

Pemodelan Kinerja Perkerasan Jalan Berbasis Sistem Dinamik

Sutanto Soebodho dan Edy Hadian
Centre for Transport Studies
Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering
University of Indonesia

Abstrak

Makalah ini mencoba memaparkan pendekatan dalam menganalisa dan memprediksikan kondisi perkerasan dengan menitik beratkan pada analisa kondisi kerataan permukaan (*roughness*) serta kaitannya dengan tingkat kecepatan rata-rata kendaraan dan volume lalu-lintas. Ketiga komponen tersebut (*roughness*, kecepatan dan volume) saling terkait dan mempengaruhi satu sama lain secara dinamis. Dengan berbasis pada dinamika sistem dibuat suatu model matematis untuk evaluasi ketiga variabel terkait, serta dengan menggunakan perangkat lunak Powersim@. Analisa dimulai dengan analisa perubahan kembangan kondisi kerataan permukaan perkerasan kemudian dianalisa pengaruh kondisi permukaan perkerasan terhadap kecepatan rata-rata kendaraan. Perubahan kecepatan yang terjadi mempengaruhi volume kendaraan dan pada akhirnya dianalisa biaya operasi kendaraan. Pengaruh kecepatan terhadap volume dapat dinyatakan sebagai fungsi dari rasio kecepatan saat pengamatan dan kecepatan maksimum (saat indeks IRI = 0). Karena adanya kaitan yang saling berhubungan dalam satu rangkaian tertutup dan perubahan yang terjadi menurut waktu maka digunakan metodologi sistem dinamik. Dari pendekatan perilaku kinerja perkerasan ini maka perkiraan perkembangan kondisi perkerasan akan lebih mudah dianalisa dan keluaran yang dihasilkan dapat membantu memberikan masukan dalam pengambilan keputusan.

Abstract

This paper deals with the development of evaluation model for pavement management with emphasis on the interrelation of pavement roughness to other influencing variables, namely average speed and traffic volume. As can be expected that those three components are inter-acting one with another in discrete or instant time, so it is inevitably that a dynamic approach of analysis is new paradigm should be introduced to achieve better analysis on pavement performance. The three components are convertible and a clear indicator of economic value is easily derived from. It is then the aim of the research to represent the indicator in terms of vehicle operating cost through which more eminent rational of costing the maintenance would directly be related to the engineering analysis. The model is applicably implicate in the simulation model, and actively performed in the simulation software called Powersim@. Results of simulation are quite promising for any decision making or policy making within the context of pavement management since it deals with financial consideration. It is expected further that the model can be used to define and test various design parameters within the pavement construction and maintenance.

1. Pendahuluan

Perkerasan merupakan bagian dari jalan yang terdiri atas lapisan-lapisan yang berada diatas subgrade, yang berfungsi sebagai penyebar gaya yang terjadi akibat beban lalu lintas diatasnya. Dalam perkembangannya, perkerasan juga dituntut mampu memberikan kenyamanan, kemudahan dan keselamatan bagi pengguna jalan.

Kondisi perkerasan berubah sejalan dengan waktu, selama usia pelayanan yang direncanakan. Untuk memenuhi fungsinya maka perlu dilakukan evaluasi terhadap perkerasan. Salah satu kegiatan evaluasi yang dilakukan ialah evaluasi tingkat pelayanan perkerasan (*serviceability*). Tingkat pelayanan suatu perkerasan sebagian besar merupakan fungsi dari tingkat kerataan permukaan (*Roughness*), sedangkan kerataan permukaan perkerasan (*Pavement Surface Roughness*) sendiri

dipengaruhi oleh profil permukaan jalan, karakteristik kendaraan, pola ban kendaraan, suspensi kendaraan, kecepatan, iklim dan lain-lain.

Guna mengetahui kondisi tersebut diatas maka dilakukan pengawasan dan pengukuran yang rutin. Dari pengawasan tersebut bisa diperoleh suatu gambaran mengenai pola perkembangan tingkat kerusakan pada permukaan dan pada akhirnya dapat disusun suatu formula yang dapat memprediksi dan memperkirakan kondisi permukaan perkerasan. Pada kenyataannya dilapangan sangatlah sulit melakukan pengawasan dan pengukuran kondisi kerataan permukaan perkerasan secara baik dan terus menerus, khususnya di Indonesia. Hal ini disebabkan mahalnya biaya yang harus dikeluarkan untuk satu rangkaian pengamatan atau pengukuran serta belum tersedianya tenaga dan sarana penunjang yang cukup. Maksud penulisan karya tulis ini adalah membuat suatu model pendekatan hubungan antara lalu-lintas, material perkerasan yang digunakan serta pengaruh perkembangan dan tipe kendaraan terhadap kondisi perkerasan. Pada akhirnya *output* yang dihasilkan dapat membantu sebagai masukan dalam pengambilan keputusan.

Sedangkan tujuan dari karya tulis ini adalah:

- ✓ Mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi kondisi permukaan jalan khususnya tingkat kerataannya (*roughness*).
- ✓ Mengetahui hubungan antar komponen terkait dan perubahan yang terjadi akibat adanya perubahan pada salah satu atau sebagian komponen terkait.
- ✓ Membuat suatu model simulasi yang dapat memperkirakan perilaku perkerasan serta kaitannya dengan lalu-lintas (kecepatan dan volume) dengan alat bantu perangkat lunak (*software*) Powersim.

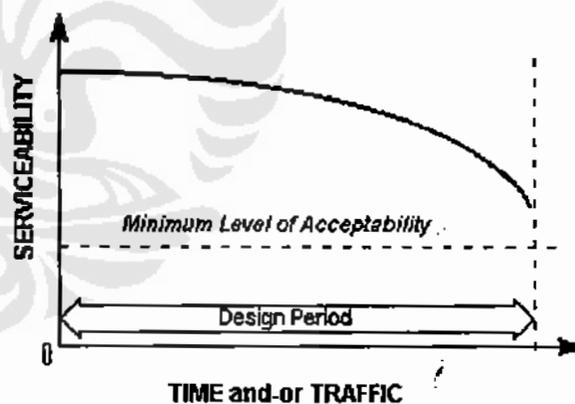
Cakupan bahasan yang akan disajikan dalam karya tulis ini meliputi analisa dan perhitungan perkiraan kondisi kerataan permukaan serta kaitannya dengan volume

kendaraan pada kasus perkerasan lentur (*flexible pavement*) pada ruas jalan tol (jalan bebas hambatan) dengan medan atau alinyemen jalan datar tanpa adanya kegiatan penambahan lapisan baru (*overlay*) pada pemeliharannya serta tidak tercapainya kondisi penuaan (*aging*) pada perkerasan.

2. Teori Umum

2.1. Konsep umum evaluasi tingkat pelayanan perkerasan

Evaluasi tingkat pelayanan perkerasan (*pavement serviceability-performance*) meliputi kegiatan pengamatan perilaku perkerasan secara keseluruhan. Untuk menganalisa hal tersebut perlu dilakukan pencatatan kondisi atau kualitas permukaan perkerasan serta jumlah kendaraan yang melintasinya setiap kali dilakukan pengamatan. Informasi tersebut dapat dituangkan dalam bentuk grafik seperti tertera pada Gambar 1.)



Gambar 1. Grafik tingkat pelayanan perkerasan *)

*) Sumber : Subdit Teknis Jalan, Ditjen Pengembangan Perkotaan, DEPKIMBANGWIL RI

Dari grafik terlihat adanya penurunan dari tahun awal pengoperasian ke tahun berikutnya. Untuk menjaga agar kondisi perkerasan tetap dapat memenuhi fungsinya dengan baik maka harus dilakukan kegiatan perbaikan dan pemeliharaan.

Tingkat pelayanan perkerasan (*pavement serviceability*) sebagian besar merupakan fungsi dari kerataan permukaan perkerasan (*roughness*). Dari hasil studi yang dilakukan oleh AASHO diperoleh keterangan bahwa 95% informasi mengenai tingkat pelayanan perkerasan dikontribusi oleh kondisi kerataan pada permukaan perkerasan dan sekitar 5% dipengaruhi oleh faktor lainnya

Standar satuan pengukuran kerataan permukaan perkerasan yang ada saat ini diantaranya *Present Serviceability Index* (PSI), *Riding Comfort Index* (RCI) dan *International Roughness Index* (IRI). Nilai kondisi permukaan perkerasan yang baik untuk standar nilai IRI bernilai 0 dan untuk kondisi paling buruk bernilai ≥ 16 (lihat tabel 1). Hubungan IRI dan PSI (Sylvia Sukirman, 1992) dapat diformulasikan dalam bentuk berikut:

$$PSI = 5.e^{(-0.0501 IRI^{1.220920})} \quad (1)$$

Perubahan kondisi IRI seiring berjalannya waktu dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$IRI_t = 1,04.e^{0,0235 * [IRI_0 + (263 * (1 + SN)^{-5} * ESA_t)]} \quad (2)$$

dimana :

- IRI_t = IRI pada tahun analisa
- IRI₀ = IRI pada tahun sebelumnya
- SN = Structural Number
- ESA_t = ESA pada tahun analisa (tahun).

2.2. Pembebanan lalu-lintas

Lalu-lintas merupakan faktor penting dalam disain suatu perkerasan. Yang harus diperhatikan adalah pola dan konfigurasi pembebanan kendaraan pada perkerasan.

Dalam makalah ini dilakukan pendekatan dengan menggunakan metode *fixed vehicle* dimana tebal perkerasan dianalisa berdasarkan jumlah repetisi pembebanan standar *single-axle load*, biasanya 18-Kip (80-kN). Jika beban gardan tunggal bukan 18-Kip atau terdiri dari dua atau tiga sumbu gardan maka dilakukan konversi ke beban gardan tunggal 18-Kip EALF (*Equivalent Axle Load Factor*).

EALF didefinisikan sebagai besarnya pengaruh (kerusakan) yang terjadi pada perkerasan relatif terhadap pengaruh yang terjadi akibat beban gardan standar. Dalam disain yang digunakan adalah total jumlah beban gardan standar yang melintas selama waktu disain atau rencana. Besarnya nilai tersebut didefinisikan sebagai *Equivalent Single-Axle Load* (ESAL) yang dapat dinyatakan sebagai berikut (Yang Hsien Huang, 1993):

$$ESAL = \sum_{i=1}^m F_i . n_i \quad (3)$$

m merupakan jumlah kelompok beban gardan, F_i merupakan nilai EALF untuk kelompok beban gardan ke-i, dan n adalah jumlah lintasan beban selama waktu analisa atau usia rencana. Nilai EALF sangat tergantung pada tipe perkerasan, ketebalan atau kapasitas struktur perkerasan dan batas toleransi atau kondisi batas dimana struktur perkerasan dinyatakan rusak (*failed*). Sebagian besar harga EALF yang ada merupakan hasil suatu eksperimen atau pengamatan. Salah satu yang banyak digunakan ialah persamaan empiris yang dikembangkan oleh AASHO (AASHO, 1972). Nilai EALF secara empiris dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$EALF = \frac{W_{18}}{W_x} \quad (4)$$

Dari regresi data hasil test didapat:

$$\log \left(\frac{W_x}{W_{18}} \right) = 4.79 \log(18+1) - 4.79 \log(L_x + L_2) + 4.33 \log L_2 + \frac{G_t}{\beta_x} - \frac{G_t}{\beta_{18}} \quad (5a)$$

$$G_t = \log \left(\frac{4.2 - p_t}{4.2 - 1.5} \right) \quad (5b)$$

$$\beta_x = 0.40 + \frac{0.081(L_x + L_2)^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19} L_2^{3.23}} \quad (5c)$$

dimana:

- W_{α} = Jumlah pembebanan selama t.
- W_{118} = Jumlah pembebanan standar selama t.
- L_x = Beban dalam kip untuk satu pola beban tunggal, satu set pola beban ganda, atau satu set pola beban tiga sumbu.
- L_2 = Kode untuk masing-masing

- sumbu. 1 untuk single axle, 2 untuk tandem axle dan 3 untuk tridem axle
- SN = Structure Number.
- Pt = Kondisi batas nilai dimana menandakan perkerasan dinyatakan rusak atau butuh perbaikan (PSI)
- β_{18} = Nilai β_x untuk $L_x = 18$ dan $L_2 = 1$.

Tabel 1. International Roughness Index *)

IRI	Kondisi permukaan Secara Visual
0-3	Sangat rata dan teratur
3-4	Sangat baik dan umumnya rata
4-6	Baik
6-8	Sedikit atau tidak ada lubang namun permukaan tidak rata.
8-10	Ada lubang jelek, permukaan tidak rata.
10-12	Rusak, bergelombang, banyak lubang.
12-16	Rusak berat, banyak lubang dan seluruh daerah perkerasan hancur.
>16	Tidak bisa dilalui kecuali kendaraan 4WD

2.3. Ekuivalensi mobil penumpang sebagai fungsi tipe jalan, tipe medan dan arus

Ekuivalensi kendaraan penumpang (emp) untuk kendaraan menengah berat (KMB), bus besar (LB), truk besar termasuk truk kombinasi (LT) sebagai fungsi dari tipe

jalan, tipe medan dan arus lalu-lintas dapat dilihat pada tabel 2 a, 2b, dan 2c dibawah ini (MKJI, 1997). Kendaraan ringan (LV) nilai emp selalu 1 (satu). Nilai yang diambil merupakan hasil interpolasi untuk arus lalu-lintasnya.

Tabel 2a. Jalan Bebas Hambatan Tidak Terbagi Dua Arah Dua-Lajur

Tipe Alinyemen	Total arus kend/jam	Emp		
		MHV	LB	LT
- Datar	0	1.2	1.2	1.8
	900	1.8	1.8	2.7
	1450	1.5	1.6	2.5
	≥2100	1.5	1.5	2.5

*) Sumber : Subdit Teknis Jalan, Ditjen Pengembangan Perkotaan, DEPKIMBANGWIL RI

Tabel 2b. Jalan Bebas Hambatan Terbagi Dua-Arah Empat-Lajur

Tipe Alinyemen	Total arus Kend/jam	Emp		
		MHV	LB	LT
- Datar	0	1.2	1.2	1.6
	1250	1.4	1.4	2.0
	2250	1.6	1.7	2.5
	≥2100	1.3	1.5	2.0

Tabel 2c. Jalan Bebas Hambatan Terbagi Dua-Arah Enam-Lajur

Tipe Alinyemen	Total arus Kend/jam	Emp		
		MHV	LB	LT
- Datar	0	1.2	1.2	1.6
	1900	1.4	1.4	2.0
	3400	1.6	1.7	2.5
	≥4150	1.3	1.5	2.0

2.4. Analisa Kapasitas

MKJI memformulasikan kapasitas sebagai berikut:

$$C = C_0 \times FC_w \times FC_{sp} \quad (6)$$

dimana :

- C = Kapasitas
- C₀ = Kapasitas dasar

FC_w = Faktor penyesuaian akibat lebar jalur lalu-lintas

FC_{sp} = Faktor penyesuaian akibat pemisahan arah (jalan bebas hambatan tak terbagi)

Nilai kapasitas dasar dapat diperoleh dari tabel 3a dan tabel 3b dibawah ini.

Tabel 3a. Kapasitas Dasar Jalan Bebas Hambatan Terbagi

Tipe jalan bebas hambatan/ Tipe Alinyemen	Kapasitas Dasar (smp/jam/lajur)
Empat dan enam lajur terbagi :	
- Datar	2300
- Bukit	2250
- Gunung	2150

Tabel 3b. Kapasitas Dasar Jalan Bebas Hambatan Tidak Terbagi

Tipe jalan bebas hambatan/ Tipe Alinyemen	Kapasitas Dasar (smp/jam/lajur)
Dua lajur tak terbagi :	
- Datar	3400
- Bukit	3300
- Gunung	3200

Kapasitas dasar untuk jalan bebas hambatan dengan lebih dari enam lajur (berlajur banyak) dapat ditentukan dengan menggunakan kapasitas perlajur yang diberikan dalam tabel diatas, meskipun lajur yang bersangkutan tidak dengan lebar standar karena akan terkoreksi oleh FC_w. Nilai FC_w dapat dilihat pada tabel 4.

Faktor penyesuaian kapasitas jalan dengan lebih dari enam lajur dapat ditentukan dengan menggunakan nilai perlajur yang diberikan untuk jalan bebas hambatan empat dan enam-lajur pada tabel diatas. Nilai FC_{sp} dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 4. Faktor Penyesuaian Kapasitas Akibat Lebar Jalur Lalu-lintas

Tipe Jalan Bebas Hambatan	Lebar Efektif Jalur Lalu-lintas (m)	FC _w
Empat-lajur terbagi Enam-lajur terbagi	Per-lajur	
	3.25	0.96
	3.50	1.00
	3.75	1.03
Dua lajur tak terbagi	Total kedua arah	
	6.5	0.96
	7	1.00
	7.5	1.04

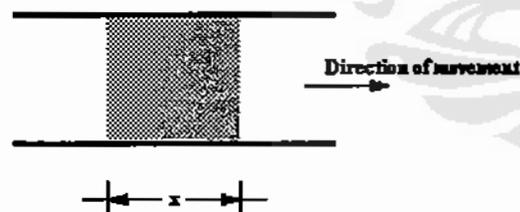
Tabel 5. Faktor Penyesuaian Kapasitas Akibat Pemisahan Arah (FC_w)

Pemisahan arah SP %-%		50-50	55-45	60-40	65-35	70-30
FC _{sp}	Jalan bebas hambatan tak terbagi	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88

2.5. Pengaruh kondisi perkerasan terhadap kecepatan rata-rata kendaraan

Kondisi permukaan perkerasan akan mempengaruhi kecepatan rata-rata yang dapat dicapai oleh kendaraan yang melewati jalan tersebut. Pendekatan untuk kondisi ini dapat diperoleh dengan menggunakan grafik Mc Farland (McFarland, 1978).

Tinjau gambar 3 dibawah ini:



Gambar 3. Ruas Jalan Sepanjang x

Suatu ruas jalan sepanjang x meter dilalui sejumlah kendaraan (n) dalam jangka waktu tertentu (T). Volume rata-rata kendaraan dapat dinyatakan sebagai berikut (Martin Wohl, 1978):

$$\text{Volume rata-rata} = V = \frac{n}{T} \quad \text{dan,}$$

$$\text{Density} = D = n/x$$

Jumlah kendaraan yang melewati x (n)

dapat dihitung sebagai berikut: $\frac{\sum_{i=1}^n t_i}{T}$

t_i = waktu yang dibutuhkan untuk menempuh jarak x.

Kondisi tersebut dipenuhi oleh suatu kecepatan tertentu v_0 dimana kondisi permukaan perkerasan masih baik maka $t_i = x/v_0$, dan Jika dianggap kecepatan kendaraan sama (v_0) untuk T yang sama maka :

$$V_1 = \frac{n}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n x}{\frac{x}{v_0}} \right)} = \frac{n \cdot v_0}{x} \quad (7)$$

Jika v_1 menyatakan kecepatan dan V_1 adalah volume saat kondisi jalan baik (IRI=0), v_2 menyatakan kecepatan dan V_2 adalah volume saat kondisi perkerasan mengalami perubahan di tahun berikutnya (IRI≠0) maka perbandingan volume lalu-lintas saat kondisi IRI=0 dan IRI ≠0 adalah:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{v_1}{v_2} \quad (8a)$$

Jika kondisi permukaan tahun ke-n mengalami penurunan maka v_n akan semakin kecil sehingga volume harian kendaraan juga semakin kecil dibanding volume sebelumnya dan sebaliknya.

Persamaan (2.8a) dapat pula dinyatakan sebagai berikut :

$$V_2 = V_1 \cdot \frac{v_2}{v_1} \quad (8b)$$

Dengan melihat persamaan (2.6) dan persamaan (2.8b) diperoleh hubungan:

$$V_2 = \left(V_1 \frac{v_2}{v_1} \right)^{\frac{1}{2}} [1 + (1+r)^y] \quad (9)$$

dimana v_2/v_1 merupakan rasio perbandingan kecepatan tahun ke- $(n+1)$ dan tahun ke- n dimana kondisi permukaan pada tahun ke- n baik (IRI=0).

2.6. Structure Number

Secara analitis SN dinyatakan sebagai berikut:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 N_2 + a_3 D_3 N_3 \quad (10)$$

dimana :

SN = Structure Number

a_i = Structural Layer Coefficients, hubungan empiris antara SN dan ketebalan lapisan. (tabel 6)

D_i = Layer Thickness (inch).

N_i = Kondisi drainase, untuk kondisi yang baik bernilai 1.

2.7. Biaya Operasi Kendaraan (BOK)

Perhitungan BOK menurut formula Jasa Marga (1995) yaitu terdiri dari biaya bahan bakar (BBB), biaya pelumas/oli (BO), biaya ban (BB), biaya suku cadang (BSC), biaya pemeliharaan (BM) dengan rumus sebagai berikut:

$$BOK = BBB + BO + BB + BSC + BM \quad (11.a)$$

$$BBB = \frac{(0.05693 \times V^2 - 6.42593 \times V + 269.18576) \times HBB \times 0.2 \times L}{1000} \quad (11.b)$$

$$BO = \frac{(0.00037 \times V^2 - 0.0407 \times V + 2.20403) \times HO \times 0.2 \times L}{1000} \quad (11.c)$$

$$BB = \frac{(0.0008848 \times V - 0.0045333) \times HB \times 0.2 \times L}{1000} \quad (11.d)$$

$$BSC = \frac{(0.0000064 \times V + 0.0005567) \times HK \times 0.2 \times L}{1000} \quad (11.e)$$

$$BM = \frac{(0.00362 \times V + 0.36267) \times UM \times 0.2 \times L}{1000} \quad (11.f)$$

Tabel 6. Structural Layer Coefficients *)

Komponen Lapisan Perkerasan	Koefisien
Lapisan Permukaan (Surface Course)	
Roadmix (Stabilitas Rendah)	0.20
Plantmix (Stabilitas Tinggi)	0.44
Sand Asphalt	0.40
Lapisan Base (Base Course)	
Sandy Gravel	0.07
Crushed Stone	0.14
Cement-Treated (no soil-cement)	
Compressive strength at 7 days	
≥ 650 psi	0.23
400 psi – 650 psi	0.20
≤ 400 psi	0.15
Bituminous-Treated	
Coarse-Grade	0.34
Sand Asphalt	0.30
Lime-Treated	0.15 – 0.30
Lapisan Subbase (Subbase Course)	
Sandy Gravel	0.11
Sand or Sandy clay	0.05 – 0.10

*) AASHO Road Test Data, October 12, 1961

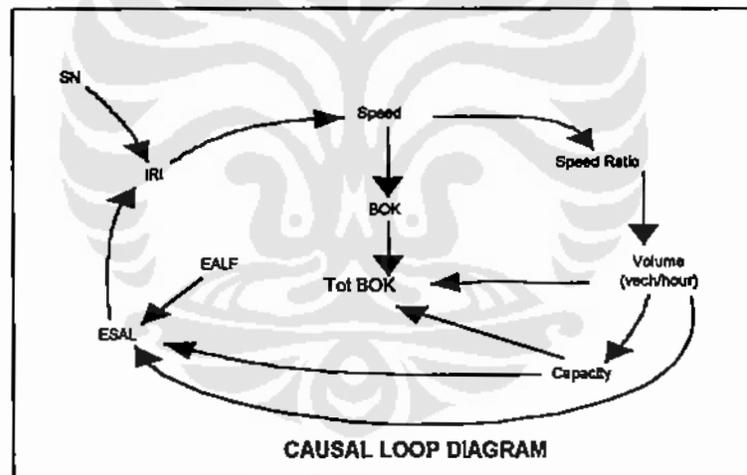
3. Pemodelan

Proses pembuatan sebuah model harus terlebih dahulu melalui suatu tahapan pengidentifikasian masalah yang akan dimodelkan. Pada tahap ini masalah dilihat secara menyeluruh dan dilakukan pembatasan-pembatasan agar masalah tersebut dapat lebih terarah. Selanjutnya dilakukan pemilihan formula-formula yang akan digunakan dan dilanjutkan dengan merancang modelnya.

Untuk memodelkan kondisi kekasaran pada permukaan perkerasan, masalah yang akan dimodelkan adalah keadaan atau kondisi perkerasan jalan yang karena beberapa faktor akan mengalami perubahan kondisi seiring bertambahnya waktu selama umur analisa dan akan diupayakan perbaikan atau perawatan jika telah mencapai kondisi batas toleransi. Selama

terjadi penurunan kondisi perkerasan akan mengakibatkan penurunan jumlah kendaraan yang akan melewati jalan tersebut. Dengan adanya perkembangan dan perubahan jumlah kendaraan yang melewati akan mempengaruhi kondisi permukaan perkerasan.

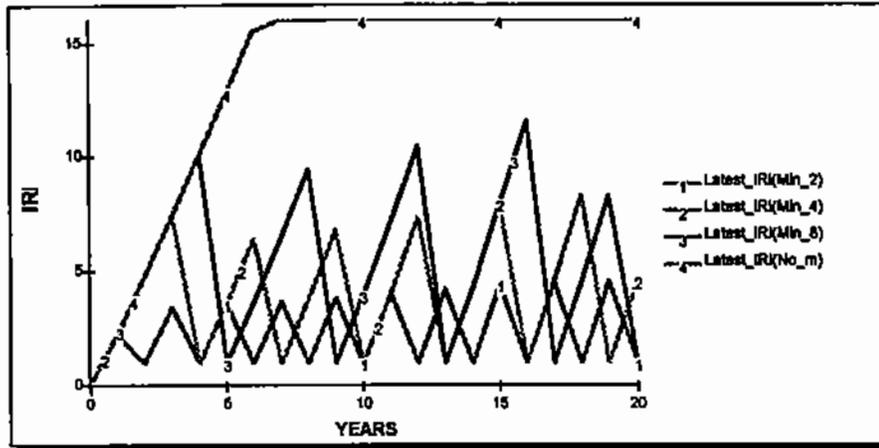
Setelah pengidentifikasian masalah maka modelisasi kondisi kekasaran pada permukaan perkerasan mulai disusun dan diterjemahkan dalam bentuk diagram alir. Sebagai gambaran, alur pemodelan dapat dilihat pada gambar diagram kausal pemodelan (gambar 4). Diagram ini memberikan gambaran secara umum kaitan dan hubungan pengaruh secara dinamik antar komponen utama model. Masing-masing komponen saling mempengaruhi satu sama lain meskipun hubungannya tidak secara langsung.



Gambar 4. Diagram Kausal Pemodelan

Nilai IRI dipengaruhi secara langsung oleh nilai IRI awal atau tahun sebelumnya, SN dan ESAL. Adanya perubahan nilai IRI mengakibatkan perubahan kecepatan rata-rata kendaraan (*speed*). Nilai *speed* mempengaruhi nilai biaya operasi satuan kendaraan standar. Perbandingan kecepatan pada tahun analisa dengan kecepatan pada kondisi IRI=0 (*speed ratio*) merupakan pendekatan pengaruh kondisi perkerasan terhadap volume kendaraan. Volume kendaraan memberi pengaruh terhadap total biaya operasi kendaraan dan perhitungan

ESAL. Sebagai pembatas volume kendaraan ialah kapasitas (*capacity*) dimana jumlah kendaraan tidak akan melebihi kapasitas jalan tersebut. EALF merupakan beban satuan untuk satu kelompok pembebanan kendaraan, sehingga perkalian volume dengan EALF merupakan nilai ESAL. Nilai ESAL ini pada akhirnya mempengaruhi nilai IRI. Rangkaian analisa perhitungan merupakan satu rangkaian tertutup sehingga jelas satu komponen akan tergantung dan mempengaruhi komponen lainnya.



Gambar 5. Grafik Simulasi Nilai IRI

4. Simulasi dan analisa

Untuk simulasi dicoba suatu data kondisi perkerasan dimana dalam perkembangan kondisinya diasumsikan tidak pernah dilakukan perbaikan berupa overlay dan hingga akhir analisa kondisi penuaan (*aging*) pada perkerasan tidak tercapai. Perbaikan dilakukan bila kondisi perkerasan telah melampaui batas ijin toleransi yang telah ditetapkan. Nilai awal IRI= 0, dan saat dilakukan perbaikan nilai IRI=1. Adapun data umum yang digunakan yaitu:

1. Tingkat pertumbuhan untuk semua jenis kendaraan sama dan konstan sebesar 5 persen/tahun.

2. Usia rencana pelayanan 20 tahun.
3. Kondisi drainase jalan baik.
4. Lalu-lintas harian rata-rata 1000 kendaraan/hari.
5. Jalan 4 lajur 2 arah dengan median.

Adapun data yang digunakan selengkapnya dapat dilihat pada *equation program* pada lembar lampiran. Dicoba menganalisa dengan menggunakan 3 batasan toleransi yaitu nilai IRI =2, 4, dan 8 serta satu kondisi dimana tidak ada upaya pemeliharaan atau perbaikan. Dari simulasi diperoleh hasil sebagai berikut :

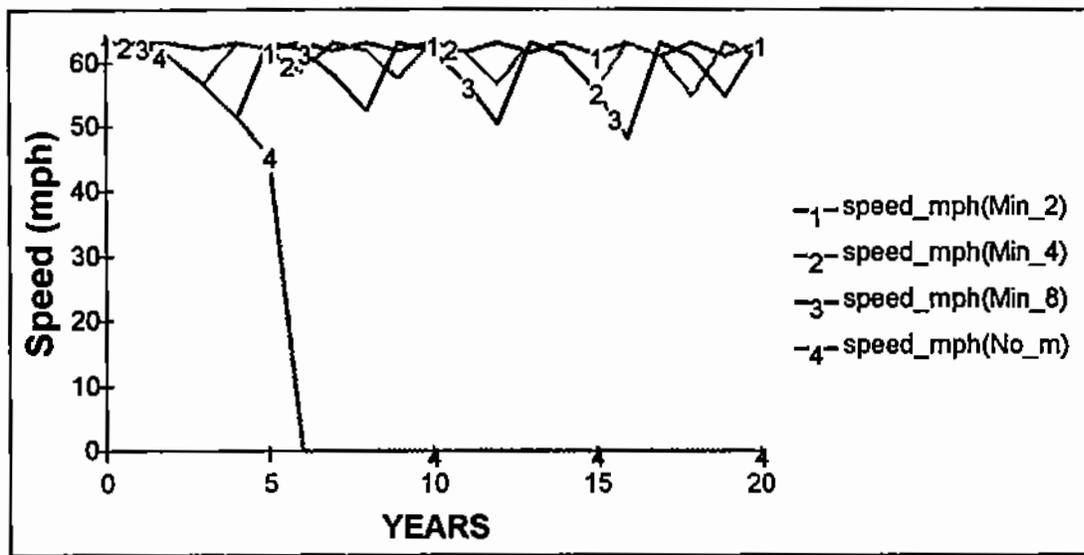
Tabel 7. Tabel Simulasi Nilai IRI

International Rougness Index				
Years_of_Service	Latest_IRI(Min_2)	Latest_IRI(Min_4)	Latest_IRI(Min_8)	Latest_IRI(No_m)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,00	2,24	2,24	2,24	2,24
2,00	1,00	4,75	4,75	4,75
3,00	3,42	7,39	7,39	7,39
4,00	1,00	1,00	10,10	10,10
5,00	3,55	3,55	1,00	12,81
6,00	1,00	6,36	3,62	15,52
7,00	3,69	1,00	6,51	16,00
8,00	1,00	3,76	9,48	16,00
9,00	3,84	6,81	1,00	16,00
10,00	1,00	1,00	3,92	16,00
11,00	4,01	4,01	7,15	16,00
12,00	1,00	7,33	10,43	16,00
13,00	4,20	1,00	1,00	16,00
14,00	1,00	4,30	4,30	16,00
15,00	4,40	7,92	7,92	16,00
16,00	1,00	1,00	11,55	16,00
17,00	4,53	4,53	1,00	16,00
18,00	1,00	8,29	4,53	16,00
19,00	4,53	1,00	8,29	16,00
20,00	1,00	4,53	1,00	16,00

Tanpa adanya upaya pemeliharaan atau perbaikan (No_m) pada tahun ke-7 jalan mencapai kondisi terburuk. Semakin kecil batas toleransi yang ditetapkan maka interval waktu perbaikan semakin kecil dan perbaikan yang harus dilakukan semakin sering. Kondisi batas pada awalnya dicapai dalam kurun waktu yang lebih lama kemudian karena semakin besarnya

pembebanan maka kondisi tersebut dicapai dalam waktu yang lebih kecil dan pada akhirnya konstan.

Grafik perkembangan kecepatan rata-rata kendaraan untuk berbagai kondisi perkerasan diatas dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 6. Grafik Simulasi Kecepatan Rata-rata

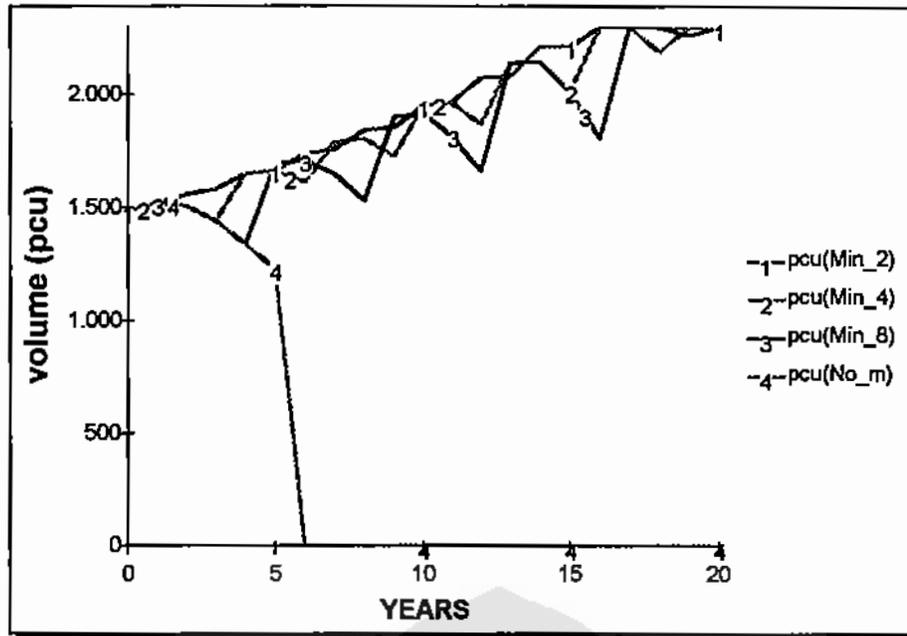
Tabel 8. Tabel Simulasi Kecepatan Rata-rata

Years_of_Service	Speed (mph)			
	speed_mph(Min_2)	speed_mph(Min_4)	speed_mph(Min_8)	speed_mph(No_m)
0,00	63,00	63,00	63,00	63,00
1,00	62,80	62,80	62,80	62,80
2,00	63,00	60,72	60,72	60,72
3,00	62,06	56,58	56,58	56,58
4,00	63,00	63,00	51,28	51,28
5,00	61,95	61,95	63,00	45,76
6,00	63,00	58,30	61,89	0,00
7,00	61,82	63,00	58,06	0,00
8,00	63,00	61,75	52,45	0,00
9,00	61,67	57,53	63,00	0,00
10,00	63,00	63,00	61,59	0,00
11,00	61,50	61,50	56,93	0,00
12,00	63,00	56,60	50,50	0,00
13,00	61,29	63,00	63,00	0,00
14,00	63,00	61,18	61,18	0,00
15,00	61,05	55,49	55,49	0,00
16,00	63,00	63,00	48,19	0,00
17,00	60,90	60,90	63,00	0,00
18,00	63,00	54,54	60,90	0,00
19,00	60,90	63,00	54,54	0,00
20,00	63,00	60,90	63,00	0,00

Kecepatan kendaraan saat nilai $PSI \leq 1.5$ atau nilai IRI(13.5 adalah 0 (nol) karena diasumsikan tidak ada kendaraan yang melewati jalan saat kondisi tersebut tercapai. Meskipun tidak ada kendaraan yang melintasi jalan tersebut nilai IRI tetap

turun pada tahun berikutnya karena kondisi saat ini mempengaruhi kondisi jalan ditahun berikutnya.

Perubahan volume kendaraan dapat dilihat pada gambar dibawah ini;



Gambar 7. Grafik Simulasi Volume Kendaraan (smp)

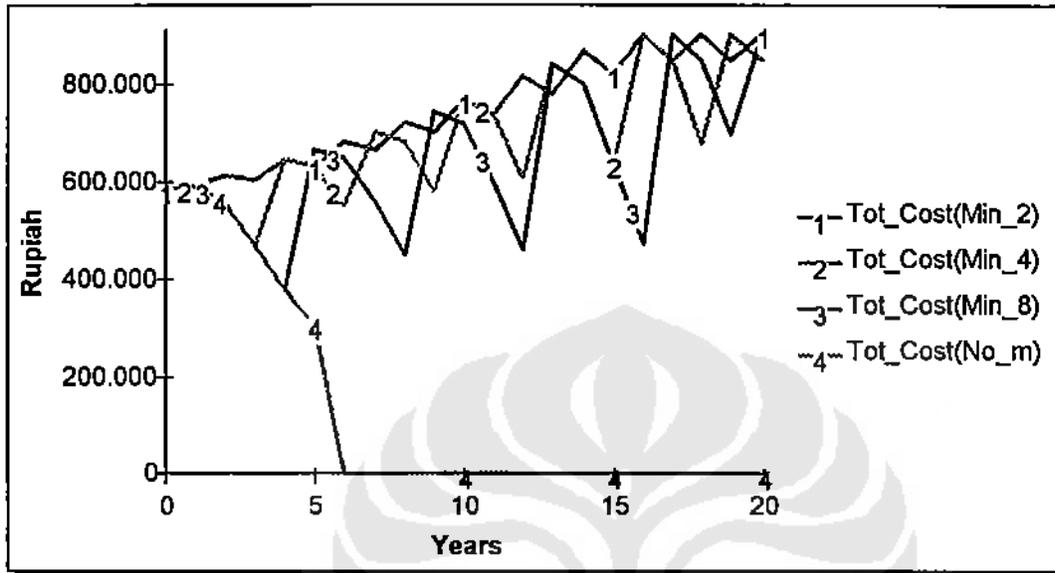
Tabel 9. Tabel Simulasi Volume Kendaraan (smp)

Years_of_Service	pcu/hour			
	pcu(Min_2)	pcu(Min_4)	pcu(Min_8)	pcu(No_m)
0,00	1.485,88	1.485,88	1.485,88	1.485,88
1,00	1.518,12	1.518,12	1.518,12	1.518,12
2,00	1.562,04	1.505,41	1.505,41	1.505,41
3,00	1.579,09	1.439,57	1.439,57	1.439,57
4,00	1.645,99	1.645,99	1.339,68	1.339,68
5,00	1.662,96	1.662,96	1.691,14	1.228,39
6,00	1.738,55	1.608,88	1.707,87	0,00
7,00	1.754,87	1.788,34	1.648,13	0,00
8,00	1.840,61	1.804,05	1.532,21	0,00
9,00	1.855,50	1.730,97	1.895,49	0,00
10,00	1.953,12	1.953,12	1.909,30	0,00
11,00	1.965,55	1.965,55	1.819,68	0,00
12,00	2.077,16	1.866,24	1.665,04	0,00
13,00	2.085,72	2.143,87	2.143,87	0,00
14,00	2.213,92	2.149,82	2.149,82	0,00
15,00	2.216,73	2.014,64	2.014,64	0,00
16,00	2.300,00	2.300,00	1.808,78	0,00
17,00	2.300,00	2.300,00	2.300,00	0,00
18,00	2.300,00	2.191,16	2.300,00	0,00
19,00	2.300,00	2.300,00	2.268,56	0,00
20,00	2.300,00	2.300,00	2.300,00	0,00

Dari gambar 7 terlihat pertumbuhan kendaraan tidak linier. Hal ini terjadi karena pengaruh kondisi perkerasan. Saat dilakukan perbaikan, volume kendaraan kembali mengikuti pola pertumbuhan normalnya dimana kondisi jalan baik dan kecepatan rata-rata kendaraan maksimum. Volume kendaraan akan maksimum bila

telah mencapai kapasitas maksimumnya (dalam hal ini kapasitas maksimumnya adalah 2300 kendaraan/jam dalam satuan mobil penumpang).

Biaya total operasi kendaraan adalah sebagai berikut:



Gambar 8. Grafik Simulasi Total Biaya Operasi Kendaraan

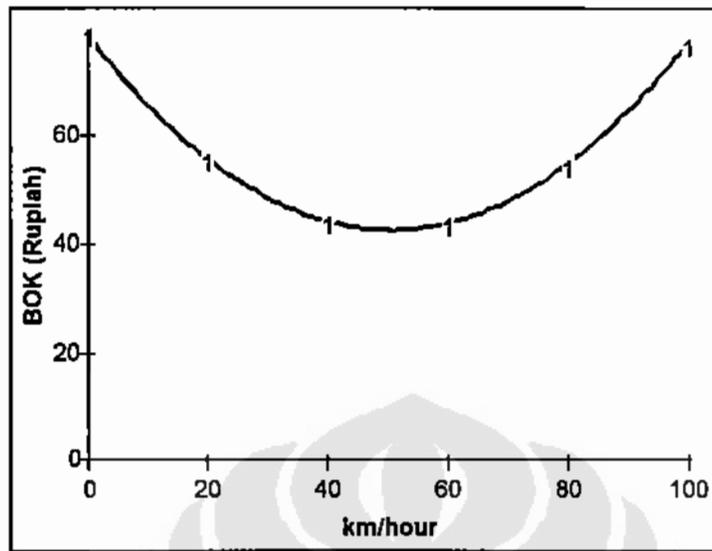
Tabel 10. Tabel Simulasi Total Biaya Operasi Kendaraan

Total Cost				
Years_of_Service	Tot_Cost(Min_2)	Tot_Cost(Min_4)	Tot_Cost(Min_8)	Tot_Cost(No_m)
0,00	583.920,35	583.920,35	583.920,35	583.920,35
1,00	593.057,02	593.057,02	593.057,02	593.057,02
2,00	613.846,27	553.540,68	553.540,68	553.540,68
3,00	603.766,75	470.365,84	470.365,84	470.365,84
4,00	646.839,59	646.839,59	379.631,55	379.631,55
5,00	633.788,74	633.788,74	664.583,56	306.025,12
6,00	683.214,73	551.913,62	649.732,18	0,00
7,00	666.316,19	702.777,46	561.528,50	0,00
8,00	723.318,32	683.553,23	447.489,63	0,00
9,00	701.453,98	580.976,30	744.886,23	0,00
10,00	767.532,53	767.532,53	720.027,00	0,00
11,00	739.278,32	739.278,32	600.503,77	0,00
12,00	816.278,70	610.207,58	462.702,30	0,00
13,00	779.824,60	842.494,63	842.494,63	0,00
14,00	870.021,35	801.114,75	801.114,75	0,00
15,00	823.072,47	638.589,80	638.589,80	0,00
16,00	903.850,56	903.850,56	475.426,95	0,00
17,00	850.093,28	850.093,28	903.850,56	0,00
18,00	903.850,56	676.819,06	850.093,28	0,00
19,00	850.093,28	903.850,56	700.726,14	0,00
20,00	903.850,56	850.093,28	903.850,56	0,00

5. Analisa umum biaya operasi kendaraan

Biaya operasi kendaraan (BOK) merupakan hasil pendekatan dari beberapa

kasus sehingga rumusan yang didapat merupakan pendekatan empiris. Jika disimulasikan grafik BOK dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 9. Grafik BOK (Biaya Operasi Kendaraan)

Data yang digunakan sama dengan skenario sebelumnya hanya saja panjang ruas jalan yang digunakan sebesar 1 km dan ditinjau dari sudut kecepatan yang berubah dari 0 hingga 100 km/jam. BOK minimum tercapai pada kondisi kecepatan ± 54 km/jam sebesar 42.54 rupiah. Apabila dilihat dari grafik untuk kecepatan kendaraan 0 (nol), BOK mempunyai nilai tertentu, hal ini dimungkinkan untuk kondisi macet total dimana kecepatan kendaraan 0 biaya operasional yang dikeluarkan sangat besar. Dari grafik diatas terlihat mulai dari titik nol BOK akan mengalami penurunan hingga kecepatan 54-55 km/jam setelah itu grafik akan kembali menaik naik.

6. Kesimpulan

Dari pembahasan pada bab-bab terdahulu, telah ditunjukkan pendekatan dan prinsip dasar, formulasi, dan prosedur analisa kinerja perkerasan jalan yang berbasis pada sistem dinamik. Berikut ini adalah kesimpulan yang didapat dari

pembahasan dan contoh penggunaan metoda pada simulasi model yang dibuat.

1. Dengan pendekatan perilaku kinerja perkerasan ini, maka perkiraan perkembangan kondisi perkerasan akan lebih mudah dianalisa sehingga dapat membantu dalam perkiraan dan perencanaan tindakan atau pengambilan keputusan selanjutnya.
2. Dari analisa output simulasi model didapat tingkat kerusakan pada perkerasan akan semakin cepat dan pada akhirnya akan konstan. Hal ini terjadi karena pembebanan oleh kendaraan terus bertambah dan akan berada pada titik maksimal saat ruas jalan tersebut telah mencapai kapasitas maksimumnya.
3. Faktor rasio kecepatan (perbandingan kecepatan rata-rata pada tahun analisa dengan kecepatan rata-rata maksimum) merupakan pendekatan perbandingan pertumbuhan kendaraan pada tahun analisa dengan pertumbuhan kendaraan pada saat kondisi jalan selalu baik (indeks nilai

IRI=0). Nilai faktor rasio kecepatan berkisar antar 0 hingga 1.

4. Hubungan BOK dan kecepatan tidaklah linier tetapi berupa kurva hiperbola terbuka keatas.

Daftar Pustaka

1. Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya dengan Metode Analisa, Yayasan Badan Penerbit PU, 1987.
2. Manual Kapasitas Jalan Indonesia, Yayasan Badan Penerbit PU, 1997.
3. H.A.S, Ralph, *Pavement Management System*. -England: Mc Graw Hill, 1978.
4. Sukirman, S., *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Bandung: Nova, 1992.
5. Wohl, M. and Brian V, *Traffic System Analisis for Engineer and Planers*. - New York: Mc Graw-Hill, 1968.
6. Yoder, E.J. and M.W. Witzak, *Principles of Pavement Design*. -New York: A Willey-Interscience Publication, 1975.
7. Yang H H., *Pavement Analysis and Design*. -New Jessey: Prentice Hall Inc., 1993.

Lampiran :

const ADT_0 = 1000
ADT_0 = Average Daily Traffic at start of the design period

const Base_Material = 5
Base_Material = Base Material Coefficient
Input = 1 for Sandy Gravel,
Input = 2 for Crushed stone
Input = 3 for Soil Cement comp.str >= 650 psi
Input = 4 for Soil Cement comp.str 400 psi- 650 psi
Input = 5 for Soil Cement comp.str <= 400 psi
Input = 6 for Coarse Grade
Input = 7 for Sand asphalt
Input = 8 for Lime Treated

const Base_Thickness = 6
Base_Thickness = unit is inch.

const Bus_1_axle_L = 3*2.204622

const Bus_2_axle_L = 5*2.204622

const Bus_Axle = 1

const Car_Price = 95000000

const Drainage_Base = 1
Drainage_Base coefficient is 1 for good condition

const Drainage_Sub_Base = 1
Drainage_Sub_Base coefficient is 1 for good condition

const FCsp = 1

const Fuel_Price = 1150

const HTr_axle_1 = 1

const HTrk_1_S_axle_L = 6*2.204622

const Htrk_2_T_axle_L = 14*2.204622

const Htrk_axle_2 = 2

const IRI_0 = 0
IRI_0 = IRI at first year analysis

const L2_s = 1
L2_s = 1 for single axles

const Length = 5

const LT_axle = 1

const LTrk_1_S_axle_L = 4*2.204622

const LTrk_2_S_axle_L = 6*2.204622

const Lx_s18 = 18
Lx_s18 = The load in kip on one single axle

const Mec_Cost = 5000

const MedTr_axle = 1

dim Min_IRI = (ARRAY_IRI)

const Min_IRI = [2,6,8,16]
Min_IRI = Minimum acceptable of IRI

const MTrk_1_S_axle_L = 5*2.204622

const MTrk_2_S_axle_L = 8*2.204622

const Oil_Price = 13000

const P_Bus = 16%

const P_Car_S_Axle_L = 1*2.204622

const P_Heavy_Truck = 5%

const P_Light_Truck = 24%

const P_Med_Truck = 10%

const P_Pssgr_Car = 45%
P_Pssgr_Car = Percent of Passanger car from total

const Pss_Axle = 1

const pt = 2.5

const r = .05
r = Annual Growth Rate(%)

const Sub_Base_Material = 2
Sub_Base_Material

const Sub_Base_Thickness = 4
Sub_Base_Thickness = unit is inch

const Surface_Material = 3

Input surface layer material for flexible pavement :

Input = 1 for Roadmix

Input = 2 for Plantmix and 3 for sand asphalt

const Surface_Thickness = 4
Surface_Thickness = unit is inch.
const Tire_Price = 200000
const Type_of_Lanes = 2
*Input = 1 for 2 lane,
2 for 4 and 6 Lane divided,
3 for 4 and 6 Lane Undivided*
const Width = 3.5
Width = Width for one direction
const Years_Design_Period = 20

