection data were measured at various temperatures and survey loads.

This paper outlines back calculation process performed comparatively using program BackCalc and program BackFAA. It was found that temperature and survey load influenced the resulting pavement moduli significantly, and as expected, the two computer programs resulted in quite consistent pavement moduli.

Key words: FWD deflection bowl, back calculation process, program BackCalc, program BAKFAA

PENDAHULUAN

Lapisan teratas dari sistem perkerasan lentur pada umumnya merupakan lapisan beraspal. Sifat aspal yang *visco-elastic* menjadikan karakteristik lapisan beraspal sangat sensitif terhadap temperatur dan beban survai. Karakteristik lapisan beraspal yang dipengaruhi oleh temperatur dan beban survai adalah modulus elastisitas.

Seiring dengan perkembangan ilmu perancangan tebal lapisan perkerasan yang mengarah pada penggunaan metoda mekanistik, pengetahuan yang mendalam mengenai modulus elastisitas dan hubungannya dengan temperatur dan beban survai sangatlah penting. Teori mengenai pengaruh temperatur dan beban survai terhadap modulus elastisitas lapisan beraspal telah banyak diformulasikan.

Untuk proses perancangan tebal lapisan tambahan yang praktis, metoda penentuan

modulus lapisan beraspal lapangan secara terkomputerisasi telah dikembangkan melalui proses perhitungan balik (*back calculation*) oleh banyak ahli baik di dalam maupun di luar negeri. Data yang dibutuhkan adalah data hasil pengukuran alat FWD (*Falling Weight Deflectometer*) yang berupa data cekung lendutan (*deflection bowl*). Program komputer untuk melakukan proses perhitungan balik yang berasal dari luar negeri antara lain adalah program MichBack, Elmod, BAKFAA. Program MichBack dibuat di Universitas Michigan, Elmod dibuat di Denmark dan BAKFAA dibuat oleh *Federal Aviation Administration*, AS yang dapat digunakan baik untuk menganalisis struktur perkerasan landasan pesawat udara maupun jalan (Hayhoe, 2002).

Beberapa institusi di dalam negeri juga telah berusaha mengembangkan program perhitungan balik, antara lain Jurusan Teknik Sipil, Institut

Teknologi Bandung, yang mengembangkan program BackCalc. Program ini merupakan pengembangan lanjut dari program DAMA dari The Asphalt Institute (Kosasih, 2007).

Data lapangan yang digunakan telah dikumpulkan dari salah satu ruas jalan Sukarno-Hatta, Bandung. Pemilihan lokasi didasarkan pada asumsi bahwa lapisan perkerasan di lokasi ini cukup seragam. Untuk mengetahui komposisi tebal dari masing-masing lapisan perkerasan dilakukan uji *coring* di 3 titik survai lendutan. Pengambilan data lendutan FWD dilakukan secara berulang mulai dari pagi, siang, sore dan malam hari untuk melihat variasi temperatur. Untuk itu, selain data lendutan juga dicatat data temperatur permukaan perkerasan dan temperatur udara. Variasi lainnya yang diambil adalah variasi beban survai dari alat FWD.

Analisis dilakukan untuk melihat variasi modulus elastisitas lapisan beraspal pada berbagai temperatur dan beban survai. Perhitungan balik dilakukan dengan menggunakan program BackCalc dan juga program BAKFAA. Hasil dari kedua program kemudian dibandingkan untuk melihat kemungkinan apakah program BackCalc dapat

diandalkan sebagai salah satu alternatif program komputer untuk perhitungan balik nilai modulus perkerasan dari data lendutan FWD.

Program BackCalc

Penggunaan program komputer pada dasarnya diperlukan untuk melakukan proses perhitungan balik (Kosasih, 2003). Program BackCalc mampu melakukan proses perhitungan balik modulus perkerasan dari data cekung lendutan FWD untuk struktur perkerasan yang dimodelkan sampai dengan sistem 4-lapisan. Proses perhitungan balik dilakukan dengan menggunakan kriteria *best fit*, dimana cekung lendutan teoritis yang dihitung secara teoritis menghasilkan nilai *%-deviasi* yang terkecil terhadap data cekung lendutan yang diukur di lapangan. Sedangkan, nilai lendutan maksimum selalu dijadikan sebagai target dalam menghitung cekung lendutan teoritis. Nilai *%-deviasi* dihitung dengan rumus:

$$\% - deviasi = \sum_{i=1}^7 \left(\frac{A_{deviasi}}{A_{data}} \right)_i * 100\% \dots (1)$$

dimana:

%-deviasi = Root mean square
i = no. *geophone* dari alat FWD

$A_{deviasi}$ = Luas simpangan dari cekung lendutan teoritis

A_{data} = Luas kurva cekung lendutan

Disamping itu, kriteria *Best Mr* juga disediakan dalam program BackCalc untuk memungkinkan hasil dimana modulus lapisan agregat akan selalu lebih besar atau sama dengan modulus tanah dasar. Fasilitas ini serupa dengan parameter *interface* yang digunakan dalam program BAKFAA, seperti yang akan diuraikan berikut ini.

Proses perhitungan balik yang dilakukan dengan program BackCalc secara umum dapat mudah dipahami karena dilengkapi dengan fasilitas grafis yang cukup lengkap.

Program BAKFAA

Program BAKFAA mendasarkan perhitungannya pada sistem elastis linier. Filosofi dari perhitungan balik yang digunakan program ini adalah dengan meminimalkan fungsi akar dari penjumlahan pangkat dua selisih antara lendutan teoritis yang dihitung dengan yang diukur di lapangan, yang dikenal dengan terminologi *Root Mean Square (RMS)*, yang dinyatakan dengan persamaan:

$$RMS = \sqrt{\sum_{i=1}^7 (d_m - d_c)_i^2} \quad \dots(2)$$

dimana:

RMS = *Root mean square*

i = no. *geophone* dari alat FWD

d_m = Lendutan yang diukur (mikron)

d_c = Lendutan teoritis (mikron)

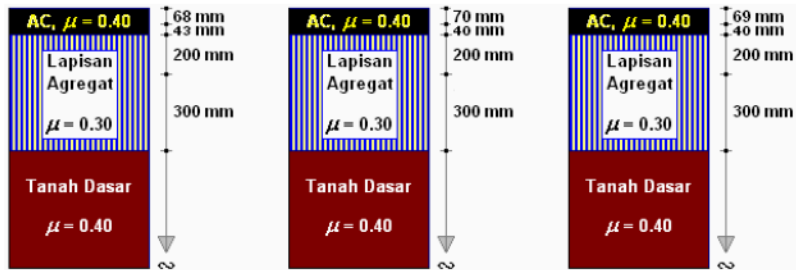
Nilai RMS menjadi salah satu kriteria perhitungan balik yang digunakan dalam program BAKFAA. Sedangkan dalam program Back Calc, nilai RMS dihitung hanya sebagai keluaran saja.

Program BAKFAA dapat memvariasikan parameter *interface* antar lapisan perkerasan dari 0.0 (licin) sampai 1.0 (kasar), yang selaras dengan kemungkinan yang dapat terjadi pada perkerasan aktual.

Program BAKFAA ditulis dalam bahasa Visual Basic dengan fitur-fitur yang cukup menarik. Secara umum, paket program ini cukup *user friendly* untuk digunakan dalam menganalisis struktur perkerasan jalan.

Data Struktur Perkerasan

Tiga lokasi yang disurvei masing-masing berjarak 500 m dan diberi notasi lokasi A, B, dan C. Komposisi lapisan perkerasan yang diperoleh dari hasil uji *coring* dan



Gambar 1. Data struktur perkerasan pada Lokasi A, B, dan C yang disurvei

dari data desain diperlihatkan pada Gambar 1. Struktur perkerasan dimodelkan sebagai sistem 3-lapisan. Nilai konstanta Poisson diasumsikan sesuai dengan nilai yang biasa digunakan dalam proses desain.

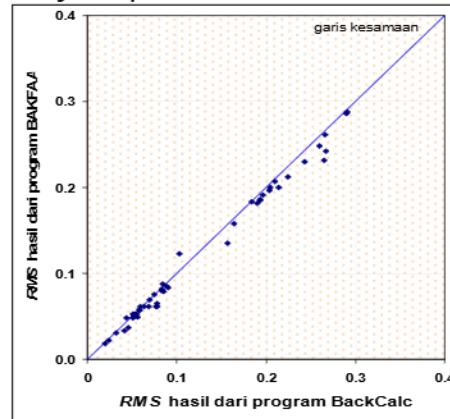
Data Lendutan

Agar struktur perkerasan tidak terganggu, maka sebelum uji *coring*, di ketiga lokasi A, B, dan C dilakukan survai lendutan FWD. Survai lendutan dilakukan dengan variasi beban survai sebesar 30 kN, 40 kN, dan 50 kN. Waktu survai di pagi hari ditetapkan jam 6.00, siang hari jam 12.00, sore hari jam 18.00 dan tengah malam jam 24.00.

Di setiap waktu survai diambil data temperatur permukaan perkerasan dan data temperatur udara, sehingga diperoleh 4 variasi temperatur permukaan perkerasan, yaitu berturut-turut 24°C, 45°C, 32°C, dan 27°C.

Analisis Hasil Perhitungan Balik

Hasil perhitungan balik dari data lendutan FWD yang diukur di 3 lokasi pada variasi beban dan variasi temperatur permukaan perkerasan yang dilakukan dengan menggunakan kedua program BackCalc dan BAKFAA diperlihatkan masing-masing pada Tabel 1 dan 2. Sedangkan, nilai *RMS* yang dihasilkan dari kedua program disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Perbandingan nilai *RMS*

Secara umum terlihat bahwa hasil perhitungan balik dari kedua program tidak terlalu berbeda secara signifikan. Perbedaan yang terlihat justru pada nilai modulus lapisan beraspal di lokasi survai A, B, dan C.

Tabel 1.

Hasil perhitungan balik dengan menggunakan program BackCalc

Tp (°C)	Lokasi A			Lokasi B			Lokasi C		
	M_r (MPa) untuk variasi beban survai								
	30 kN	40 kN	50 kN	30 kN	40 kN	50 kN	30 kN	40 kN	50 kN
24	182,3	187,1	185,8	121,1	120,4	121,5	98,2	100,1	102,9
27	175,3	187,2	185,6	128,6	127,6	122,4	103,9	107,7	106,2
32	181,0	199,0	184,7	124,4	123,0	123,0	105,9	103,1	101,9
45	191,7	190,3	197,2	122,9	124,3	122,2	106,9	107,5	105,1
	E_2 (MPa)								
24	142,2	136,7	136,1	112,6	115,2	116,7	109,0	110,7	112,2
27	149,9	146,5	147,1	102,1	109,2	118,4	99,0	101,6	107,5
32	129,1	123,7	132,3	108,0	113,1	116,7	97,3	104,4	110,5
45	130,1	130,2	130,0	104,3	108,8	114,8	99,2	102,3	108,5
	E_p (MPa)								
24	1339,1	1584,6	1799,9	1911,1	2261,7	2567,6	3062,2	3297,5	3474,1
27	627,1	915,0	1180,0	1578,7	1891,3	2123,1	1303,8	1593,2	1836,2
32	1032,3	1284,7	1386,4	1702,1	1958,0	2322,8	1333,2	1498,8	1677,8
45	1015,6	1207,0	1439,0	1709,9	2064,6	2295,3	2253,1	2470,1	2625,4

Tabel 2.

Hasil perhitungan balik dengan menggunakan program BAKFAA

Tp (°C)	Lokasi A			Lokasi B			Lokasi C		
	M_r (MPa) untuk variasi beban survai								
	30 kN	40 kN	50 kN	30 kN	40 kN	50 kN	30 kN	40 kN	50 kN
24	145,8	182,9	182,0	119,6	120,7	121,5	99,6	101,2	102,5
45	187,8	191,9	187,1	128,2	126,2	123,0	106,4	105,8	104,8
32	187,2	255,0	178,1	122,7	122,6	122,6	106,1	103,1	106,2
27	185,6	189,1	194,4	122,9	123,8	122,8	99,6	106,8	105,3
	E_2 (MPa)								
24	145,8	140,8	140,9	111,0	114,9	116,9	106,7	108,8	111,1
45	144,4	146,4	149,6	102,8	111,2	118,8	99,0	105,9	111,8
32	128,7	78,8	136,4	110,6	118,2	118,3	97,5	104,7	99,7
27	135,0	132,9	133,1	105,7	109,7	114,6	99,6	103,4	108,5
	E_p (MPa)								
24	1255,3	1475,6	1668,6	2031,4	2311,1	2607,0	3108,3	3325,3	3528,3
45	636,6	879,8	1107,2	1593,1	1880,6	2137,2	1261,4	1479,3	1710,5
32	995,1	2791,5	1385,4	1676,8	2320,8	2317,7	1319,3	1478,9	3543,0
27	937,1	1135,6	1357,0	1696,6	2081,2	2336,1	2225,4	2424,8	2601,2

Juga perbedaan nilai modulus lapisan beraspal akibat pengaruh dari variasi beban survai atau akibat pengaruh dari variasi temperatur permukaan perkerasan.

Hasil yang cukup menjanjikan ini dapat diperoleh karena tebal lapisan perkerasan di 3 lokasi survai diukur secara teliti lewat uji *coring*. Untuk implementasi praktis, hal ini memberi *warning* kepada praktisi, bahwa dalam melakukan proses perhitungan balik, tebal lapisan *existing* harus dapat diukur secara teliti. Alat ukur GPR (*Ground Penetrating Radar*) yang non-destruktif dapat dipertimbangkan untuk digunakan dalam pengukuran tebal lapis perkerasan secara langsung di lapangan (Holt, et.al., 1989).

Perbedaan nilai modulus lapisan beraspal di lokasi survai A, B, dan C menyatakan bahwa struktur perkerasan umumnya tidak homogen. Hal ini sudah umum diketahui dan sepertinya hanya ada satu solusi yang dapat diusulkan untuk dapat memperhitungkan ketidakseragaman ini, yaitu pengukuran lendutan FWD yang lebih rapat. Usaha untuk mengembangkan alat

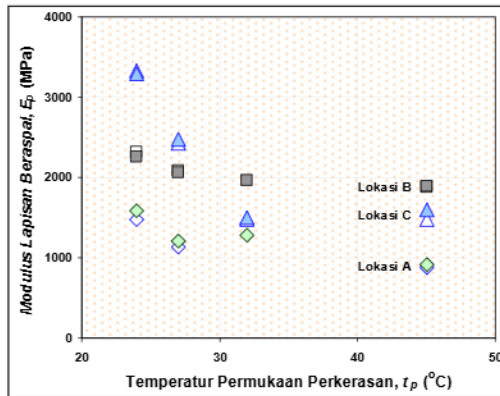
ukur alternatif yang dapat mengukur lendutan secara menerus masih menjadi topik penelitian yang menarik.

Sesuai dengan kriteria program BAKFAA yang meminimalkan nilai *RMS*, maka dari Gambar 2 terlihat bahwa nilai *RMS* yang dihasilkan dari program BAKFAA relatif lebih kecil daripada yang dihasilkan dari program BackCalc. Hal ini terlihat dari sebaran data yang hampir seluruhnya berada di bawah garis kesamaan.

Pengaruh Temperatur Terhadap Modulus Elastisitas Lapisan Beraspal

Nilai modulus elastisitas lapisan beraspal akan menurun dengan meningkatnya temperatur. Kecenderungan ini disebabkan oleh sifat *visco-elastic* dari material aspal yang kemudian mempengaruhi karakteristik dari lapisan beraspal.

Kecenderungan penurunan nilai modulus elastisitas yang didapat dari hasil perhitungan balik baik dengan menggunakan program BackCalc maupun program BAKFAA terhadap temperatur permukaan perkerasan untuk ketiga lokasi survai A, B, dan C pada beban survai 40 kN ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Modulus Lapisan Beraspal vs Temperatur

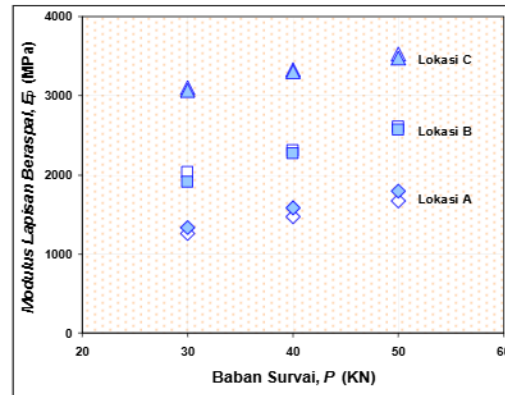
Terlihat bahwa kecenderungan penurunan nilai modulus lapisan beraspal terhadap temperatur permukaan perkerasan cukup bervariasi. Variasi nilai modulus lapisan beraspal di lokasi survai A dan B tidak begitu besar dibandingkan dengan yang diamati di lokasi survai C.

Ada dua kemungkinan yang mungkin dapat menjelaskan hal ini. Pertama, karakteristik material lapisan beraspal, misalnya nilai V_b (rongga aspal), V_v (rongga udara), atau P_{200} (kadar *filler*), yang tidak seragam (Brown, 1984 dan Asphalt Institute, 1983). Kedua, perlu faktor koreksi temperatur yang cocok untuk kondisi geografis di Indonesia.

Pengaruh Beban Survai FWD Terhadap Modulus Elastisitas Lapisan Beraspal

Karena sifat material lapisan beraspal yang *visco-elastic*, maka beban survai FWD juga dapat mempengaruhi modulus elastisitas lapisan beraspal. Variasi dari beban survai FWD terhadap modulus elastisitas lapisan beraspal pada temperatur permukaan perkerasan

24°C di ketiga lokasi survai A, B dan C ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Modulus Lapisan Beraspal vs Beban Survai

Terlihat bahwa nilai modulus elastisitas lapisan beraspal akan meningkat dengan meningkatnya beban survai FWD. Kecenderungan ini terlihat memberikan pola yang seragam untuk ketiga lokasi survai.

Dari kenyataan ini dapat dikatakan bahwa dalam melakukan proses evaluasi struktur perkerasan *existing* dengan menggunakan alat ukur lendutan FWD perlu ditentukan terlebih dahulu beban survai yang akan digunakan. Untuk model struktur perkerasan yang standar, seperti misalnya AASHTO (1993) dan AustRoad (2000), beban survai sebesar 40 kN umumnya digunakan.

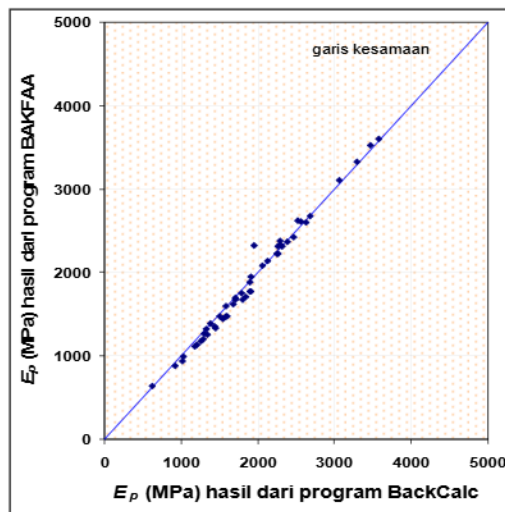
Perbedaan modulus elastisitas lapisan beraspal yang dihasilkan untuk beban survai FWD yang berbeda menunjukkan bahwa material lapisan beraspal tidak sepenuhnya mengikuti teori elastis linier.

Perbandingan Antara Program BackCalc dan Program BAKFAA

Telah diuraikan di atas bahwa kriteria yang digunakan dalam

program BackCalc untuk melakukan proses perhitungan balik adalah dengan meminimalkan nilai *%-deviasi* antara cekung lendutan teoritis dengan cekung lendutan yang diukur di lapangan. Sedangkan, kriteria yang digunakan dalam program BAKFAA adalah dengan meminimalkan nilai *RMS*. Untuk melihat apakah program BackCalc dan program BAKFAA memberikan hasil yang secara signifikan tidak jauh berbeda maka dibuatlah grafik hubungan antara hasil analisis dari kedua program tersebut, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

Nilai modulus elastisitas lapisan beraspal yang didapat dari kedua program terlihat tidak memberikan perbedaan yang signifikan. Hal ini ditunjukkan oleh sebaran titik acak yang hampir seluruhnya terletak di sekitar garis kesamaan.



Gambar 5. Perbandingan nilai E_p

Dari hasil pembahasan ini bisa diambil satu kesimpulan bahwa penggunaan program BackCalc untuk perhitungan balik sistem perkerasan dari data cekung lendutan FWD dapat diterima. Hal ini didasarkan pada kenyataan bahwa hasil yang didapat tidak berbeda jauh dengan hasil yang diberikan oleh program BAKFAA yang merupakan program produk luar negeri.

KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan penting yang dapat diambil dari kajian ini, yaitu:

- Dalam melakukan perhitungan balik dari data cekung lendutan FWD, data tebal masing-masing lapisan perkerasan harus dapat ditentukan seteliti mungkin.
- Temperatur sangat berpengaruh terhadap modulus elastisitas lapisan beraspal. Faktor koreksi temperatur yang akurat perlu diperhitungkan.
- Beban survai FWD standar perlu ditetapkan dalam melakukan survai lendutan, karena beban yang berbeda akan memberikan nilai modulus elastisitas lapisan beraspal yang berbeda pula.
- Program BackCalc bisa dipertimbangkan sebagai alat bantu dalam melakukan perhitungan balik sistem perkerasan dari data cekung lendutan FWD.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO, 1993. *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*, Washington DC.
- AustRoad, 2000. *Pavement Design – A Guide to the Structural Design of Road Pavements*, New South Wales.
- Brown SF dan Brunton JM, 1984. *An Introduction to the Analytical Design of Bituminous Pavements*, Second Edition, University of Nottingham
- FAA, 2002. *Computer Program for Layered Elastic Analysis*, Federal Aviation Administration, AS.
- Hayhoe, 2002. *LEAF – A New Layered Elastic Computational Program for FAA Pavement Design and Evaluation Procedures*. Federal Aviation Administration, AS.
- Holt FB and Eckrose RA, 1989. *Application of GPR and Infrared Thermography to Pavement Evaluation*, ASTM STP 1026, Editors Bush and Baladi, Philadelphia.
- Kosasih D, 2007. *Modifikasi Metoda AASHTO'93 dalam Desain Tebal Lapisan Tambahan untuk Model Struktur Sistem 3-Lapisan*. Jurnal Puslitbang Jalan dan Jembatan, Bandung.
- Kosasih D dan Sudiarto MR, 2003. *The Effect of Pavement Structure Modeling and Deflection Bowl Analysis on Calculated Layer Moduli*". 5th Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Fukuoka.
- Sianipar S, 2004. *Analisis Modulus Perkerasan dengan Menggunakan FWD akibat Pengaruh Temperatur dan Beban (Studi Kasus Jalan Soekarno-Hatta Bandung)*, Tesis S2 – Transportasi, Universitas Tarumanagara, Jakarta.
- The Asphalt Institute, 1983. *Research and Development of the Asphalt Institute's Thickness Design Manual (MS-1)*, Ninth Edition, RR-82-2, Maryland.