

KOMPUTERISASI PENENTUAN TEBAL PERKERASAN KAKU DENGAN METODE AASHTO 1993

Andri Suryadi¹, Budi Hartanto Susilo²

¹ Alumnus Program Studi Sarjana Teknik Sipil
Jl. Prof. drg. Suria Sumantri, MPH., No. 65, Bandung, 40164
E-mail: andri.suryadi30@gmail.com

² Guru Besar Program Studi Sarjana Teknik Sipil
Jl. Prof. drg. Suria Sumantri, MPH., No. 65, Bandung, 40164
E-mail: budiharsus@yahoo.com

ABSTRAK

Perhitungan tebal perkerasan secara komputerisasi perlu dikembangkan untuk meminimalisir kesalahan, memperoleh hasil yang lebih teliti, cepat, akurat, dan dapat dilakukan secara iterasi. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis kebutuhan tebal perkerasan kaku pada ruas jalan tol dengan menggunakan metode AASHTO 1993. Nilai faktor yang digunakan dalam perhitungan, diperoleh dari proyek Jalan Tol Cikopo-Palimanan dan kekurangannya diasumsikan sesuai dengan aturan AASHTO 1993. Hasil analisis penentuan tebal perkerasan kaku diperoleh tebal sebesar 39cm untuk Jalan Tol Cipali. Model untuk penentuan tebal perkerasan W_{18} nominal adalah $\log_{10}(2541530993,12)$, yang berarti bahwa logaritma dari total kumulatif beban 18-kip ESAL yaitu 9,41. Perhitungan beban gandar standar kumulatif menggunakan metode AASHTO 1993 dengan W_{18} desain diperoleh hasil sebesar 8,97, yang berarti bahwa tebal pelat beton rencana dapat diterapkan pada ruas Jalan Tol Cipali sesuai dengan toleransi yang diberikan AASHTO 1993.

Kata kunci: Perkerasan Kaku, AASHTO 1993, Komputerisasi, Jalan Tol Cipali, Toleransi.

ABSTRACT

Computerized about calculation of pavement thickness needs to be developed to minimize the human error, obtain the results more conscientious, fast, accurate, and can be done iteratively. The purpose of this study was to analyze the necessary of rigid pavement thickness for the toll road using AASHTO 1993 method. Value factors used in the calculation, obtained from Toll Road project Cikopo-Palimanan and shortcomings assumed in accordance with the rules of AASHTO 1993. The results of the analysis of the determination of the rigid pavement thickness obtained by 39 centimeters thick for Cikampek-Palimanan Toll Road. The model for determining the pavement thickness W_{18} nominal is $\log_{10}(2541530993,12)$, which means that the logarithm of the total cumulative load of 18-kips ESAL is 9,41. Cumulative standard axle load calculations using the 1993 AASHTO method within W_{18} design the result obtained was 8,97, which means that the concrete slab thickness plan will be put on Cikampek-Palimanan toll road segment in accordance with the tolerance of AASHTO 1993.

Keywords: Rigid Pavement, AASHTO 1993, Computerized, Cipali Toll Road, Tolerance.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu metode perencanaan tebal perkerasan jalan yang sering digunakan ialah metode AASHTO 1993. Metode tersebut telah dipakai secara umum di seluruh dunia untuk perencanaan serta diadopsi sebagai standar perencanaan di berbagai negara.

Metode AASHTO 1993 pada dasarnya adalah metode perencanaan yang didasarkan pada metode empiris.

Seiring perkembangan zaman, pertumbuhan lalu lintas semakin meningkat sehingga menyebabkan beban dan volume lalu lintas yang harus didukung oleh struktur perkerasan jalan juga semakin meningkat. Perkerasan jalan merupakan struktur yang tersusun dari beberapa lapisan dan dibangun di atas tanah dasar. Struktur perkerasan jalan harus mampu mendistribusikan beban dari roda kendaraan sehingga struktur tanah di bawahnya yang lebih lunak tidak mudah rusak karena mengalami tegangan dan regangan yang berlebihan oleh beban berulang.

Tebal lapisan perkerasan jalan perlu dikembangkan, dengan cara perhitungan secara komputerisasi untuk memperoleh nilai-nilai lapisan jalan yang akurat, ideal, cermat, dan cepat. Parameter maupun indeks yang diperlukan dalam analisis empiris perkerasan jalan berdasarkan pada AASHTO 1993. Untuk memperoleh hasil analisis penelitian yang cepat dan cermat kiranya perlu disusun perhitungan komputerisasi sederhana dengan perangkat lunak *Microsoft Excel* dalam rangka kemudahan iterasi perhitungan yang cepat dan tepat seperti yang diharapkan oleh perencana.

1.2 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Penyusunan secara komputerisasi faktor-faktor yang mempengaruhi pendekatan empiris dalam desain struktur perkerasan kaku suatu ruas jalan;
2. Menghitung kebutuhan tebal perkerasan kaku jalan dengan menggunakan metode AASHTO 1993 secara komputerisasi.

1.3 Ruang Lingkup

Pembatasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Perencanaan perkerasan kaku hanya untuk jalan baru;
2. Nilai faktor-faktor yang digunakan dalam perhitungan diambil dari Jalan Tol Cipali dan kekurangannya diasumsikan sesuai dengan aturan AASHTO 1993;
3. Menghitung secara komputerisasi terhadap kebutuhan tebal perkerasan kaku;
4. Kendaraan dalam analisis perhitungan meliputi jenis kendaraan niaga, yaitu bus, truk, dan *trailer*;
5. Metode analisis yang digunakan adalah metode AASHTO 1993.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Perkerasan Kaku

Perkerasan kaku adalah struktur yang terdiri atas pelat kaku yang bersambung (tidak menerus) tanpa atau dengan tulangan, atau menerus dengan tulangan, terletak di atas lapis pondasi bawah atau tanah dasar, tanpa atau dengan lapis permukaan beraspal (Suhaili, 2003). Pada perkerasan kaku, daya dukung perkerasan terutama diperoleh dari pelat beton. Sifat, daya dukung, dan keseragaman tanah dasar sangat mempengaruhi keawetan dan kekuatan perkerasan kaku.

2.2 Parameter Desain Perkerasan Kaku

Terdapat beberapa parameter dalam menentukan tebal perkerasan kaku, antara lain: tanah dasar, lapisan pondasi bawah, material beton semen, lalu lintas, indeks permukaan, nilai reliabilitas, faktor kehilangan daya dukung, koefisien pelimpahan beban, dan koefisien drainase.

1. Tanah Dasar

Sebagian besar beban pada perkerasan kaku dipikul oleh pelat beton, tetapi keawetan dan kekuatan pelat tersebut sangat dipengaruhi oleh sifat, daya dukung, dan keseragaman tanah dasar. Keseragaman daya dukung tanah dasar akan membantu menurunkan pengaruh tegangan pada *slab* beton.

A. CBR Tanah Dasar

CBR merupakan suatu perbandingan antara beban percobaan (*test load*) dengan beban standar (*standard load*) dan dinyatakan dalam persentase. Harga CBR adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100% dalam memikul beban (*U.S Army Corps of Engineers*, 1985).

B. Modulus Reaksi Tanah Dasar

Parameter yang paling umum digunakan untuk menyatakan daya dukung tanah dasar pada perkerasan kaku adalah modulus reaksi tanah dasar (k). Modulus reaksi tanah dasar ditetapkan di lapangan dengan pengujian pelat *bearing*, dengan diameter pelat 76cm yang dinyatakan dalam kg/cm^3 (MPa/m). Karena pengujian “pelat *bearing*” memerlukan waktu lama dan biaya mahal, maka k dapat diperkirakan dari nilai CBR, baik CBR *insitu* sesuai SNI 03-1731-1989 atau CBR laboratorium sesuai SNI 03-1744-

1989. Dari nilai CBR representatif ini kemudian diprediksi modulus elastisitas tanah dasar dengan menggunakan Persamaan 1.

$$M_R = 1500 \times CBR \quad (1)$$

dengan:

M_R : Modulus reaksi tanah dasar (psi).

CBR : Nilai CBR tanah dasar (%).

2. Beton Kurus

Lean concrete atau disebut beton kurus fungsinya hanya sebagai lantai kerja agar air semen tidak meresap ke dalam lapisan bawahnya. Campuran material berbutir dan semen dengan kadar yang rendah. Digunakan sebagai lapis pondasi untuk perkerasan beton. Campuran Beton Kurus (CBK) harus mempunyai kuat tekan beton karakteristik pada umur 28 hari minimum 5MPa (50kg/cm²) tanpa menggunakan abu terbang, atau 7MPa (70kg/cm²) bila menggunakan abu terbang. Tebal campuran beton kurus ini minimum 10cm dan pada dasarnya terbuat dari beton dengan mutu K-175.

3. Material Beton Semen

Menurut ASTM C-78, kekuatan beton harus dinyatakan dalam nilai kuat tarik lentur (*flexural strength*) umur 28 hari, yang didapat dari hasil pengujian balok dengan pembebanan tiga titik yang besarnya secara tipikal sekitar 3-5MPa (30-50kg/cm²). Kuat tarik lentur beton yang diperkuat dengan bahan serat penguat seperti serat baja, aramit atau serat karbon, harus mencapai kuat tarik lentur 5-5,5MPa (50-55kg/cm²). Kekuatan rencana harus dinyatakan dengan kuat tarik lentur karakteristik yang dibulatkan hingga 0,25MPa (2,5kg/cm²) terdekat.

A. Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastis beton dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.

$$E_c = 57000 (f_c')^{0,5} \quad (2)$$

dengan:

E_c : Modulus elastisitas beton (psi).

f_c' : Kuat tekan beton (psi).

B. Modulus Kelenturan Beton

Modulus kelenturan beton hanya digunakan untuk perencanaan perkerasan kaku. Nilai modulus kelenturan beton yang digunakan adalah nilai rata-rata kekuatan tarik

lentur pada usia 28 hari. Jika digunakan konstruksi yang spesifik, maka dalam penentuan modulus kelenturan betonnya ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan. Dihitung menggunakan Persamaan 3.

$$S'_c = S_c + z(S_{DS}) \quad (3)$$

dengan:

- S'_c : Modulus kelenturan beton (psi).
- S_c : Konstruksi spesifik pada modulus kelenturan beton (psi).
- S_{DS} : Standar deviasi modulus kelenturan beton (psi).
- z : Variasi normal standar,
 - = 0,841, untuk *Percent Serviceability* (PS) = 20%
 - = 1,037, untuk PS = 15%
 - = 1,282, untuk PS = 10%
 - = 1,645, untuk PS = 5%
 - = 2,327, untuk PS = 1%

4. Lalu Lintas

Penentuan beban lalu lintas rencana untuk perkerasan kaku, dinyatakan dalam jumlah sumbu kendaraan niaga (*commercial vehicle*), sesuai dengan konfigurasi sumbu pada lajur rencana selama umur rencana. Kendaraan yang ditinjau untuk perencanaan perkerasan kaku adalah yang mempunyai berat total minimum 5ton. Seluruh prosedur perencanaan perkerasan kaku didasarkan pada kumulatif 18-kip *equivalent single axle load* (ESAL) selama umur rencana. Besar kumulatif ESAL selama umur rencana dikalikan dengan faktor distribusi arah dan faktor distribusi lajur untuk menentukan besarnya volume lalu lintas pada lajur rencana (W_{18}).

A. Koefisien Distribusi Arah

Koefisien distribusi arah (D) biasanya bernilai 0,5 (50%). Namun berdasarkan pengalaman, nilai D bervariasi antara 0,3 sampai 0,7 tergantung dari beban lalu lintas yang terjadi di masing-masing arah.

B. Koefisien Distribusi Lajur

Jika jalan tidak memiliki tanda batas lajur, maka jumlah lajur dan koefisien distribusi (C) kendaraan niaga dapat ditentukan berdasarkan lebar perkerasan atau jumlah lajur setiap arah seperti pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Jumlah Lajur berdasarkan Lebar Perkerasan dan Koefisien Distribusi Kendaraan Niaga pada Lajur Rencana

Lebar Perkerasan (L_p)	Jumlah Lajur (n_l)	Koefisien Distribusi	
		1 Arah	2 Arah
$L_p < 5,50$ m	1 lajur	1	1
$5,50\text{m} \leq L_p < 8,25\text{m}$	2 lajur	0,7	0,5
$8,25\text{m} \leq L_p < 11,25\text{m}$	3 lajur	0,5	0,475
$11,23\text{m} \leq L_p < 15,00\text{m}$	4 lajur	-	0,45
$15,00\text{m} \leq L_p < 18,75\text{m}$	5 lajur	-	0,425
$18,75\text{m} \leq L_p < 22,00\text{m}$	6 lajur	-	0,40

Sumber: Bina Marga, 2003.

Tabel 2. Faktor Distribusi Lajur

Jumlah Lajur Setiap Arah	D_L (%)
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4	50 - 75

Sumber: AASHTO, 1993.

C. Konfigurasi Sumbu Kendaraan

Konfigurasi sumbu untuk perencanaan terdiri atas 4 (empat) jenis kelompok sumbu sebagai berikut:

1. Sumbu tunggal roda tunggal (STRT).

Angka ekivalen STRT, dihitung menggunakan Persamaan 4.

$$E_{\text{STRT}} = \left[\frac{\text{Beban sumbu (ton)}}{5,40} \right]^4 \quad (4)$$

2. Sumbu tunggal roda ganda (STRG).

Angka ekivalen STRG, dihitung menggunakan Persamaan 5.

$$E_{\text{STRG}} = \left[\frac{\text{Beban sumbu (ton)}}{8,16} \right]^4 \quad (5)$$

3. Sumbu tandem roda ganda (STdRG).

Angka ekivalen STdRG, dihitung menggunakan Persamaan 6.

$$E_{\text{STdRG}} = \left[\frac{\text{Beban sumbu (ton)}}{13,76} \right]^4 \quad (6)$$

4. Sumbu tridem roda ganda (STrRG).

Angka ekivalen ST_{TRG}, dihitung menggunakan Persamaan 7.

$$E_{ST_{TRG}} = \left[\frac{\text{Beban sumbu (ton)}}{18,45} \right]^4 \quad (7)$$

D. Lalu Lintas Rencana

Lalu lintas rencana adalah jumlah kumulatif sumbu kendaraan niaga pada lajur rencana selama umur rencana, meliputi proporsi sumbu serta distribusi beban pada setiap jenis sumbu kendaraan.

5. Umur Rencana Perkerasan

Umur rencana merupakan suatu periode tertentu dalam tahun, yang dirancang agar jalan yang direncanakan dan dipelihara dapat berfungsi selama periode tersebut. Umur rencana perkerasan jalan ditentukan atas pertimbangan klasifikasi fungsional jalan, pola lalu lintas serta nilai ekonomi jalan yang bersangkutan, yang dapat ditentukan antara lain dengan metode *Benefit Cost Ratio*, *Internal Rate of Return*, kombinasi metode tersebut atau cara lain yang tidak terlepas dari pola pengembangan wilayah. Umumnya perkerasan kaku dapat direncanakan dengan umur rencana (UR) 20 tahun sampai 40 tahun atau dapat menggunakan Tabel 3.

Tabel 3. Umur Rencana Perkerasan Baru

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (tahun)
Perkerasan Lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir <i>cement treated base</i>	20
	Pondasi jalan	40
	Semua lapisan perkerasan untuk area yang tidak diizinkan sering ditinggikan akibat pelapisan ulang, misal: jalan perkotaan, <i>underpass</i> , jembatan, terowongan. <i>Cement treated base</i>	
Perkerasan Kaku	Lapis pondasi, lapis pondasi bawah, lapis beton semen	
Jalan Tanpa Penutup	Semua elemen	Minimum 10

Sumber: Bina Marga, 2013.

6. Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Faktor pertumbuhan lalu lintas didasarkan pada data pertumbuhan historis atau formulasi korelasi dengan faktor pertumbuhan lain yang akurat (Pd T-14-2003). Volume lalu lintas akan bertambah sesuai dengan umur rencana atau sampai tahap dimana kapasitas jalan dicapai dengan faktor pertumbuhan lalu lintas yang dapat ditentukan berdasarkan Persamaan 8.

$$R = \frac{(1+i)^{UR}-1}{i} \quad (8)$$

dengan:

- R : Faktor pertumbuhan lalu lintas.
 i : Laju pertumbuhan lalu lintas per tahun (%).
 UR : Umur rencana (tahun).

atau menggunakan Tabel 4.

Tabel 4. Perkiraan Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (i)

	2011 – 2020	> 2021 – 2030
Arteri dan perkotaan (%)	5	4
Rural (%)	3,5	2,5

Sumber: Bina Marga, 2012.

7. *Serviceability*

Serviceability merupakan tingkat pelayanan yang diberikan oleh sistem perkerasan yang kemudian dirasakan oleh pengguna jalan. Nilai *serviceability* ini merupakan nilai yang menjadi penentu tingkat pelayanan fungsional suatu sistem perkerasan jalan. Secara numerik *serviceability* merupakan fungsi beberapa parameter, antara lain ketidakrataan, jumlah lubang, luas tambalan, dan lain-lain.

A. *Initial Present Serviceability Index*

Untuk perkerasan yang baru dibuka (*open traffic*) nilai indeks permukaan awal diberikan sebesar 4,0 - 4,5. Nilai ini dalam terminologi perkerasan diberikan sebagai nilai *initial serviceability* (P_0).

B. *Terminal Serviceability Index*

Untuk perkerasan yang harus dilakukan perbaikan pelayanannya, nilai *terminal serviceability index* diberikan sebesar 2,0. Nilai *terminal serviceability index* dapat diperoleh berdasarkan Tabel 5.

Tabel 5. Indeks Permukaan pada Akhir Umur Rencana

LER	Fungsi Jalan			
	Lokal	Kolektor	Arteri	Tol
< 10	1,0 - 1,5	1,5	1,5 - 2,0	-
10 - 100	1,5	1,5 - 2,0	2,0	-
100 - 1000	1,5 - 2,0	2,0	2,0 - 2,5	-
> 1000	-	2,0 - 2,5	2,5	2,5

Sumber: Metode Analisa Komponen, SNI. 1987.

8. Reliabilitas

Reliabilitas adalah nilai probabilitas kemungkinan tingkat pelayanan yang dapat dipertahankan selama masa pelayanan dipandang dari sisi pemakai jalan. Reliabilitas merupakan jaminan bahwa perkiraan beban lalu lintas yang akan menggunakan jalan tersebut dapat dipenuhi. Perkerasan kaku direncanakan dengan menggunakan klasifikasi jalan yang tinggi karena perkerasan ini akan difungsikan untuk menampung volume lalu lintas yang cukup tinggi. Informasi mengenai tingkat reliabilitas (R) yang digunakan dalam merencanakan perkerasan kaku dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai Reliabilitas untuk Berbagai Klasifikasi Jalan

Klasifikasi Jalan	Rekomendasi Tingkat Reliabilitas (%)	
	Perkotaan	Antar kota
Bebas hambatan	85 – 99,9	80 – 99,9
Arteri	80 – 99	75 – 95
Kolektor	80 – 95	75 – 95
Lokal	50 – 80	50 – 80

Sumber: AASHTO, 1993.

A. Standar Deviasi

Nilai standar deviasi mewakili kondisi lokal yang ada. Berdasarkan data dari jalan percobaan AASHTO ditentukan nilai S_o dari rentang sebesar 0,30 - 0,40 untuk *rigid pavement*. Hal ini berhubungan dengan total standar deviasi sebesar 0,35 dan 0,45 untuk lalu lintas untuk jenis perkerasan *rigid* dan *flexible*.

B. Standar Normal Deviasi

Tingkat reliabilitas berhubungan dengan nilai standar normal deviasi yang diberikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Standar Normal Deviasi

Reliabilitas, R (%)	Standard Normal Deviante, Z_R
50	0,000
60	-0,253
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,842
85	-1,036
90	-1,282
91	-1,341
92	-1,405
93	-1,476
94	-1,555
95	-1,645
96	-1,751
97	-1,881
98	-2,054
99	-2,326
99,9	-3,090
99,99	-3,750

Sumber: AASHTO, 1993.

9. Loss of Support Factor

Faktor kehilangan daya dukung (LS) termasuk dalam perencanaan perkerasan kaku untuk memperhitungkan potensi kehilangan daya dukung yang bertambah akibat erosi lapisan pondasi bawah atau perubahan pergerakan partikel tanah. Nilai LS dapat diperoleh berdasarkan Tabel 8.

Tabel 8. Faktor Kehilangan Daya Dukung berdasarkan Tipe Material

Type of Material	Loss of Support (LS)
Cement Treated Granular Base ($E = 1000000$ to 2000000 psi)	0,0 to 1,0
Cement Aggregate Mixtures ($E = 500000$ to 1000000 psi)	0,0 to 1,0
Asphalt Treated Base ($E = 350000$ to 1000000 psi)	0,0 to 1,0
Bituminous Stabilized Mixtures ($E = 40000$ to 300000 psi)	0,0 to 1,0
Lime Stabilized ($E = 20000$ to 70000 psi)	1,0 to 3,0
Unbound Granular Materials ($E = 15000$ to 45000 psi)	1,0 to 3,0
Fine Grained or Natural Subgrade Materials ($E = 3000$ to 40000 psi)	2,0 to 3,0

Sumber: AASHTO, 1993.

10. Koefisien Pelimpahan Beban

Koefisien pelimpahan beban (J) adalah faktor yang mempengaruhi kemampuan perkerasan kaku dalam melimpahkan atau mendistribusikan beban pada daerah yang terputus seperti daerah sambungan atau retakan. Nilai koefisien pelimpahan beban berdasarkan jenis perkerasannya dapat dilihat dari Tabel 10.

Tabel 10. Koefisien Pelimpahan Beban

Bahu Pelimpahan Beban	Aspal		Beton	
	Ya	Tidak	Ya	Tidak
Jenis Perkerasan				
Perkerasan bersambung tanpa atau dengan tulangan (JCP / JRCP)	3,2	3,8 - 4,4	2,5 - 3,1	3,6 - 4,2
Perkerasan beton menerus dengan tulangan (CRCP)	2,9 - 3,2	N/A	2,3 - 2,9	N/A

Sumber: AASHTO, 1993.

11. Koefisien Drainase

Metode ini diberikan koefisien pengaruh dari drainase seperti diberikan pada Tabel 11. Definisi kualitas drainase dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 11. Koefisien Drainase untuk Perkerasan Kaku

Kualitas Drainase	Persen Waktu Struktur Perkerasan dipengaruhi oleh Kadar Air yang Mendekati Jenuh			
	< 1%	1% - 5%	5% - 25%	> 25%
Sangat Baik	1,25 - 1,20	1,20 - 1,15	1,15 - 1,10	1,10
Baik	1,20 - 1,15	1,15 - 1,10	1,10 - 1,00	1,00
Sedang	1,15 - 1,10	1,10 - 1,00	1,00 - 0,90	0,90
Buruk	1,10 - 1,00	1,00 - 0,90	0,90 - 0,80	0,80
Sangat Buruk	1,00 - 0,90	0,90 - 0,80	0,80 - 0,70	0,70

Sumber: AASHTO, 1993.

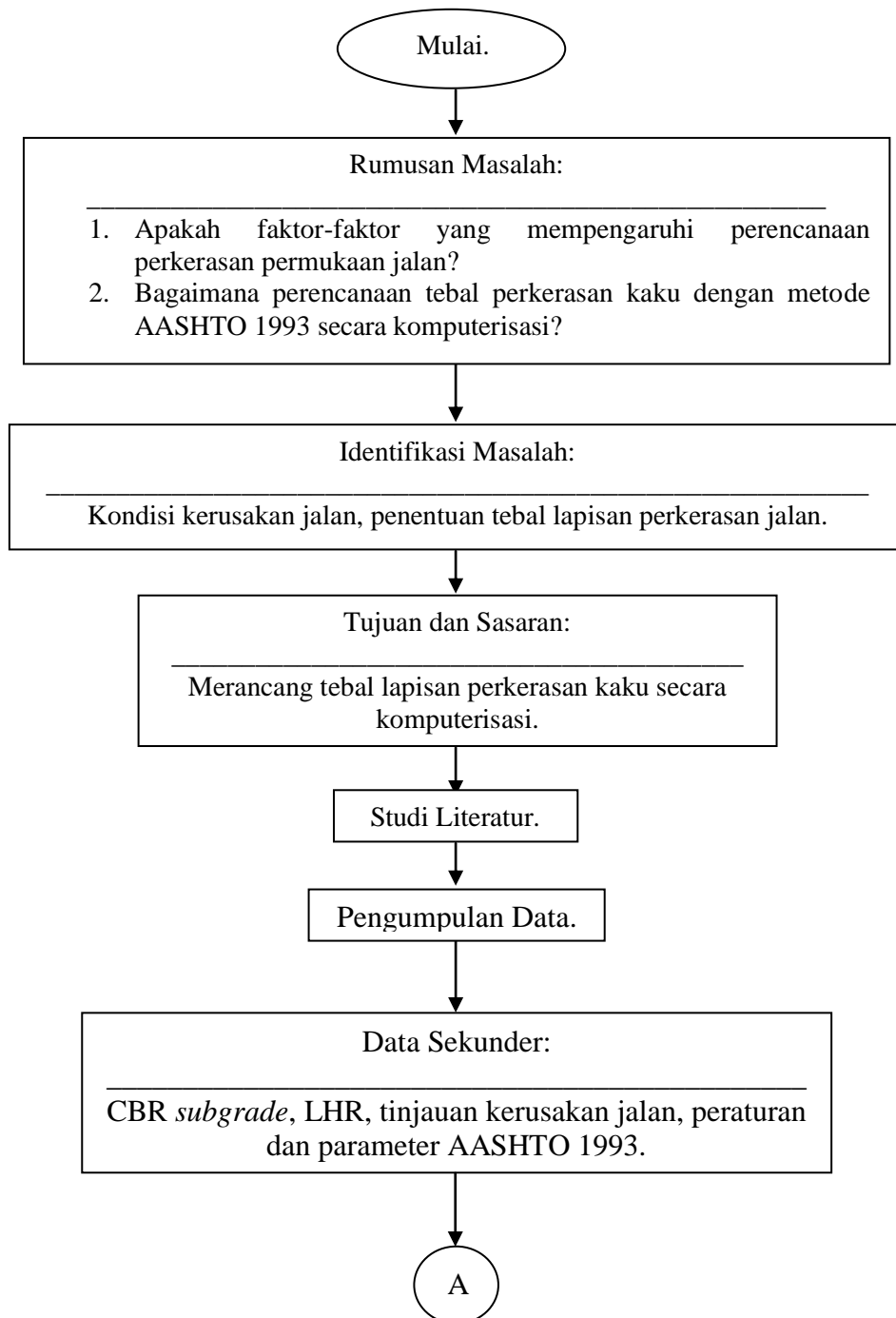
Tabel 12. Definisi Kualitas Drainase

Kualitas Drainase	Waktu Air Mengalir
Sangat Baik	2 jam
Baik	1 hari
Sedang	1 minggu
Buruk	1 bulan
Sangat Buruk	Air tidak mengalir

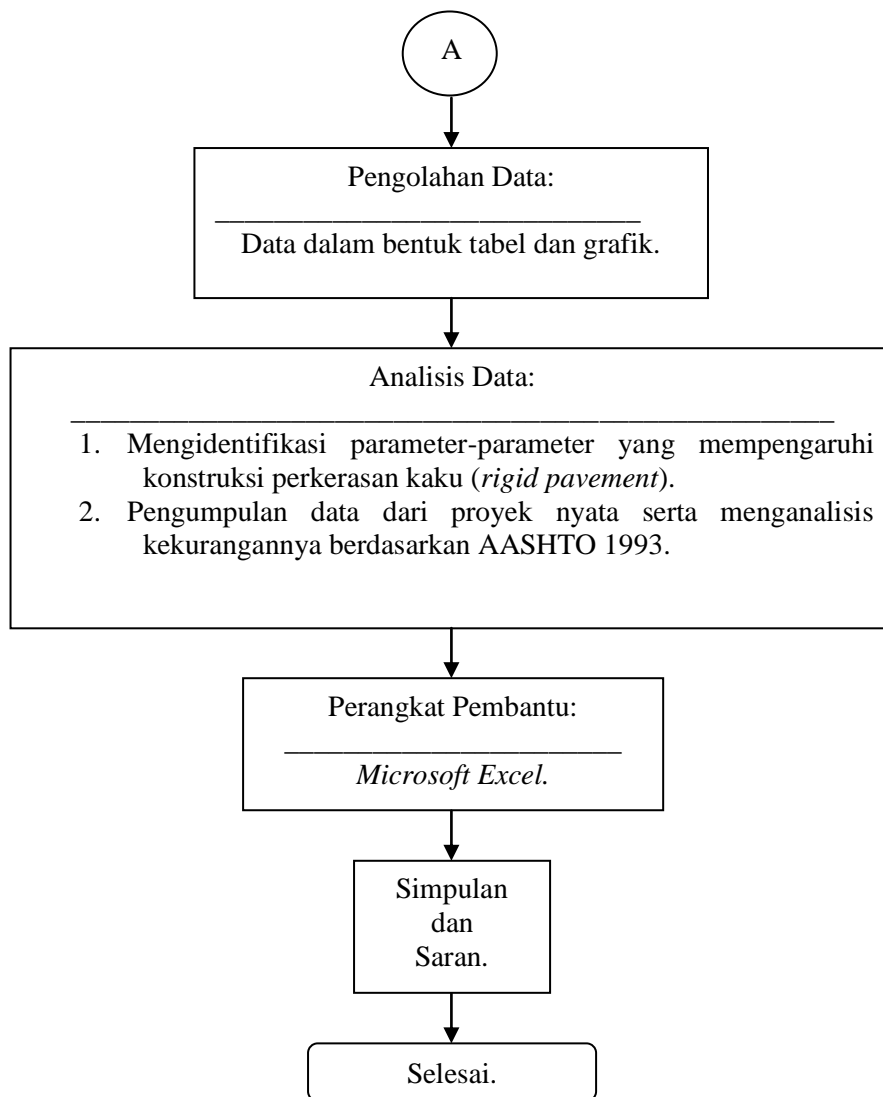
Sumber: AASHTO, 1993.

3. METODE PENELITIAN

Bagan alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Bagan Alir Penelitian



Gambar 5. Bagan Alir Penelitian (Lanjutan)

4. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Besarnya pertumbuhan lalu lintas telah ditetapkan untuk semua jenis kendaraan selama umur rencana. Rekapitulasi laju pertumbuhan di Tol Cipali dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Rekapitulasi Laju Pertumbuhan di Tol Cipali

No.	Keterangan	Gerbang	Laju Pertumbuhan (%)
1	Bulanan	Cikopo	15,8%
2		Palimanan	21,0%
3	Tahunan	Cikopo	104,5%
4		Palimanan	37,7%

Besarnya total beban gandar standar ekuivalen untuk semua jenis kendaraan selama umur rencana 30 tahun dan laju pertumbuhan sebesar 15,8% pada Tol Cipali dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Total Kumulatif Beban Gandar Standar Ekuivalen pada Tol Cipali

No	Kendaraan	Berat (ton)	AADT veh/h	Sum. ESAL
1	Kend Ringan (1.1)	2	171532	0
2	Bus (1.2)	8	3501	35117204,23
3	Truk 2 gandar (1.2)	14	21791	2050015657
4	Truk 3 gandar (1.22)	22	1993	262221278
5	Truk 4 gandar (1.2-2.2)	32	282	62103160,52
6	Truk 5 gandar (1.2-222)	40	157	132077304,4
Total			199256	2541534604

Pada Persamaan 9, perlu menghitung nilai W_{18} nominal.

$$W_{18} \text{ nominal} = \log_{10}(\text{Sum.ESAL}) \quad (9)$$

$$W_{18} \text{ nominal} = \log_{10}(2541534604)$$

$$W_{18} \text{ nominal} = 9,40510$$

Pada Persamaan 10 dan Persamaan 11 perlu menentukan tebal pelat beton rencana (D) untuk menentukan kesesuaian antara tebal pelat beton yang dianalisis menggunakan metode AASHTO 1993 dengan hasil berupa data sekunder di lapangan. Asumsi tebal pelat beton sebesar 39cm.

Adapun Persamaan 10 diperoleh hasil:

$$A = Z_R \times S_o + 7,35 \times \log_{10}(D + 1) - 0,06 + \frac{\log_{10}\left[\frac{0,45 - 1,5}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(D + 1)^{8,46}}}\right]}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(D + 1)^{8,46}}} \quad (10)$$

$$A = -1,282 \times 0,35 + 7,35 \times \log_{10}(15,35 + 1) - 0,06 + \frac{\log_{10}\left[\frac{2}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(15,35 + 1)^{8,46}}}\right]}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(15,35 + 1)^{8,46}}}$$

$$A = 8,23556$$

Sedangkan Persamaan 11 diperoleh hasil:

$$B = (4,22 - 0,32 \times P_t) \times \log_{10}\left[\frac{S'_c \times C_d \times (D^{0,75} - 1,132)}{215,63 \times J \left[\frac{18,42}{(E_c/k)^{0,25}} \right]}\right] \quad (11)$$

$$B = (4,22 - 0,32 \times 2,5) \times \log_{10}\left[\frac{700 \times 1,25 \times (15,35^{0,75} - 1,132)}{215,63 \times 2,6 \left[\frac{18,42}{(4560179,19/175)^{0,25}} \right]}\right]$$

$$B = 0,73419$$

Total nilai A + B, yaitu:

$$8,23556 + 0,73419 = 8,96975$$

Adapun selisih/perbedaannya dihitung dengan cara:

$$\text{Toleransi} = \frac{\log_{10}(W18) - (A+B)}{(A+B)} \times 100\%$$

$$\text{Toleransi} = \frac{9,40510 - (8,96975)}{(8,96975)} \times 100\%$$

Toleransi = 4,85% , syarat terpenuhi.

Untuk laju pertumbuhan sebesar 5% dan umur rencana perkerasan 30 tahun dengan asumsi tebal pelat beton sebesar 30cm, diperoleh hasil:

$$\text{Persamaan 9} = 8,52028$$

$$\text{Persamaan 10} = 7,45716$$

$$\text{Persamaan 11} = 0,75411$$

Toleransi = 3,76% , syarat terpenuhi.

Sehingga tebal pelat beton untuk umur rencana perkerasan hasil analisis dengan laju pertumbuhan sebesar 15,8% diperoleh hasil sebesar 39cm, sedangkan dengan laju pertumbuhan sebesar 5% sesuai dengan perkiraan pertumbuhan lalu lintas pada Bina Marga, 2012 diperoleh tebal pelat beton sebesar 30cm.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari analisis yang telah dilakukan dapat ditarik simpulan sebagai berikut:

1. Volume lalu lintas rencana yang dianalisis dengan perangkat lunak *Microsoft Excel* diperoleh berdasarkan gerbang Tol Cikopo pada saat awal beroperasi, yaitu pada bulan Juni tahun 2015. Hal ini dikarenakan pada tahap perencanaan awal, *gate* masuk (Cikopo) memberikan jumlah yang paling besar, yaitu 199256 kendaraan. Jumlah kendaraan terbanyak yaitu kendaraan mobil penumpang.
2. Angka pertumbuhan lalu lintas di Tol Cipali mengalami fluktuasi. Peningkatan volume lalu lintas terbesar terdapat pada laju pertumbuhan tahunan pada bulan Juni sebesar 104,5% sebagai *generated traffic* pada awal tahun beroperasi.
3. Tebal pelat beton untuk umur rencana perkerasan dengan laju pertumbuhan sebesar 15,8% diperoleh hasil sebesar 39cm, sedangkan dengan laju pertumbuhan sebesar 5% sesuai dengan perkiraan pertumbuhan lalu lintas pada Bina Marga, 2012 diperoleh tebal pelat beton sebesar 30cm.

4. Penyusunan faktor yang mempengaruhi pendekatan empiris dalam desain struktur perkerasan kaku suatu ruas jalan secara komputerisasi dapat mempermudah proses perhitungan dan dapat dilakukan secara iterasi, serta lebih sistematis dapat dilihat pada demo *Microsoft Excel*.

Untuk perkembangan penelitian selanjutnya diberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Perhitungan penentuan tebal perkerasan kaku diperlukan data yang lebih lengkap, baik data lalu lintas volume kendaraan, maupun data spesifikasi teknik jalan.
2. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai kualitas drainase untuk perkerasan kaku.
3. Diperlukannya penelitian lebih lanjut terhadap parameter desain modulus resilient tanah dasar pada metode AASHTO 1993 dalam fungsinya sebagai salah satu parameter desain dalam merencanakan tebal perkerasan khususnya untuk melihat kondisi tanah dasar.
4. Penyusunan pedoman praktis yang *user friendly* (mudah dipahami) mengingat perencanaan tebal perkerasan dengan menggunakan metode AASHTO 1993 yang cukup rumit.

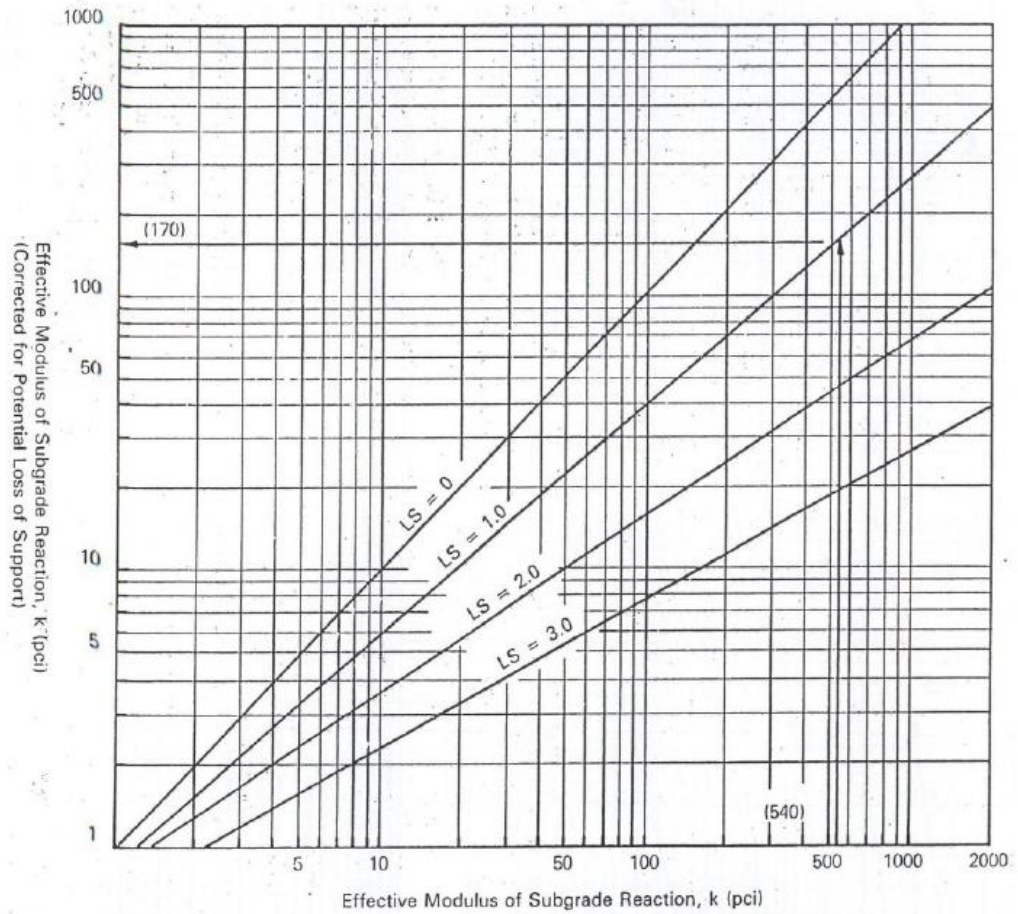
DAFTAR PUSTAKA

1. AASHTO, 1993, *Guide for Design of Pavement Structure, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, USA*.
2. Christopher, B.R., Schwartz, C., and Boudreau, R., 2006, *Geotechnical Aspects of Pavements: Reference Manual/Participant Workbook, Technical Report, Publication No. FHWA NHI-05-037, U.S. Department of Transportation, National Highway Institute, Washington D.C.*
3. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 1983. *Manual Pemeriksaan Perkerasan Jalan dengan alat Benkelman Beam No.01/MN/B/1983*. Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
4. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2003, *Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen, Pedoman Konstruksi Bangunan, Pd.T-14-2003*, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.
5. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2004, *Pelaksanaan Perkerasan Jalan Beton Semen, Pedoman Konstruksi Bangunan, Pd.T-05-2004-B*, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.

6. Direktorat Jenderal Bina Marga. 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*, Bandung.
7. Direktorat Jenderal Bina Marga. 1997. *Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota*. Jakarta.
8. Kementerian Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga, 2012, *Manual Desain Perkerasan Jalan*, No. 22.2/KPTS/Db/2012.
9. Kementerian Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga, 2013, *Manual Desain Perkerasan Jalan, Nomor 02/M/BM/2013*, Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta.
10. Keputusan Menteri Pemukiman dan Prasarana Wilayah No.353/KPTS/2001 tentang Ketentuan Teknik, *Tatacara Pembangunan dan Pemeliharaan Jalan Tol*.
11. Lintas Marga Sedaya, PT. 2015. *Detail Engineering Design Pembangunan Jalan Tol Cikopo-Palimanan*, Subang.
12. RSNI, 2004, *Pedoman Pencacahan Lalu Lintas dengan Cara Manual*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
13. SNI 03 – 6388 – 2000 *Mengenai Spesifikasi Agregat Tanah Lapis Pondasi Bawah, Lapis Pondasi, dan Lapis Permukaan*.
14. Surat Edaran Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, SE.02/AJ/AL.108/DRJ/2008, *Tentang Paduan Batasan Maksimum Perhitungan JBI (Jumlah Berat yang di Izinkan) dan JBKI (Jumlah Berat Kombinasi yang di Ijinkan) untuk Mobil Barang, Kendaraan Khusus, Kendaraan Penarik, berikut Kereta Tempelan/ Kereta Gandengan*, Jakarta.
15. Susilo, B. H, 2009, *Laporan Kajian Lalu Lintas Rencana Teknik Akhir Jalan Tol Kunciran-Serpong*.
16. Yoder, E. J. dan Witczak, M. W., 1975, *Principles of Pavement Design. Second Edition*, John Wiley and Sons Inc., New York.

LAMPIRAN

1. Modulus Reaksi Tanah Dasar Efektif dengan Koreksi Nilai LS



2. A. Rekapitulasi Penentuan Tebal Perkerasan Kaku dengan Laju Pertumbuhan 5%

DESAIN TEBAL PERKERASAN - PERKERASAN KAKU (AASHTO 93)										
Umur Rencana		UR	30							SHEET 1
Faktor Distribusi Arah		D	0.5							
Faktor Distribusi Lajur		C	0.45							
Laju Pertumbuhan		f	5							

No	Kendaraan	Berat (ton)	Konfigurasi Sumbu	ADTT kendaraan	365	C	Angka Ekuivalen (E)		TE	GF	Sum. ESAL
							Beban Sumbu				
1	Kend Ringan (1.1)	2	1.00 1.00	0	365	0.45	0.0012	0.0012	0.0000	0.0000	66.4388
2	Bus (1.2)	8	2.72 5.28	0	365	0.45	0.0644	0.1753	0.0000	0.0000	66.4388
3	Truk 2 gandar (1.2)	14	4.76 9.24	0	365	0.45	0.6037	1.6441	0.0000	0.0000	66.4388
4	Truk 3 gandar (1.2)	22	5.50 16.50	0	365	0.45	1.0762	2.0676	0.0000	0.0000	66.4388
5	Truk 4 gandar (1.2-2)	52	5.76 8.96 8.64	8.64	365	0.45	1.2945	1.4537	1.2569	5.2620	8.096.486.47
6	Truk 5 gandar (1.2-2-2)	40	7.20 16.40 16.40	0	365	0.45	3.1605	16.3160	0.6243	0.0000	20.1008
										Total	331.343.385.08

SHEET 2									
Faktor Kehilangan Daya Dukung		LS	-	1					
Modulus Reaksi Tanah Dasar Efektif		k	psi	175					
Murni Beton		fc	kg/cm2	450					
Modulus Elastisitas Beton		Ec	psi	6400.503					
Kuat Lentur Beton		S'c	kg/cm2	49.215					
Koefisien Pelarutan Beton		J	psi	700					
Koefisien Drainase		Cd	-	1.25					

SHEET 3									
CBR Tanah Dasar		CBR	%	6					
Modulus Tanah Dasar		MR	psi	9000					
Modulus Elastisitas Fondasi Bawah (lean concrete)		E _{sb}	MPa	200					
Tebal Fondasi Bawah (lean concrete)		D _{sb}	cm	29007.540					
Modulus Reaksi Tanah Dasar		k	psi	15.240					
			in	6					
			pci	463.918					

SHEET 4									
Indeks Permakaaan		I _a	-	1					
Indeks Permakaaan Akhir		I _f	psi	175					
Serviceability Loss		PSI	psi	450					
Reliabilitas		R	%	90					
Standar Normal Deviasi		Z _R	-	-1.282					
Standar Deviasi		S _o	-	0.35					

SHEET 5									
Lapis perkerasan		D	inci	cm					
Tebal Pelekat Beton			11.81	30.00					
Lean Concrete			6.00	15.24					

SHEET 6									
Check Equation		I _g W ₁₈	=	A + B					
Toleransi (4.5%)		8.52	=	8.21					
				3.76%					

SHEET 7									
Pelat Beton			30.0	cm					
lean concrete			15.2	cm					
Tanah Dasar									

2. B. Rekapitulasi Penentuan Tebal Perkerasan Kaku dengan Laju Pertumbuhan 15,8%

DESAIN TEBAL PERKERASAN - PERKERASAN KAKU (ASHTO 93)										
Umar Rencana		UR	30							SHEET 1
Faktor Distribusi Arah		D	0,5							
Faktor Distribusi Lajur		C	0,45							
Laju Pertumbuhan		i	15,8							

No	Kendaraan	Berat (ton)	Konfigurasi Sumbu	ADTT kend/hari	365	C	Angka Ekvivalen (E)		TE	GF	Sum ESAL	
							Beban Sumbu					
1	Kend Ringan (1.1)	2	1.00 1.00	0	0	0,45	0,0012	0,0000	0,0000	0,0024	509,6115	-
2	Bus (1.2)	8	2,72 5,28	0	0	0,45	0,0644	0,1753	0,0000	0,2397	509,6115	35.113.593,21
3	Truk 2 gandar (1.2)	14	4,76 9,24	0	0	0,45	0,6037	1,6441	0,0000	2,2478	509,6115	2.050.015.656,99
4	Truk 3 gandar (1.22)	22	5,50 16,50	0	0	0,45	1,0762	2,0676	0,0000	3,1437	509,6115	262.221.277,99
5	Truk 4 gandar (1.2-2.2)	32	5,76 8,96 8,64	8,64	8,64	0,45	1,2945	1,4537	1,2569	5,2650	509,6115	62.103.160,52
6	Truk 5 gandar (1.2-2-2-2)	40	7,20 16,40 16,40	0	0	0,45	3,1605	16,3160	0,6243	20,1008	509,6115	132.077.304,41
										Total	2.541.530.993,12	

SHEET 2									
Faktor Kehilangan Daya Dukung									
Modulus Reaksi Tanah Dasar Efektif									
Murni Beton									
Modulus Elastisitas Beton									
Kuat Lentur Beton									
Koefisien Pelampahan Beton									
Koefisien Drainase									
Indeks Permaknaan									
Indeks Permaknaan Awal									
Indeks Permaknaan Akhir									
Serviceability Loss									
Reliabilitas									
Standar Normal Deviasi									
Standar Deviasi									
Lapis perkerasan									
Tebal Pelat Beton									
Lean Concrete									
Check Equation									
Toleransi (±5%)									

SHEET 7									
Pelet Beton									
lean concrete									
Tanah Dasar									