

KOMPARASI HASIL PERENCANAAN *RIGID PAVEMENT* MENGGUNAKAN METODE AASHTO '93 DAN METODE Pd T-14-2003 PADA RUAS JALAN W. J. LALAMENTIK KOTA KUPANG

Lodofikus Dumin¹, Ferdinan Nikson Liem², Andreas S. S. Maridi³

Abstrak :

Selain perencanaan geometric jalan, perkerasan jalan merupakan bagian dari perencanaan jalan yang harus direncanakan secara efektif dan efisien, karena kebutuhan tingkat pelayanan jalan semakin tinggi. Jenis perkerasan jalan W.J. Lalamentik Kota Kupang adalah perkerasan lentur dengan jenis lapis permukaan adalah HRS-WC, dimana jalan tersebut sering mengalami kerusakan berulang sebagai akibat dari beban lalu lintas dan kondisi lingkungan. Perlu dicoba penggunaan perkerasan kaku untuk diketahui apakah perkerasan tahan sampai pada masa layannya. Terdapat banyak metode untuk mendesain tebal pelat beton ini, diantaranya menggunakan metode Pd T-14-2003 dan AASHTO 1993. Tulisan ini bertujuan untuk menganalisis alternatif desain tebal perkerasan mengkaji pada parameter perencanaan kedua metode, perencanaan tebal pelat beton, dan melakukan analisa perbandingan hasil kedua metode. Metode ini dimulai dengan pengumpulan data sekunder berupa data lalu lintas, data tanah dan data hidrologi, kemudian dilakukan perhitungan tebal perkerasan dengan menggunakan kedua metode, dan hasil perhitungannya dibandingkan. Parameter input perencanaan tebal perkerasan untuk metode Pd T-14-2003 adalah parameter lalu lintas, tanah dasar, pondasi bawah, pondasi bawah material berbutir, dan kekuatan beton. Parameter input perencanaan tebal perkerasan untuk metode AASHTO 1993 adalah parameter lalu lintas, modulus reaksi tanah dasar, material konstruksi perkerasan, realibility, dan koefisien drainase. Untuk studi kasus jalan W.J Lalamentik Kota Kupang tebal pelat beton berdasarkan perhitungan metode Pd T-14-2003 adalah 16 cm, sedangkan berdasarkan metode AASHTO 1993 adalah 19 cm. Selisih yang didapat yaitu 3 cm dikarenakan perbedaan parameter input dari masing-masing metode.

Kata kunci: Tebal perkerasan Kaku, Pd T-14-2003, AASHTO 1993, Jalan W.J. Lalamentik Kota Kupang.

PENDAHULUAN

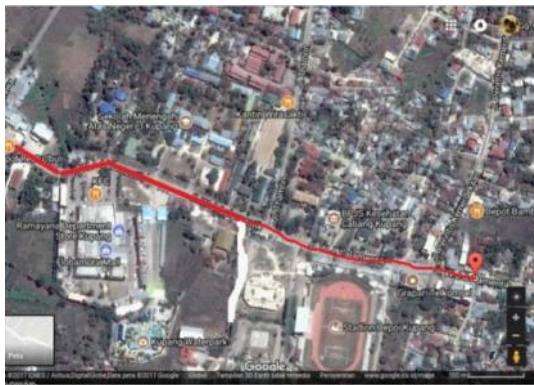
Jalan sebagai prasarana transportasi sangat dibutuhkan bagi masyarakat baik dari segi kuantitas maupun kualitasnya. Dari segi kuantitas harus dapat memenuhi kebutuhan akan jalan misalnya dengan menambah jaringan yang

ada. Sedangkan dari segi kualitasnya diharapkan diperoleh suatu struktur perkerasan jalan yang mampu melayani lalu lintas sesuai dengan umur yang direncanakan. Namun, fakta menunjukkan bahwa ada beberapa jalan di Kota Kupang sudah mengalami kerusakan dini sebelum mencapai

Dumin¹, Liem², Adalah Dosen Teknik Sipil Politeknik Negeri Kupang

Maridi³, Adalah Alumnus Program Sarjana Terapan Teknik Sipil Politeknik Negeri Kupang

umur rencana. Salah satunya pada ruas jalan W. J. Lalamentik khususnya pada segmen dari depan Gedung Kantor Bank NTT sampai depan SPBU Oebufu Kota Kupang (Gambar 1) yang keadaan perkerasan aspal secara kasat mata terlihat gelombang maupun berlubang. Keadaan jalan yang berlubang dan mengalami berbagai jenis keretakan sepanjang ruas jalan serta tidak adanya saluran drainase untuk mengalirkan air dari badan jalan, sehingga air yang tergenang dapat meresap masuk ke dalam lapisan perkerasan dan mengakibatkan terjadinya kerusakan pada pinggir perkerasan serta badan jalan sehingga kondisi ruas jalan mengalami kerusakan pada lapisan perkerasannya.



Gambar 1. Peta lokasi obyek tinjauan

Berdasarkan keadaan di lapangan, kondisi tanah dasar yang jenis tanahnya merupakan tanah lempung (lunak) dengan beban lalu lintas kendaraan yang cukup tinggi menjadi salah satu penyebab terjadinya kerusakan jalan tersebut. Konstruksi perkerasan jalan terdiri atas perkerasan lentur dan perkerasan kaku. Saat ini, konstruksi perkerasan jalan eksisiting menggunakan jenis perkerasan lentur dengan lapis permukaan perkerasan adalah HRS-WC. Perlu untuk dicoba penggunaan konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*) dengan harapan agar dapat mempertahankan umur layanan sampai pada akhir umur rencana tanpa mengalami kerusakan yang tidak perlu.

Dalam perencanaan tebal perkerasan kaku (*rigid pavement*) terdapat beberapa metode yang

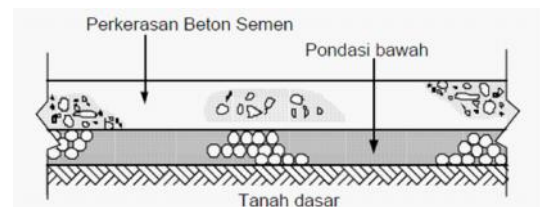
lazim digunakan di Indonesia yakni metode Pd T-14-2003 dan metode AASHTO 1993. Hasil dari kedua metode tersebut dapat menghasilkan tebal perkerasan rencana yang berbeda dikarenakan penentuan parameter input yang tidak sama. Untuk itu, tulisan ini dimaksudkan untuk menyajikan hasil perancangan tebal pelat beton *rigid pavement* dari kedua metode tersebut tanpa mengkaji sisi efektivitas maupun efisiensi dari keduanya.

2. PARAMETER PERANCANGAN RIGID PAVEMENT

Perancangan tebal pelat beton dilakukan dengan dua metode yakni metode Pd T-14-2003 dan metode AASHTO 1993, sedangkan perancangan penulangan akan dilakukan dengan cara yang sama jika tebal pelat dari masing-masing metode telah diperoleh.

Metode Pd T-14-2003

Perkerasan beton semen adalah struktur yang terdiri atas pelat beton semen yang bersambung (*tidak menerus*) tanpa atau dengan tulangan atau menerus dengan tulangan, terletak diatas lapis pondasi bawah atau tanah dasar, tanpa atau dengan lapis permukaan beraspal.



Gambar 2. Tipikal Struktur Perkerasan Beton Semen

Parameter desain metode Pd T-14-2003:

1. Tanah dasar: parameter desain adalah CBR efektif.
2. Kuat tekan beton: parameter desain adalah *flexural strength*.
3. Beban lalu lintas: parameter desain adalah JSKN.
4. Bahu jalan.
5. Sambungan yang digunakan.

Prosedur perencanaan perkerasan beton semen didasarkan atas dua model kerusakan yaitu 1). Retak fatik (lelah) tarik lentur pada pelat, dan 2). Erosi pada pondasi bawah atau tanah dasar yang diakibatkan oleh lendutan berulang pada sambungan dan tempat retak yang direncanakan.

Metode AASHTO 1993

Metoda AASHTO'93 ini pada dasarnya adalah metode perencanaan yang didasarkan pada metoda empiris. Parameter yang dibutuhkan pada perencanaan menggunakan metoda AASHTO'93 ini antara lain adalah:

1. Tanah dasar, *Modulus of subgrade reaction* (k) menggunakan gabungan formula dengan gfarfik penentuan modulus reaksi tanah berdasarkan ketentuan CBR tanah dasar
2. *Structural Number* (SN), merupakan fungsi dari ketebalan lapisan, koefisien relatif lapisan (*layer coefficients*), dan koefisien drainase (*drainage coefficients*).
3. Lalu lintas, prosedur perencanaan untuk parameter lalu lintas didasarkan pada kumulatif beban gandar standar ekivalen (*Cumulative Equivalent Standard Axle, ESAL*). Data dan parameter lalu lintas yang digunakan untuk perencanaan tebal perkerasan meliputi Jenis kendaraan, volume lalu lintas harian rata – rata, pertumbuhan lalu lintas, *Damage faktor*, Umur rencana, Faktor distribusi arah, Faktor distribusi lajur, dan *Equivalent Single Axel Load* selama umur rencana (*traffic desain*).
4. Material konstruksi perkerasan, pelat beton: a) *Fluxural strenght* (S_c) = 45 kg/cm², Kuat tekan (benda uji silinder 15 x 30 cm) ; f_c = 350 kg/cm²; b) *Wet lean concrete*: Kuat tekan (benda uji silinder 15 x 30 cm) ; f_c = 105 kg/cm²,
5. *Reliability*,

Tabel 1. *Realibility* (R) disarankan

Klasifikasi jalan	Realibility : R (%)	
	Urban	Rural
Jalan tol	85- 99,9	80 – 99,9
Arteri	80 – 99	75 – 95
Kolektor	80 – 95	75 – 95
Lokal	50 – 80	50 – 8-

Sumber: Suryawan, 2016.

6. *Drainage coefcicient*: AASTHO memberikan mutu drainase, dengan variasi *excellent, good, fair, poor, very poor*. Mutu ini di tentukan berapa lama air dapat di bebaskan.
7. *Serviceability*, Nilai *serviceability* ini diberikan dalam beberapa tingkatan antara lain: a). Untuk perkerasan yang baru dibuka (*open traffic*) nilai *serviceability* ini diberikan sebesar 4.0 – 4.2. Nilai ini dalam terminologi perkerasan diberikan sebagai nilai *initial serviceability* (Po); b). Untuk perkerasan yang harus dilakukan perbaikan pelayanannya, nilai *serviceability* ini diberikan sebesar 2.0. Nilai ini dalam terminologi perkerasan diberikan sebagai nilai *terminal serviceability* (Pt), c). Untuk perkerasan yang sudah rusak dan tidak bisa dilewati, maka nilai *serviceability* ini akan diberikan sebesar 1.5. Nilai ini diberikan dalam terminologi *failure serviceability* (Pf).
8. *Load transfer coefficient*, Pendekatan penetapan parameter *load transfer* :
 Join dengan dowel : $J = 2,5 - 3,1$ (diambil dari AASTHO 1993 halaman II-26).
 Untuk *overlay design* : $J = 2,2 - 2,6$ (diambil dari AASTHO 1993 halaman III-132).
 Dasar perencanaan dari metoda AASHTO '93 adalah persamaan seperti yang diberikan dalam persamaan di bawah ini:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R S_o + 7.35 \log_{10}(D + 1) - 0.06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right]}{1 + \frac{1624 \times 10^7}{(D + 1)^{4.4}}} + (4.22 - 0.32p) \times \log_{10} \frac{S_c C_a \times [D^{0.75} - 1.132]}{215.63 \times J \times \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c k)^{0.25}} \right]}$$

Keterangan :

W_{18} = Kumulatif beban gandar standar selama umur perencanaan (ESAL).

Z_R = *Standard Normal Deviate*.

S_o = *Combined standard error* dari prediksi lalu lintas dan kinerja.

SN = *Structural Number*.

P_o = *Initial serviceability*.

P_t = *Terminal serviceability*.

P_f = *Failure serviceability*.

M_r = *Modulus resilient* (psi)

L = Jarak antara sambungan (m)

h = Tebal plat

f_s = Tegangan tarik baja ijin (Mpa)

Penulangan pada perkerasan menerus dengan tulangan, dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$P_s = \frac{100 f_t (1,3 - 0,2F)}{f_y - n f_t}$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

Data yang dikumpulkan berupa data primer dan data sekunder. Data primer berupa Pengujian DCP untuk mengetahui nilai kekuatan tanah dasar (CBR), data lalu lintas untuk mengetahui data LHR, data pengukuran dimensi jalan; sedangkan data sekunder berupa Data pertumbuhan lalu lintas, klasifikasi jalan, data hidrologi dan drainase.

Proses analisis data dan parameter hingga diperoleh hasil yang dituju dalam tulisan ini adalah sebagaimana disajikan pada Gambar 3.

Perencanaan tulangan

Dalam desain tulangan, *tie bar* ditentukan pada Table 2, dowel pada Tabel 3.

Tabel 2. Tie bar

Jenis dan mutu baja	Tegangan kerja (psi)	Tebal perkerasan (in)	Diameter batang 1/2 in				Diameter batang 5/8 in				
			Panjang (in)	Jarak maksimum (in)	Lebar lajur 10 ft	Lebar lajur 11 ft	Lebar lajur 12 ft	Panjang (in)	Jarak maksimum (in)	Lebar lajur 10 ft	Lebar lajur 11 ft
Grade 40	30.000	6	25	48	48	48	30	48	48	48	48
		7	25	48	48	48	30	48	48	48	48
		8	25	48	44	40	30	48	48	48	48
		9	25	48	40	38	30	48	48	48	48
		10	25	48	38	32	30	48	48	48	48
		11	25	35	32	29	30	48	48	48	48
12	25	32	29	26	30	48	48	48	48		

Tabel 3. Rekomendasi dowel

Tebal perkerasan (in)	Dowel diameter (in)	Panjang dowel (in)	Jarak dowel (in)
6	3/4	18	12
7	1	18	12
8	1	18	12
9	1 1/4	18	12
10	1 1/4	18	12
11	1 1/4	18	12
12	1 1/4	18	12

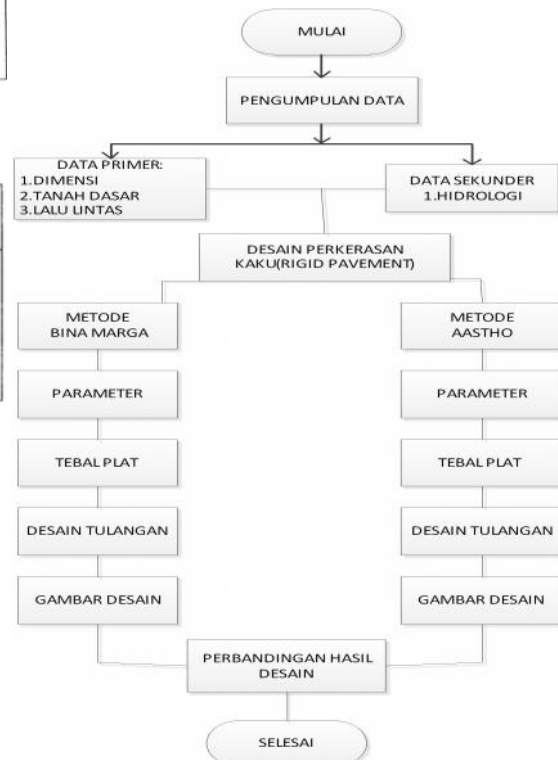
Penulangan pada perkerasan bersambung dengan tulangan, luas tulangan dihitung dengan persamaan berikut:

$$A_s = \frac{11,76 F L h}{f_s}$$

Keterangan:

A_s = luas tulangan yang di perlukan (mm²/m lebar)

F = Koefisien gesekan antara beton dengan lapisan di bawahnya.



Gambar 3. Bagan alir penulisan

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji tanah dasar dengan metode DCP diperoleh nilai CBR tanah dasar seperti berikut ini:

$$CBR \text{ rerata} = \frac{CBR1 + CBR2 + CBR3 + CBR4}{5}$$

$$\frac{15,996 + 9,344 + 6,851 + 7,380 + 8,304}{5} = 9,575\%$$

$$CBR \text{ segmen} = CBR \text{ Rerata} - \left(\frac{CBR_{maks} - CBR_{min}}{R} \right)$$

$$CBR \text{ segmen} = 9,575 - \left(\frac{15,996 - 6,851}{2,48} \right) =$$

5,89 %

Angka pertumbuhan lalu lintas digunakan nilai 6%, dengan umur rencana perkerasan 20 tahun.

Desain dengan Metode Pd T-14-2003

Kuat Tarik Lentur Beton (F_{cf}) Mutu Beton K 350

$$F_{c'} = 0,83 \times K$$

$$= 0,83 \times 350$$

$$= 290,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{cf} = K (F_{c'}/10)^{0,5}$$

$$= 0,75 \times (290,5/10)^{0,5}$$

$$= 4,04 \text{ Mpa}$$

Dengan Koefisien gesek antara pelat beton dengan pondasi (μ) = 1,0.

Mutu baja tulangan = BJTU 24 (fy (tegangan leleh) = 2400 kg/cm² = 240 MPa).

Tabel 4. Perhitungan Jumlah Sumbu Berdasarkan Jenis dan Bebannya

Jenis Kendaraan	Konfigurasi beban sumbu (ton)				Jumlah kendaraan	Jumlah sumbu Per Kend. (th)	Jumlah sumbu	STRT		STRG		STDG	
	RD	RB	RGD	RGB				BS (ton)	JS (th)	BS (th)	JS (th)	BS (th)	JS (th)
1	2				3	4	5=3x4	6	7	8	9	10	11
Mobil Perumpang	1	1			5485								
Bus	3	5			34	2	68	3	34	5	34		
Truck 2 as kecil	2	4			1021	2	2042	24	2042				
Truck 2 as besar	5	8			248	2	496	5	248	8	248		
Truck 3 as	6	14			21	2	42	6	21			14	21
Truck gandengan	6	14	5	5	3	4	12	655	9			14	3
Total							2660		2354		282		24

Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN) selama umur rencana 20 tahun :

$$JSKN = 365 \times JSKNH \times R$$

$$R = 36,8 \text{ (R diambil dari Tabel 3. Pd T-14-2003)}$$

$$\text{Maka, } JSKN = 365 \times 2660 \times 36,8$$

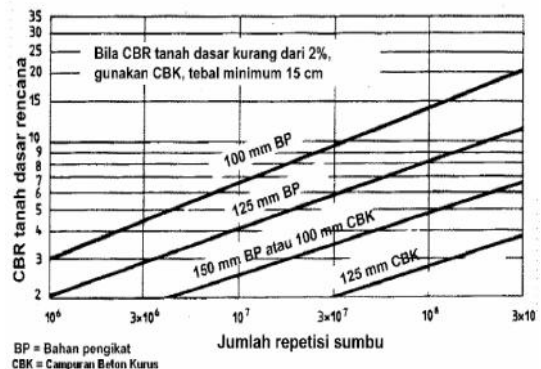
$$= 3,57 \times 10^7$$

$$JSKN \text{ rencana} = 0,5 \times 3,57 \times 10^7 = 1,78 \times 10^7.$$

Tabel 5. Perhitungan repetisi sumbu rencana

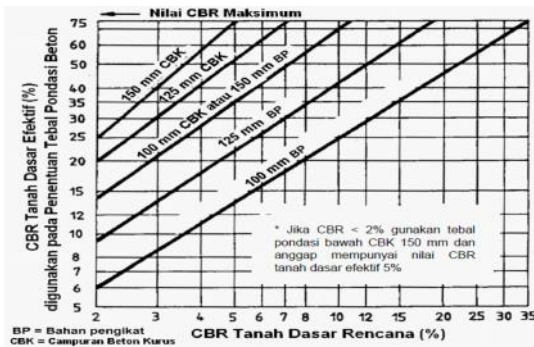
Jenis Sumbu	Beban Sumbu	Jumlah Sumbu	Proporsi Beban	Proporsi sumbu	Lalu lintas Rencana	Repetisi yang terjadi
1	2	3	4	5	6	7 = 4 x 5 x 6
STRT	6	21	0,01	0,88	1,78 x 10 ⁷	141.036,00
	5	248	0,11	0,88	1,78 x 10 ⁷	1.665.568,00
	4	1021	0,43	0,88	1,78 x 10 ⁷	6.857.036,00
	3	43	0,02	0,88	1,78 x 10 ⁷	288.788,00
	2	1021	0,43	0,88	1,78 x 10 ⁷	6.857.036,00
Total		2354	1,00			
STRG	8	248	0,88	0,11	1,78 x 10 ⁷	1.665.568,00
	5	34	0,12	0,11	1,78 x 10 ⁷	228.344,00
Total		282	1,00			
STDG	14	24	1,00	0,01	1,78 x 10 ⁷	161.184,00
Total		24	1,00			
Kumulatif		2660		1,00		17.864.560,00

Bahu jalan = Ya
 Ruji (dowel) = Ya (diameter 28 mm)
 Bahan pondasi bawah = Stabilisasi
 Tipe jalan = Jalan Kolektor dengan perkerasan BBDT



Gambar 4. Grafik Penentuan Tebal Pondasi

Jenis dan tebal lapis pondasi = Beton Korus (CBK) = 10 cm
 Tebal taksiran pelat = 16 cm



Gambar 5. Grafik Penentuan CBR Efektif Tanah Dasar

CBR efektif = 15%

Tabel 6. Tegangan ekuivalen dan faktor erosi untuk perkerasan dengan bahu beton

Tebal Slab (mm)	CBR Ef Tanah Dasar (%)	Tegangan Setara				Faktor Erosi							
		STRT	STRG	STARG	STARG	Tanpa Ruji				Dengan Ruji/Beton Bertulang			
						STRT	STRG	STARG	STARG	STRT	STRG	STARG	STARG
180	5	1,29	1,98	1,67	1,33	2,26	2,87	2,93	2,95	2,06	2,69	2,72	2,77
180	10	1,24	1,97	1,56	1,28	2,24	2,85	2,88	2,89	2,04	2,64	2,67	2,69
180	15	1,21	1,82	1,51	1,23	2,24	2,84	2,85	2,86	2,04	2,64	2,64	2,66
180	20	1,2	1,79	1,49	1,21	2,23	2,83	2,84	2,84	2,03	2,63	2,62	2,64
180	25	1,18	1,75	1,46	1,2	2,23	2,83	2,82	2,82	2,02	2,62	2,6	2,62
180	35	1,15	1,67	1,41	1,17	2,22	2,82	2,79	2,78	2	2,61	2,56	2,57
180	50	1,12	1,6	1,36	1,15	2,2	2,8	2,75	2,75	1,98	2,59	2,53	2,53
180	75	1,1	1,52	1,3	1,13	2,18	2,78	2,72	2,69	1,97	2,57	2,5	2,49

Tabel 7. Analisa fatik dan erosi

Jumlah sumbu	Beban sumbu (ton)	Beban rencana per roda (kN)	Repetisi yang terjadi	Faktor tegangan dan erosi	Analisa fatik		Analisa erosi		
					Repetisi (juta)	Persen rusak (%)	Repetisi (juta)	Persen rusak (%)	
1	STRT	6(60)	33,00	141,036,00	TE=1,21 FRT=0,30 FE=2,04	2000000	0,31	TT	0
						TT	0	TT	0
						TT	0	TT	0
						TT	0	TT	0
1	STRG	8(80)	22,00	1,665,568,00	TE=1,82 FRT=0,45 FE=2,64	1500000	11,10	420000	39,66
						TT	0	TT	0
						TT	0	TT	0
						TT	0	TT	0
1	STARG	14(140)	19,25	161,184,00	TE=1,51 FRT=0,38 FE=2,64	8000000	0	8000000	0,20
						TT	0	TT	0
						TT	0	TT	0
						TT	0	TT	0
Total						11,81%	100%	39,86%	100%

Karena persentase Fatik (lelah) 11,81% < 100% dan Erosi 39,86% < 100% maka tebal pelat dipakai 16 cm.

Desain dengan Metode AASHTO 1993

Perhitungan Beban lalulintas ditunjukkan dalam Tabel 8 berikut ini.

Tabel 8. Perhitungan Nilai W₁₈ (ESAL)

Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan	VDF	DD	DL (%)	Hari dalam setahun	W18
1	2	3	4	5	6	7=2x3x4x5x6
Mobil Penumpang	5485	0,0012	0,5	0,9	365	1081,0935
Bus	34	1,0413	0,5	0,9	365	5815,13985
Truck 2 as kecil	1021	0,2458	0,5	0,9	365	41220,47565
Truck 2 as besar	248	2,9918	0,5	0,9	365	121867,9812
Truck 3 as	21	5,3443	0,5	0,9	365	18433,82678
Truck gandengan	3	5,5814	0,5	0,9	365	2750,23485
Total						191168,7518

Nilai W₁₈ dalam 1 tahun adalah 191168,75 ESAL, sedangkan lalulintas yang digunakan untuk perencanaan tebal perkerasan kaku adalah lalu lintas kumulatif selama umur rencana. Secara numeric rumusan lalu lintas kumulatif ini adalah:

$$W_t = W_{18} \times \frac{(1 + g)^{n-1}}{g} = 191168,75 \times \frac{(1 + 0,06)^{20-1}}{0,06} = 9.640.001,25 \text{ ESAL}$$

$$\text{Modulus reaksi tanah dasar, } k = \frac{MR}{19,4} = \frac{1500 \times CBR}{19,4} = \frac{1500 \times 5,89}{19,4} = 455,41 \text{ psi}$$

Modulus elastisitas beton dapat diketahui dengan rumus :
 $f'c = 421,46 \text{ kg/cm}^2 = 5993 \text{ psi}$
 $Sc = 45 \text{ kg/cm}^2$ (yang umum digunakan di Indonesia).

$$Ec = 57000 \sqrt{f'c} = 57000 \sqrt{5993} = 4412624,73 \text{ psi}$$

Nilai *standard deviation* berdasarkan nilai *reability* 90% adalah -1,282, koefisien drainase termasuk golongan *good* dengan nilai koefisien drainase 1,15 – 1,20, maka diambil nilai tengahnya yaitu 1,175. $Po = 4$, $Pt = 2,5$, $So = 0,35$, *Load transfer coefficient* (J) = 2,4.

Maka diperoleh:

$$\begin{aligned} \text{Log}_{10} Wt = & Z_R S_o + 7,35 \log \\ & (D+1) - 0,06 + \frac{\log \frac{\Delta PSI}{4,5 - 1,5}}{1 + \frac{1,624 \times 107}{(D + 1)8,46}} \\ & + (4,22 - 0,32pt) \times \log \frac{S_c C_d \times (D0,75 - 1,132)}{215,63 \times J \times (D0,75 - \frac{18,42}{(E_c \cdot k)^{0,25}})} \end{aligned}$$

6,98 = 6,98 → nilai “D” dimasukan dengan *trial and error* diperoleh : 7,14 inch = 18,136 = 19 cm.

5. KESIMPULAN

Hasil Perencanaan perkerasan kaku pada ruas jalan W.J. Lalamentik didapatkan ketebalan pelat beton perkerasan jalan menggunakan metode Pd.T-14-2003 adalah 16 cm, dengan tulangan memanjang dan melintang digunakan diameter 12 - 300 mm, Ruji digunakan diameter 28 mm, panjang 45 cm, jarak 75 cm dan batang pengikat (*Tie bar*) digunakan besi ulir diameter 16 mm, jarak 75 cm. Dari metode AASTHO 1993, didapatkan tebal pelat adalah 19 cm dengan tulangan memanjang dan melintang diameter 12 – 400 mm. Ruji digunakan diameter diameter 16 cm, panjang 46 cm, jarak 31 cm. Batang pengikat (*Tie bar*) digunakan besi ulir diameter 12 mm, panjang 64 cm, jarak 97 cm.

DAFTAR PUSTAKA

- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 1993. *Interim Guide for design of pavement structure*. USA.
- Departemen Perhubungan dan Prasarana Wilayah. (2003). *Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen*. Jakarta: Pusat Litbang Prasarana Transportasi.
- Direktorat Jenderal Pekerjaan Umum. (1995). *Petunjuk Teknik Survey dan Perencanaan Teknik Jalan Kabupaten No. 013/T/Bt/1995*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Hardiyatmo Christady. 2011. *Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah*. Yogyakarta: Gadjaja Mada University Press.
- Pd.T-14-2003 tentang *Perencanaan Perkerasan Beton Semen*. Badan Standar Nasional. Jakarta.
- Suryawan. A, 2016. *Perkerasan Jalan Beton Semen Portland (Rigid Pavement)*. Seri buku Teknik Sipil Praktis. Jogjakarta.