

Analisis Struktur Perkerasan Multi-Layer Menggunakan Program Komputer ELMOD Studi Kasus: Jalan Tol Jakarta - Cikampek

Bambang Sugeng Subagio¹⁾
Rudy Hermawan Karsaman²⁾
Ika Wahyu Nurwaida³⁾

Abstrak

Metoda analitis dalam perencanaan tebal overlay mempunyai beberapa keuntungan yaitu dapat digunakan untuk menganalisis berbagai variasi pembebanan untuk mendapatkan hasil yang lebih pasti dan akurat, dan lainnya. Maksud dari penelitian ini adalah untuk menganalisis struktur perkerasan jalan tol Jakarta-Cikampek, untuk periode analisis tahun 1990-1999, dan menghitung umur sisa serta tebal overlay yang diperlukan, berdasarkan data lendutan memakai alat Falling Weight Deflectometer dan dianalisis memakai program komputer ELMOD, kemudian hasilnya dibandingkan dengan metoda empiris perhitungan tebal overlay yaitu metoda Bina Marga.

Metoda Overlay Bina Marga memberikan hasil untuk arah Jakarta-Cikampek terdapat 8 titik kritis dengan umur sisa kurang dari 1 tahun dan tebal overlay yang diperlukan 7,0 cm. Untuk arah Cikampek-Jakarta tidak terdapat titik kritis, umur sisa titik-titik pengukuran tersebut adalah lebih besar dari 10 tahun dan tebal overlay yang diperlukan adalah 3,0 cm. Hasil yang diperoleh dari program ELMOD untuk arah Jakarta-Cikampek terdapat 2 titik kritis yang tidak mempunyai umur sisa dan 1 titik kritis yang mempunyai umur sisa 1 tahun, tebal overlay yang diperlukan adalah 7,2 cm. Untuk arah Cikampek-Jakarta, tidak terdapat titik kritis dan umur sisa dari titik-titik tersebut adalah lebih dari 20 tahun sehingga tidak membutuhkan overlay.

Kata-kata kunci : Lendutan, alat FWD, umur sisa, tebal overlay, program komputer ELMOD.

Abstract

An analytical method of overlay design has some advantages such as to take into account the variation of loading types which will give more exact and accurate results. The purpose of this research is to analyze the pavement structure of Jakarta-Cikampek toll road, for analysis period between 1990-1999 and to calculate the residual life and overlay thickness required, based on the deflection data using FWD equipment and analyzed by ELMOD computer program. The results then were compared with the empirical method i.e. Bina Marga method.

The result of Bina Marga method show that for Jakarta-Cikampek direction there were eight critical points which have residual life less than one year and 7,0 cm overlay thickness required. For Cikampek-Jakarta direction, there was no critical point, their residual life was more than 10 years, and overlay thickness required is 3,0 cm. The ELMOD program gives the result for Jakarta-Cikampek direction that there are two critical points which have zero residual life and one critical point which has residual life less than one year, the overlay thickness required was 7,2 cm. For Cikampek-Jakarta direction, there was no critical point, the residual life was more than 20 years and no overlay required.

Keywords : Deflection, FWD equipment, residual life, overlay thickness, ELMOD's programme.

1) Staf Pengajar Departemen Teknik Sipil FTSP ITB.

2) Staf Pengajar Departemen Teknik Sipil FTSP ITB.

3) Alumni Program Magister STJR - ITB.

Catatan : Usulan makalah dikirimkan pada 12 Maret 2003 dan dinilai oleh peer reviewer pada tanggal 26 Maret 2003 – 10 Juli 2003. Revisi penulisan dilakukan antara tanggal 15 Juli 2003 hingga 22 Juli 2003.

1. Pendahuluan

Pembangunan jalan tol telah memberikan sumbangan yang cukup tinggi terhadap nilai pembangunan ekonomi nasional selama ini, akan tetapi adanya pertumbuhan lalu lintas, baik dari jumlah kendaraan maupun beban yang diangkut, menyebabkan timbulnya beban berlebih atau *overloading*, yang akan mempercepat kerusakan pada struktur perkerasan. Karena itu peranan Sistem Manajemen Pemeliharaan Perkerasan adalah sangat penting, yang diantaranya adalah untuk mengevaluasi biaya pemeliharaan dan perbaikan dari konstruksi perkerasan yang telah ada atau baru dibangun, sehingga para pengambil keputusan dibidang pemeliharaan jalan dapat mengambil keputusan yang cepat dan tepat, didasarkan pada evaluasi yang bersifat akurat, eksak dan rasional dari struktur perkerasan tersebut.

Alat *Falling Weight Deflectometer (FWD)* adalah alat yang dipakai untuk melakukan evaluasi kekuatan struktur perkerasan, secara mudah, cepat, ekonomis dan tidak merusak (*Non Destructive Test*). Menggunakan alat FWD yang cukup akurat, yaitu Dynatest 8000 FWD dan *software* yang sesuai, yaitu program ELMOD (*Evaluation of Layer Moduli and Overlay Design*), memungkinkan kita untuk melakukan evaluasi perkerasan menggunakan metoda analitis-mekanistik. Program ini mampu menganalisa lengkung lendutan (*deflection bowl*), yaitu bentuk lendutan pada titik-titik deflector tempat pengamatan, kemudian dapat memprediksi *Layer Moduli* dari struktur perkerasannya.

Maksud dan tujuan dari studi penelitian ini adalah :

1. Mengkaji dan menganalisis data lendutan perkerasan lentur hasil pengukuran menggunakan alat *Falling Weight Deflectometer* pada ruas jalan yang ditentukan.
2. Menentukan *Stiffness Modulus*, tebal lapis perkerasan tambahan (*overlay*) dan umur sisa perkerasan, berdasarkan data lendutan permukaan yang diukur oleh alat FWD dan dianalisis menggunakan program komputer ELMOD.
3. Membandingkan dan menganalisis hasil perhitungan tebal lapisan tambahan (*overlay*) dan umur sisa perkerasan, hasil perhitungan program komputer program ELMOD dengan metoda perencanaan tebal *overlay* dari Bina Marga.

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah :

1. Ruas jalan yang diamati yaitu jalan tol Jakarta–Cikampek pada seksi jalan antara pintu tol Karawang Barat sampai dengan pintu tol Karawang

Timur (Sta. Km 47+000 – Sta. Km 54+000), baik arah ke Cikampek maupun arah ke Jakarta, yaitu pada jalur paling kiri.

2. Jenis perkerasan yang diamati adalah perkerasan lentur.
3. Data temperatur perkerasan diperoleh dari alat pengukur temperatur di lapangan dan data temperatur udara didapat dari Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG).
4. Pengukuran lendutan pada ruas jalan yang diamati, menggunakan alat *Falling Weight Deflectometer (FWD)* yang dilakukan pada tahun 1999.
5. Data volume lalu lintas diperoleh dari pintu-pintu tol, sedangkan data beban sumbu untuk semua jenis kendaraan, diperoleh berdasarkan hasil survey WIM pada tahun 1992.
6. Data-data tebal dan material lapis perkerasan diperoleh berdasarkan hasil *core test* pada tahun 1999, pada 4 (empat) titik pengamatan dari ruas jalan yang diamati, yaitu pada Km 48+000, Km 50+000, Km 52+000 dan Km 54+000.
7. Program komputer yang digunakan dalam analisis data lendutan FWD adalah program komputer ELMOD, sedangkan metoda Bina Marga digunakan untuk menganalisis data lendutan Benkelman Beam (BB), yang diubah dari data FWD dengan memakai persamaan konversi lendutan (NEFIADI, E.N., 1990).

2. Data-data yang Digunakan

2.1 Data perencanaan awal

Struktur perkerasan jalan tol Jakarta-Cikampek dirancang menggunakan metoda AASHO, USA (Nurwaida. I.W., 2002) yang direkomendasikan oleh Bina Marga. Data-data yang digunakan untuk perancangan struktur perkerasan awal, adalah sebagai berikut :

- Tahun pertama dibuka : 1988
- Umur rencana : 20 tahun
- LHR awal, 1988 (2 arah) : 8950 kend/hari
- LHR akhir, 2008 : 38020 kend/hari
- Faktor pertumbuhan : 7,5 %
- Persentase dari truk : 20 %
- Faktor truk desain : 0,70
- Beban rencana, 20 tahun : $4,95 \times 10^6$

2.2 Data volume lalu lintas

Data historis volume lalu lintas dalam sistem yang tertutup untuk ruas jalan yang akan dianalisis diperoleh dari PT. Jasa Marga, dan dari data ini dapat diperkirakan tingkat pertumbuhannya. Untuk memperkirakan pola umum pertumbuhan lalu lintas, diperlukan juga data lalu lintas tahunan dari beberapa

Tabel 1. Volume lalu lintas jalan tol Jakarta-Cikampek segmen Karawang Barat-Karawang Timur (Arah A)

Tahun	Kelas Kend. I	Kelas Kend. II A	Kelas Kend. II B	Total kelas Kend. II	Total
1990	2993	1875	1	1876	4869
1991	4183	1689	205	1894	6077
1992	5483	1800	264	2064	7547
1993	6778	2205	543	2748	9526
1994	8502	2701	858	3559	12061
1995	10063	3122	1182	4304	14367
1996	12243	3239	1546	4785	17028
1997	13839	3719	2520	6239	20078
1998	12685	3133	2010	5143	17828
1999	14038	3510	2416	5926	19964
2000	16117	3930	2860	6790	22907
2001	16782	4105	3189	7294	24076

Sumber : PT.Jasa Marga, 2001

Tabel 2. Volume lalu lintas jalan tol Jakarta-Cikampek segmen Karawang Barat-Karawang Timur (Arah B)

Tahun	Kelas Kend. I	Kelas Kend. II A	Kelas Kend. II B	Total kelas Kend. II	Total
1990	2880	2150	1	2151	5031
1991	4216	1689	145	1835	6051
1992	5620	1789	202	1991	7611
1993	6875	2100	413	2513	9388
1994	8530	2485	658	3144	11674
1995	9887	2928	923	3851	13738
1996	11837	3166	1421	4588	16425
1997	13453	3468	2200	5668	19121
1998	12972	2902	1727	4629	17601
1999	13715	3114	1956	5070	18785
2000	15621	3593	2531	6124	21745
2001	16489	3634	2813	6447	22936

Sumber : PT. Jasa Marga, 2001

Tabel 3.a. Data beban sumbu kendaraan memakai alat WIM arah A (Jakarta-Cikampek)

Vehicle Type	Vehicle Number	% Total Vehicles	ESA Number	% Total ESAL's	ESA Factor
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(4)
1	14237	38.12	25.63	0.04	0.0018
2	14300	38.29	32492.66	46.71	2.2722
3	2902	7.77	10704.32	15.39	3.6886
4	18	0.05	65.70	0.09	0
5	2184	5.85	16856.62	24.23	7.7182
6	6	0.02	27.47	0.04	0
7	13	0.03	92.13	0.13	0
8	472	1.26	3506.77	5.04	7.4296
9	41	0.11	540.57	0.78	0
10	37	0.10	218.39	0.31	0
11	13	0.03	112.53	0.16	0
12	1589	4.26	115.84	0.17	0.0729
13	1531	4.10	4806.88	6.91	3.1397
	37343	100.00	69565.50	100.00	1.87

Tabel 3.b. Data beban sumbu kendaraan memakai alat WIM arah B (Cikampek-Jakarta)

Vehicle Type	Vehicle Number	% Total Vehicles	ESA Number	% Total ESAL's	ESA Factor
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(4)
1	14626	42.03	18.69	0.01	0.0013
2	13219	37.99	96376.92	69.02	7.2908
3	2436	7.00	10261.57	7.35	4.2125
4	2	0.01	0.14	0.00	0.07
5	2289	6.58	24209.76	17.34	10.5766
6	2	0.01	2.06	0.00	1.03
7	7	0.02	5.09	0.00	0.7271
8	460	1.32	5719.67	4.10	12.4341
9	43	0.12	273.30	0.20	6.3558
10	52	0.15	110.78	0.08	2.1304
11	16	0.05	39.54	0.03	2.4713
12	1081	3.11	178.62	0.13	0.1652
13	564	1.62	2441.11	1.75	4.3282
	34797	100.00	139637.25	100.00	3.98

pintu gerbang tol, yaitu Karawang Barat, Karawang Timur dan Cikampek, mulai tahun 1990 sampai dengan tahun 2001. Data volume lalu lintas ini disajikan pada Tabel 1 untuk volume lalu lintas arah A (ke Cikampek) dan Tabel 2 untuk volume lalu lintas arah B (ke Jakarta).

2.3 Data beban sumbu

Data beban sumbu diperoleh dengan sistem penimbangan yang terdiri dari alat *Weightman Logger*, *Retriever Elite* dan *Weight Mat*. *The Weightman Logger* secara otomatis mencatat beban kendaraan dan mengklasifikasikan kedalam kelas-kelas. Dari data-data tersebut maka faktor truk untuk setiap jenis kendaraan dan faktor truk rata-rata secara keseluruhan untuk setiap arah dapat ditentukan, sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 3a dan 3b.

2.4 Data konstruksi perkerasan

Data perkerasan yang terpasang dilapangan diperoleh dari PT. Jasa Marga, hasil tes bulan Januari 1999 menggunakan alat bor inti dan penggalan sumur uji. Satu contoh dilakukan di setiap arah di sepanjang segmen yang dianalisis. Hanya sejumlah kecil contoh yang diambil mengingat distribusi kerusakan di lapangan relatif hampir sama. Oleh karena itu data ini cukup dapat dipertimbangkan sebagai kondisi yang mewakili di sepanjang segmen yang dianalisis. Gambar 1 berikut menunjukkan struktur perkerasan eksisting.

2.5 Data lendutan

Data lendutan diperoleh dengan menggunakan alat *Falling Weight Deflectometer* yang dilakukan dalam bulan Februari 1999. Alat ini dilengkapi dengan suatu piringan beban berdiameter 300 mm, beban pemberat 200 kg dan tinggi jatuh 315 mm. Deflektor ditempatkan berjarak antara 0, 300, 600, 750, 900, 1200, 1500 mm dari pusat beban. Temperatur perkerasan dan waktu pengukuran tercatat pada saat pengukuran di lapangan.

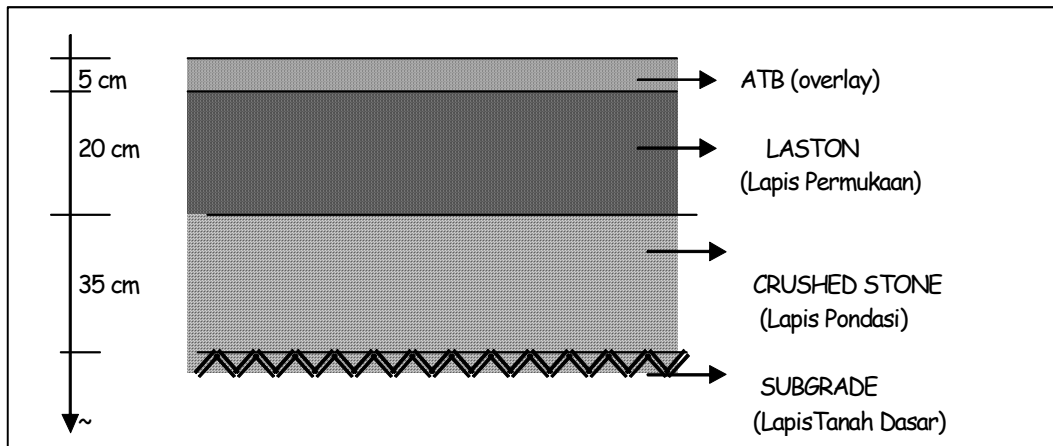
2.6 Data temperatur

Data temperatur untuk daerah disekitar jalan Tol Jakarta-Cikampek didapat dari Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG). Sebagai stasiun pengukuran BMG terdekat adalah Stasiun Pengukuran di Bandara Halim PK, Jakarta Timur.

3. Analisis Beban Lalu Lintas

3.1 Perhitungan faktor truk rata-rata

Faktor truk atau truck factor adalah jumlah pemakaian beban ekuivalen pada setiap sumbu kendaraan atau equivalent standard single-axle load (ESAL) yang mewakili setiap jenis kendaraan. Faktor truk ini dihitung berdasarkan nilai angka ekuivalen (AE) dari Metoda Bina Marga (Bina Marga, 1983), dengan konfigurasi sumbu kendaraan yang terdiri dari : *Single-Axle Single-Wheel*, *Single-Axle Dual Wheel*, *Tandem-Axle Dual-Wheel* dan *Three-Axle Dual-Wheel*. Faktor truk rata-rata untuk semua jenis kendaraan yang dihitung



Gambar 1. Struktur perkerasan eksisting

berdasarkan metoda Bina Marga tersebut adalah 2,12 (lihat Tabel 4). Nilai ini mendekati nilai faktor truk rata-rata yang diperoleh dari alat WIM yaitu 1,86, untuk arah A (Jakarta-Cikampek), tetapi berbeda cukup jauh dengan nilai faktor truk rata-rata dari alat WIM untuk arah B (Cikampek-Jakarta) yaitu 3,98, sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 3a dan 3b.

3.2 Perhitungan faktor pertumbuhan lalu lintas

Pertumbuhan lalu lintas kendaraan berat untuk segmen yang dianalisis, dapat diperkirakan berdasarkan data

historis tahunan dari volume kendaraan berat. Faktor pertumbuhan dihitung berdasarkan jumlah total kendaraan, yang dimulai sejak awal tahun 1990 sampai dengan akhir tahun 2001 (lihat Tabel 5). Nilai pertumbuhan tahunan yang diasumsikan dalam tahap perencanaan awal adalah 7,50 %. Dalam analisis ini yang digunakan untuk menghitung kumulatif beban sumbu kendaraan adalah nilai rata-rata dari tingkat pertumbuhan kendaraan komersial dari tahun 1990 sampai dengan tahun 2001, yaitu sebesar 15,69 %, sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 5.

Tabel. 4 Perhitungan faktor truk rencana

	Pembagian Kelas Kendaraan						
	I	II A			II B		
	MP	Bis	Truk Ringan	Truk Sedang	Truk Berat	Truk Gandeng	Trailer
Konfig. Sumbu	1.1	1.2	1.2L	1.2H	1.22	1.22+2.2	1.22-2.22
Beban Sb.1 (t)	1	3	4	5	6	6	6
Beban Sb.2 (t)	1	6	6	8	14	14	14
Beban Sb.3 (t)						5	25
Beban Sb.4 (t)						5	
EF	0.0002	0.0183	0.0577	0.2820	0.5846	0.5846	0.5846
EF	0.0002	0.5846	0.5846	1.8076	1.4904	1.4904	1.4904
EF						0.2820	2.2910
EF						0.2820	
? EF	0.0004	0.6029	0.6423	2.0896	2.0750	2.6390	4.3660
TF	0.0004	1.1116			3.0267		
TF rata-rata	1.3796						

Tabel 5. Perhitungan faktor pertumbuhan lalu lintas segmen : Karawang Barat - Karawang Timur

Tahun	Volume Aktual Gol. I	Volume Aktual Gol. IIA	Volume Aktual Gol. IIB	Volume Total Aktual (2 arah)	Growth Factor Total (%)
1990	5873	4024	2	9899	
1991	8399	3379	350	12128	22.5
1992	11103	3589	466	15158	24.99
1993	13653	4305	957	18915	24.78
1994	17032	5186	1516	23734	25.48
1995	19950	6050	2105	28105	18.41
1996	24080	6406	2967	33453	19.03
1997	27292	7187	4720	39199	17.18
1998	25657	6035	3737	35429	-9.62
1999	27753	6625	4372	38750	9.37
2000	31738	7524	5391	44653	15.23
2001	33271	7738	6001	47010	5.28
Growth Factor Rata-rata (%)					15.69

Tabel 6. Perhitungan ESAL kumulatif rencana segmen Karawang Barat - Karawang Timur

Tahun	Tahun ke - n	Growth Rate(%)	Persen Truk (%)	Faktor Distribusi	Faktor Truk	LHR Desain	ESAL/jalur	Kumulatif ESAL per jalur
1990	0	0,075	20	50	1,38	9899	4,99E+05	
1991	1	0,075	20	50	1,38	11119	5,60E+05	1,06E+06
1992	2	0,075	20	50	1,38	11953	6,02E+05	1,66E+06
1993	3	0,075	20	50	1,38	12849	6,47E+05	2,31E+06
1994	4	0,075	20	50	1,38	13813	6,96E+05	3,00E+06
1995	5	0,075	20	50	1,38	14849	7,48E+05	3,75E+06
1996	6	0,075	20	50	1,38	15962	8,04E+05	4,56E+06
1997	7	0,075	20	50	1,38	17160	8,64E+05	5,42E+06
1998	8	0,075	20	50	1,38	18447	9,29E+05	6,35E+06
1999	9	0,075	20	50	1,38	19830	9,99E+05	7,35E+06
2000	10	0,075	20	50	1,38	21317	1,07E+06	8,42E+06
2001	11	0,075	20	50	1,38	22916	1,15E+06	9,58E+06

3.3 Perhitungan kumulatif ESAL rencana

Perhitungan didasarkan pada volume lalu lintas harian awal tahun 1990 saat jalan pertama dibuka yaitu sebesar 9899 kendaraan/hari dan nilai pertumbuhan lalu lintas rencana sebesar 7,50 %, untuk menentukan prakiraan besarnya volume lalu lintas harian (LHR_n) yang akan melintas selama umur rencana. Dalam perhitungan kumulatif ESAL rencana (*Design ESALs*), digunakan Faktor Truk Rencana dari Bina Marga yaitu 1,38. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa : beban kumulatif ESAL rencana (*Design ESALs*) sebesar $4,95 \times 10^6$ telah tercapai pada tahun 1997 (lihat Tabel 6). Ternyata kenyataan dilapangan membuktikan bahwa pada tahun 1995 telah dilaksanakan *overlay*. Hal ini menunjukkan bahwa perhitungan kumulatif Design ESALs adalah lebih kecil dari Kumulatif ESAL yang terjadi di lapangan.

3.4 Perhitungan kumulatif ESAL aktual

Perhitungan kumulatif ESAL aktual didasarkan pada volume lalu lintas harian aktual serta beban sumbu aktual yang dihitung pada segmen jalan yang dianalisis. Hasil yang diperoleh adalah : faktor distribusi lajur adalah 58 % untuk lajur lambat atau lajur paling kiri. Sedangkan Faktor Truk rata-rata dihitung berdasarkan nilai Faktor Truk rencana dari Bina Marga untuk kendaraan kelas IIA dan untuk kendaraan kelas IIB (lihat Tabel 4), yaitu masing-masing sebesar 1,1116 dan 3,0267, sedangkan kendaraan kelas I (mobil penumpang) diabaikan dalam perhitungan ini.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa beban kumulatif ESAL desain ($4,95 \times 10^6$) sudah tercapai pada tahun 1995 ~ 1996. Kenyataan yang terjadi menunjukkan bahwa pada tahun 1995 telah dilaksanakan *overlay*, dimana perhitungan kumulatif ESAL aktual sudah mencapai kumulatif ESAL desain, yaitu sebesar $5,15 \times 10^6$ untuk arah A dan $4,63 \times 10^6$ untuk arah B, atau 105 % kali untuk arah A dan 94 % kali untuk arah B terhadap kumulatif ESAL desain tersebut. Jadi nilai kumulatif ESAL aktual pada tahun 1995 memang terbukti sudah mencapai atau hampir mencapai total nilai kumulatif ESAL desain, untuk umur rencana 20 tahun. Hal ini berarti bahwa umur rencana perkerasan tercapai hanya dalam waktu 5 tahun, sejak jalan tersebut dibuka pada tahun 1990. Oleh karenanya, untuk tahun-tahun berikutnya perlu dilakukan pengukuran lendutan secara rutin dan menganalisis hasilnya, agar diperoleh perencanaan tebal *overlay* secara lebih eksak dan akurat, dalam kerangka *Pavement Maintenance Management System (PMMS)*.

4. Analisis Lendutan Berdasarkan Metoda Bina Marga

4.1 Menghitung lendutan yang mewakili

Data lendutan yang digunakan adalah hasil pengukuran memakai alat *Falling Weight Deflectometer (FWD)*, yang dilaksanakan pada tahun 1999 oleh Puslitbang Jalan Bandung. Data lendutan ini kemudian dikonversikan menjadi data lendutan maksimum dari alat Benkelman-Beam (BB), menggunakan persamaan korelasi sebagai berikut (Nefiadi, E.N., 1990) :

$$\Delta_{BB} = 1,44 * \delta_{1(FWD)} + 0,0919 \quad (1)$$

Lendutan yang mewakili (D_r) ditentukan berdasarkan lendutan (BB) rata-rata ($\bar{\Delta}$) dan nilai standar deviasinya (S_d), sehingga didapatkan nilainya sebagaimana Tabel 7 berikut, baik untuk arah A (Jakarta-Cikampek) maupun arah B (Cikampek-Jakarta). Nilai ini akan dibandingkan dengan nilai lendutan maksimum (d_{max}), yaitu 1,434 mm untuk arah A dan 0,794 mm untuk arah B.

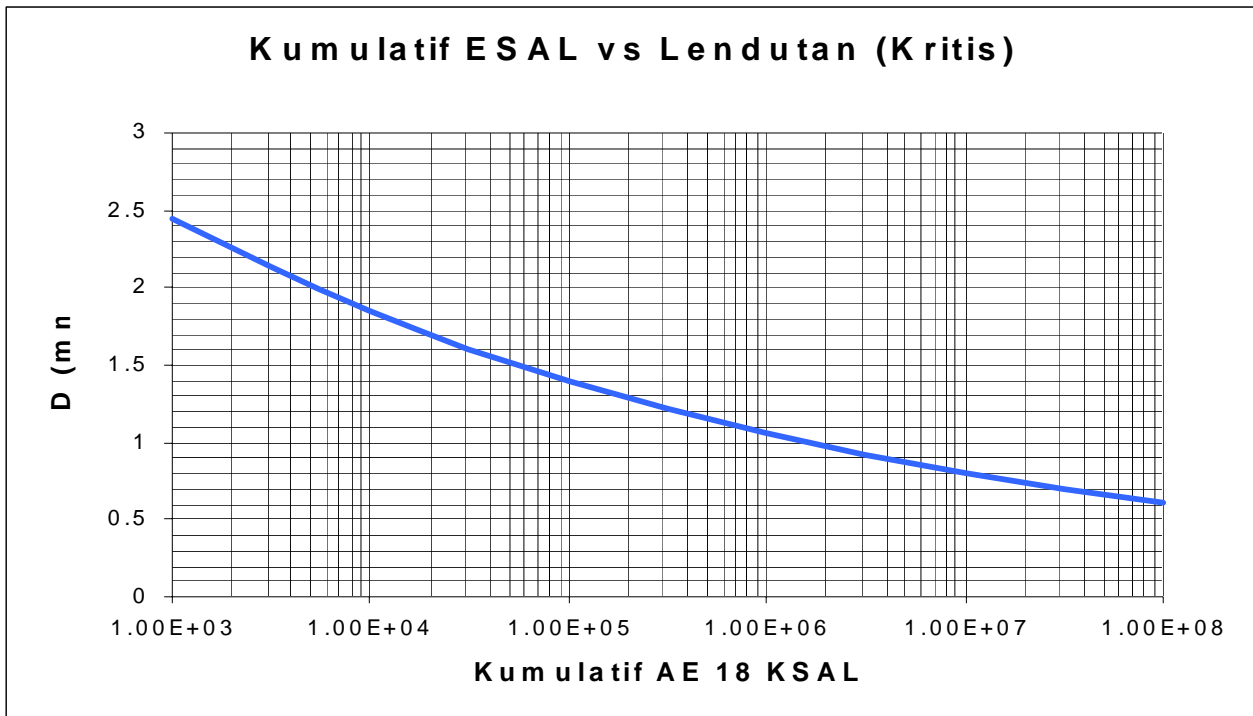
Analisis lendutan menghasilkan bahwa nilai lendutan yang mewakili (D_r) untuk arah A (Jakarta-Cikampek) adalah 1,6 kali atau 60 % lebih besar dari arah B (Cikampek-Jakarta), sedangkan nilai lendutan maksimum untuk arah A adalah 1,9 kali atau 90 % lebih besar dari arah B. Jadi dapat dikatakan bahwa nilai lendutan untuk arah A adalah jauh lebih besar bila dibandingkan dengan nilai lendutan untuk arah B.

4.2 Menentukan umur sisa perkerasan

Berdasarkan Metoda Bina Marga, Umur Sisa perkerasan dihitung memakai nilai kumulatif ESAL aktual pada tahun pengamatan (1999), yaitu sebesar $1,38 \times 10^7$ ESAL/jalur untuk arah A dan $1,23 \times 10^7$ ESAL/jalur untuk arah B. Menggunakan nilai tersebut dan kurva lendutan ijin (lihat Gambar 2), maka diperoleh nilai lendutan yang diijinkan (δ_i) yaitu 0,775 mm untuk arah A (Jakarta-Cikampek) dan 0,786 mm untuk arah B (Cikampek-Jakarta).

Tabel 7. Perhitungan lendutan yang mewakili (D_r)

	(mm)	S_d	D_r (mm)
Arah A	0,678	0,172	1,022
Arah B	0,499	0,070	0,639



Gambar 2. Kurva lendutan ijin kritis (Metoda Bina Marga)

Analisis lendutan menghasilkan bahwa dalam arah A (Jakarta-Cikampek) terdapat 8 titik yang mempunyai umur sisa lebih kecil dari 1 tahun ($US < 1$ tahun), sehingga perlu penanganan khusus, misalnya melakukan “core test” untuk mengetahui jenis kerusakannya. Terdapat pula 18 titik yang mempunyai umur sisa lebih besar dari 1 tahun tapi lebih kecil dari 10 tahun ($1 \text{ tahun} < US < 10 \text{ tahun}$), yang berarti bahwa kekuatan struktur perkerasan tersebut sudah berkurang. Sedangkan 10 titik lainnya mempunyai umur sisa lebih besar dari 10 tahun tetapi lebih kecil dari 20 tahun ($10 \text{ tahun} < US < 20 \text{ tahun}$), yang berarti strukturnya masih cukup kuat, pada saat penelitian dilakukan.

Nilai lendutan terbesar untuk arah A (1,434 mm) memberikan nilai umur sisa hanya 0,20 tahun, sedangkan umur sisa rata-rata untuk ruas jalan yang diamati adalah 5 tahun. Jadi untuk arah A (Jakarta-Cikampek) kondisi perkerasannya sangat bervariasi, tetapi terbukti bahwa umur rencana perkerasan dicapai pada sekitar 70% dari total ruas jalan. Sehingga perlu segera diadakan dilakukan perbaikan (overlay) untuk meningkatkan kekuatan struktur perkerasan, khususnya pada titik-titik kritis tersebut.

Untuk arah B (Cikampek-Jakarta), semua titik pengamatan mempunyai umur sisa perkerasan yang lebih besar dari 10 tahun tetapi lebih kecil dari 20

tahun ($10 \text{ tahun} < US < 20 \text{ tahun}$). Maka apabila dilihat dari hasil pengamatan ini, kondisi struktur perkerasan dalam arah B bisa dikatakan masih lebih baik, bila dibandingkan terhadap arah A.

4.3 Menentukan lapisan tambahan (Overlay)

Tebal overlay ditentukan berdasarkan nilai lendutan balik yang mewakili (D_r), nilai lendutan maksimum (d_{max}) dan nilai lendutan yang diijinkan, menggunakan Manual Bina Marga (Bina Marga, 1983). Hasil perhitungan tebal overlay berdasarkan nilai lendutan D_r untuk masing-masing arah, ditunjukkan dalam tabel berikut ini.

Tabel 8. Perhitungan umur sisa perkerasan

	US < 1 thn	1 thn < US < 10 thn	10 thn < US < 20 thn	US > 20 thn
Arah A	8 titik	18 titik	10 titik	Tidak ada
Arah B	Tidak ada	Tidak ada	Semua titik	Tidak ada

Tabel 9. Perhitungan tebal overlay

	(mm)	Sd	Dr (mm)	ToV (cm)
Arah A	0,678	0,172	1,022	3,00
Arah B	0,499	0,070	0,639	3,00

Terlihat bahwa tebal *overlay* untuk arah A (Jakarta-Cikampek) maupun arah B (Cikampek-Jakarta), kedua nilai lendutan memberikan nilai yang sama (tebal *overlay* minimum) yaitu 3,0 cm. Tetapi bila dihitung memakai nilai lendutan maksimum, akan memberikan tebal *overlay* yang berbeda, yaitu 7,0 cm untuk arah A dan 3,0 cm untuk arah B. Sehingga bila ditinjau dari faktor keamanan sebaiknya dipilih nilai yang lebih tinggi yaitu 7,0 cm untuk arah A (Jakarta-Cikampek) dan 3,0 cm untuk arah B (Cikampek-Jakarta).

5. Analisis Lendutan Menggunakan Program ELMOD

5.1 Menentukan modulus elastis (*Stiffness Modulus*)

Analisis menggunakan program komputer ELMOD memberikan hasil bahwa tidak semua titik pengamatan dalam kondisi kritis, yaitu kondisi dimana nilai modulus elastis pada lapisan permukaan perkerasan lebih kecil dari 10000 MPa ($E_1 < 10000$ MPa), yang mengindikasikan bahwa umur sisa perkerasan lebih kecil dari 20 tahun (Sugeng., B.S., 1994)

Hasil keluaran program ELMOD tersebut (lihat tabel 10) menunjukkan bahwa untuk arah A terdapat 13 titik yang mempunyai nilai modulus elastis lapis permukaan lebih kecil dari 10000 MPa ($E_1 < 10000$ MPa). Juga terdapat 1 titik pengamatan, yaitu titik pada sta.50+794, yang mempunyai kondisi perkerasan dimana : $E_1 = 8799$ MPa < 10000 MPa, $E_2 = 79$ MPa < 100 MPa, $E_3 = 48$ MPa < 50 MPa, dan $E_4 = 172$ MPa. Nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa lapis pondasi atas (*base course*) dan lapis pondasi bawah (*subbase course*) kondisinya cukup lemah, sedangkan kondisi lapisan tanah dasar (*subgrade*) adalah normal. Untuk arah B terdapat 8 titik yang mempunyai nilai modulus elastis lapis permukaan yang lebih kecil dari 10000 MPa ($E_1 < 10000$ MPa).

5.2 Menentukan umur sisa perkerasan

Umur sisa perkerasan (*residual life*) ditentukan oleh sisa umur *Fatigue* atau umur *Permanent Deformation* akibat akumulasi beban as dari masing-masing jenis beban sumbu ekuivalen yang lewat. Semakin kecil umur sisa perkerasan maka kondisi perkerasan akan semakin kritis, bahkan mendekati keruntuhan (*failure*), baik keruntuhan struktural ataupun keruntuhan fungsional dari struktur perkerasan.

Dalam arah A (Jakarta-Cikampek) (lihat Tabel 10) semua nilai kritis dari modulus E_1 memberikan umur sisa yang lebih kecil dari 20 tahun ($US < 20$ tahun), kecuali 2 titik pengamatan, yaitu Sta. 53+800 dan 54+000, dimana nilai modulus $E_1 \sim 10000$ Mpa, tetapi mempunyai umur sisa 13 tahun ($US < 20$ tahun), yang berarti bahwa kondisi perkerasan pada titik tersebut sudah menurun. Diantara 15 titik yang umur sisanya lebih kecil dari 20 tahun ($US < 20$ tahun) terdapat 2 (dua) titik, yaitu Sta.51+600 dan Sta.52+400, yang tidak mempunyai umur sisa lagi ($US = 0$ tahun) dan 1 (satu) titik, yaitu Sta.51+200, yang umur sisanya adalah 1 tahun ($US = 1$ tahun), yang berarti bahwa 3 (tiga) titik tersebut berada dalam kondisi sangat kritis sehingga perlu perhatian khusus dan penanganan secepatnya. Sedangkan 10 (sepuluh) titik lainnya mempunyai umur sisa antara 1 tahun sampai dengan 10 tahun ($1 \text{ tahun} < US < 10 \text{ tahun}$).

Untuk arah B (Cikampek-Jakarta) semua titik pengamatan mempunyai umur sisa perkerasan lebih besar dari 20 tahun ($US > 20$ tahun), termasuk titik dimana nilai modulus E_1 -nya lebih kecil dari 10000 Mpa. Hal ini berarti semua titik pengamatan dalam arah ini, kondisi perkerasannya masih baik dan belum memerlukan perbaikan dalam waktu dekat.

5.3 Menentukan tebal lapisan tambahan (*Overlay*)

Setelah nilai Modulus Elastis (*Stiffness Modulus*) setiap lapis perkerasan diperoleh, maka nilai tegangan atau regangan kritis yang terjadi dapat dihitung berdasarkan beban sumbu ekuivalen, menggunakan program komputer ELMOD, yang mengacu pada prinsip Metoda Tebal Ekuivalen dari Odemark (Ullidtz, P., 1987) dan perhitungan tegangan-regangan memakai persamaan Boussinesq (Sugeng, B., 1994).

Hasil perhitungan (lihat Tabel 10) menunjukkan bahwa untuk arah A (Jakarta-Cikampek) terdapat 11 titik yang membutuhkan lapis tambahan (*overlay*), diantaranya terdapat 2 (dua) titik, yaitu Sta.51+600 dan Sta.52+400, yang memerlukan lapis tambahan (*overlay*) yang terbesar yaitu 67,0 mm dan 72,0 mm, karena kedua titik ini tidak mempunyai umur sisa perkerasan ($US = 0$ tahun). Berikutnya 1(satu) titik, pada Sta.51+200, dengan nilai umur sisa perkerasannya 1 tahun ($US = 1$ tahun), membutuhkan tebal lapis tambahan (*overlay*) sebesar 50,0 mm. Sedangkan untuk arah B (Cikampek-Jakarta), semua titik pengamatan tidak membutuhkan lapisan tambahan (*overlay*), dimana hal ini dapat juga dilihat berdasarkan nilai umur sisa perkerasan yang lebih besar dari 20 tahun ($US > 20$ tahun).

Tabel 10. Anisis umur sisa dan tebal overlay (program ELMOD) untuk arah A (Cikampek - Jakarta)

No	Sta	E1 (Mpa)	E2 (Mpa)	E3 (Mpa)	E4 (Mpa)	Umur Sisa (tahun)	Overlay (mm)
1	47,000	5008	280	169	97	4	6.00
2	47,200	35630	267	161	128	>20	0.00
3	47,400	18190	384	232	130	>20	0.00
4	47,600	5375	204	123	126	3	19.00
5	47,800	11650	534	322	167	>20	0.00
6	48,000	41420	152	92	100	>20	0.00
7	48,200	16781	528	319	120	>20	0.00
8	48,400	10669	324	196	170	>20	0.00
9	48,600	5631	361	218	134	10	0.00
10	48,800	3725	432	261	116	4	4.00
11	49,000	15375	280	169	127	>20	0.00
12	49,200	18665	377	227	149	>20	0.00
13	49,400	20025	383	231	154	>20	0.00
14	49,600	6640	234	141	149	4	0.00
15	49,800	13931	365	220	165	>20	0.00
16	50,000	20845	461	278	168	>20	0.00
17	50,200	19794	368	222	144	>20	0.00
18	50,400	5406	210	127	154	3	17.00
19	50,600	11612	284	171	175	>20	0.00
20	50,794	8799	79	48	172	2	27.00
21	51,000	19451	690	417	233	>20	0.00
22	51,200	2437	462	279	264	1	50.00
23	51,400	31727	329	199	173	>20	0.00
24	51,600	3170	272	164	158	0	67.00
25	51,800	6590	174	105	136	2	32.00
26	52,000	13826	354	220	138	>20	0.00
27	52,200	16699	252	152	159	>20	0.00
28	52,400	2689	304	184	154	0	72.00
29	52,600	20003	1776	1072	198	>20	0.00
30	52,800	23251	300	181	127	>20	0.00
31	53,000	7180	144	87	138	2	36.00
32	53,200	4510	471	284	138	4	3.00
33	53,400	20000	112	68	149	>20	0.00
34	53,600	21866	200	121	176	>20	0.00
35	53,800	11271	205	124	197	13	0.00
36	54,000	10337	241	145	184	13	0.00

6. Perbandingan Metoda Bina Marga dengan Program ELMOD

Secara umum, program ELMOD memberikan hasil yang lebih bervariasi, baik dalam menentukan umur sisa maupun menghitung tebal *overlay*, juga lebih akurat dalam menentukan titik-titik mana saja yang kondisinya sudah kritis, sehingga memerlukan penanganan khusus. Sedangkan metoda Bina Marga memberikan hasil yang lebih “merata” untuk semua titik pengamatan, walaupun dapat ditemui juga beberapa titik yang kondisinya perlu penanganan segera. Dalam perhitungan tebal *overlay*, program ELMOD memberikan tebal yang bervariasi untuk arah A, dan untuk arah B tidak memerlukan *overlay*. Sedangkan metoda Bina Marga menghasilkan tebal *overlay* 7,00 cm untuk arah A, karena dihitung memakai lendutan maksimum, dan memberikan tebal *overlay* minimum 3,00 cm untuk arah B, karena umur sisanya berkisar antara 10 ã 20 tahun.

7. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

1. Terdapat perbedaan nilai Faktor Truk Rata-rata, yang digunakan dalam perencanaan awal, yang dihitung menggunakan beban standar Bina Marga, dan yang diperoleh dari hasil survey W.I.M., yaitu :
 - a. Berdasarkan desain perkerasan jalan tol Jakarta-Cikampek yang dilakukan oleh konsultan perencana, Faktor Truk desain adalah 0,70.
 - b. Berdasarkan perhitungan Angka Ekuivalen dari berbagai jenis kendaraan berdasarkan beban standar Bina Marga, diperoleh nilai Faktor Truk rata-rata adalah 1,38.
 - c. Berdasarkan pengukuran memakai alat WIM, yang dilakukan pada tahun 1992 diperoleh nilai Faktor Truk rata-rata adalah 1,86 untuk arah A (Jakarta-Cikampek) dan 4,01 untuk arah B (Cikampek-Jakarta).
- Hal ini berarti bahwa Faktor Truk desain, yang dipergunakan dalam perencanaan awal adalah “*under estimated*”, dimana hal ini disebabkan oleh tingginya persentase dari kendaraan berat yang melewati jalan tol tersebut, dan juga disebabkan oleh “*overloading*”, yang terjadi terutama dalam arah A (Jakarta kearah Cikampek).
2. Nilai kumulatif ESAL aktual yang dihitung pada akhir tahun 1995 : $5,15 \times 10^6$ ESAL/jalur untuk

arah A dan $4,63 \times 10^6$ ESAL/jalur untuk arah B, sudah mendekati atau bahkan melebihi nilai kumulatif ESAL desain ($4,95 \times 10^6$) untuk umur rencana 20 tahun, yang berarti bahwa umur rencana dari struktur perkerasan tersebut dicapai hanya dalam waktu 5 (lima) tahun saja, dibandingkan dengan umur rencana semula yaitu 20 tahun.

3. Analisis terhadap nilai Modulus Elastis (*Stiffness Modulus*) yang dihasilkan oleh program ELMOD berdasarkan pengukuran lendutan memakai alat FWD adalah sebagai berikut :
 - a. Pada arah A (Jakarta-Cikampek) 36% dari seluruh titik pengamatan mempunyai nilai Modulus lapis permukaan lebih kecil dari 10000 MPa ($E_1 < 10000$ MPa).
 - b. Pada arah B (Cikampek-Jakarta) 20% dari seluruh titik pengamatan mempunyai nilai Modulus lapis permukaan lebih kecil dari 10000 MPa ($E_1 < 10000$ MPa).
 - c. Nilai rata-rata *Stiffness Modulus* untuk arah A adalah: 5166 MPa pada kondisi kritis dan 19266 MPa pada kondisi non-kritis, dan untuk arah B adalah 6733 MPa pada kondisi kritis dan 20370 MPa pada kondisi non-kritis. Analisis umur sisa perkerasan yang dihasilkan dari metoda Bina Marga adalah : 70% dari titik pengamatan mempunyai umur sisa lebih kecil dari 10 tahun (US<10 tahun) untuk arah A (Jakarta-Cikampek). Sedangkan untuk arah B (Cikampek-Jakarta), semua titik pengamatan mempunyai umur sisa lebih besar dari 10 tahun (US > 10 tahun).
4. Perhitungan tebal lapisan tambahan (*overlay*) berdasarkan metoda Bina Marga dan program komputer ELMOD memberikan hasil sebagai berikut :
 - a. Analisis dengan metoda Bina Marga menghasilkan tebal *overlay* yang diperlukan : adalah 7,0 cm untuk arah A (Jakarta-Cikampek) dan 3,0 cm untuk arah B (Cikampek-Jakarta), yang dihitung berdasarkan nilai lendutan maksimum.
 - b. Analisis dengan program komputer ELMOD menghasilkan tebal *overlay* yang diperlukan adalah 7,20 cm untuk arah A (Jakarta-Cikampek), yang dihitung pada titik-titik pengamatan yang sudah tidak mempunyai umur sisa (US=0 tahun). Sedangkan untuk arah B (Cikampek-Jakarta), semua titik pengamatan tidak memerlukan lapis *overlay*, karena umur sisa lebih besar dari 20 tahun (US>20 tahun).

5. Secara umum, hasil penelitian ini merekomendasikan bahwa perlu segera dilaksanakan perbaikan struktur perkerasan *eksisting*, terutama untuk arah Jakarta-Cikampek, yang didasarkan oleh hasil pengukuran lendutan pada tahun 1999. Walaupun *overlay* telah dilaksanakan pada tahun 1995, tetapi hasil analisis lendutan menunjukkan bahwa umur sisa untuk arah A adalah relatif kecil dan diperlukan penambahan tebal *overlay*.

Daftar Pustaka

- Bina Marga, 1993, “*Manual Pemeriksaan Perkerasan Jalan dengan Alat Benkelman Beam*”, No. 01/MN/B/1983, Jakarta, Indonesia.
- Nefiadi, E.N., 1990, “*Comparison of Pavement Structural Characteristic as Determined Using Benkelman Beam and FWD*”, Thesis Program Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Nurwaida, I.W., 2002, “*Analisis Tebal Lapisan Tambahan (Overlay) dan Umur Sisa Perkerasan menggunakan Program Komputer ELMOD*”, Thesis Program Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Sugeng, B.S., 1994, “*Analisa Layer Modulus Perkerasan Lentur menggunakan Alat Falling Weight Deflectometer dan Program Komputer MODCALC*”, Laporan Penelitian OPF-ITB, No. 13195094, Lembaga Penelitian ITB, Bandung.
- Ullidtz, P., 1987, “*Pavement Analysis*”; Development in Civil Engineering, Vol.19, Amsterdam, Netherland.