

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Infrastruktur untuk transportasi mencakup semua komponen jalan, termasuk peralatan yang terhubung dengan lalu lintas, bangunan pelengkap, dan bangunan pelengkap. Jalan terletak permukaan air, tidak termasuk jalur kabel, rel kereta, dan truk. Jalan khusus adalah jalan yang dibangun untuk penggunaan pribadi oleh pasukan militer, bisnis milik negara, bisnis lokal, organisasi masyarakat, dan lembaga pemerintah federal atau lokal. Jalan umum adalah jalan yang dimaksudkan untuk digunakan oleh semua orang. (UU Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2022 Pasal 1)

Istilah "perkerasan beton semen" mengacu pada konstruksi dari lapisan pondasi bawah, yang juga dikenal sebagai tanah dasar, dan lempengan beton semen yang terus-menerus, baik dengan maupun tanpa tulangan dan lapisan permukaan aspal yang dilapisi di atasnya. (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2003)

Meningkatnya aktivitas dan kebutuhan manusia sebagai akibat dari pertumbuhan penduduk yang cepat meningkatkan kebutuhan infrastruktur transportasi, yang pada akhirnya meningkatkan arus lalu lintas menyebabkan kemacetan. Semua disebabkan oleh infrastruktur yang tidak mampu melayani arus lalu lintas. Oleh karena itu, tindakan harus diambil untuk memastikan bahwa kebutuhan transportasi terpenuhi dengan baik. (*pavement*). (Purba, 2017)

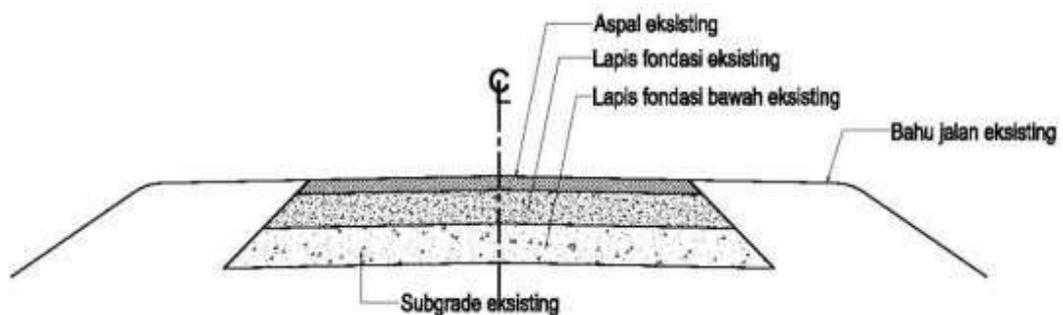
Lestari dalam Nurrahmat, 2021 menyatakan bahwa umur rencana perkerasan kaku untuk umur rencana yang panjang 40 tahun memberikan kontribusi terhadap tingkatan jalan dengan perkerasan kaku untuk rencana guna perkerasan kaku dibandingkan perkerasan lentur volume lalu lintas. Tanah tidak mungkin dapat menahan beban roda berulang kali dengan sendirinya yang mengalami deformasi berarti. sebab itu, membutuhkan lapisan tambahan, juga dikenal sebagai lapisan atas badan jalan, untuk berada pada tanah juga roda kendaraan. Bahan-bahan khusus digunakan untuk membuat lapisan atas ini, yang juga dikenal sebagai perkerasan atau lapisan keras, untuk meningkatkan kualitas. (Sulaksono, 2000)

2.2 Perkerasan Jalan

Sukirman dalam Nurrahmat (2021) menegaskan bahwa salah satu faktor yang berkontribusi terhadap kerusakan jalan adalah perkerasan jalan. Oleh karena itu, selain dibutuhkan sistem drainase jalan yang memadai, jalan yang baik adalah jalan yang memiliki sifat kedap air. Semen portland dan agregat aspal diikat bersama dengan pengisi pori untuk menciptakan karakteristik kedap air. Perkerasan jalan dapat dikategorikan menjadi tiga jenis untuk membentuk lapisan atas berdasarkan bahan pengikat yang digunakan: perkerasan kaku, yang terbuat dari bahan semen portland, perkerasan lentur, yang terbuat dari perkerasan aspal dengan menggunakan bahan pengikat, dan perkerasan kaku digabung dengan perkerasan lentur, dikenal juga sebagai perkerasan komposit. Saat ini, perkerasan lentur dan perkerasan kaku merupakan dua kategori yang digunakan untuk menggambarkan kelompok tersebut di atas.

Berdasarkan bahan pengikatnya, ada tiga jenis konstruksi perkerasan jalan:

1. Perkerasan yang dibangun dengan bahan lentur atau aspal yang berfungsi sebagai pengikat.
2. Konstruksi perkerasan kaku
3. Kombinasi perkerasan lentur dan kaku

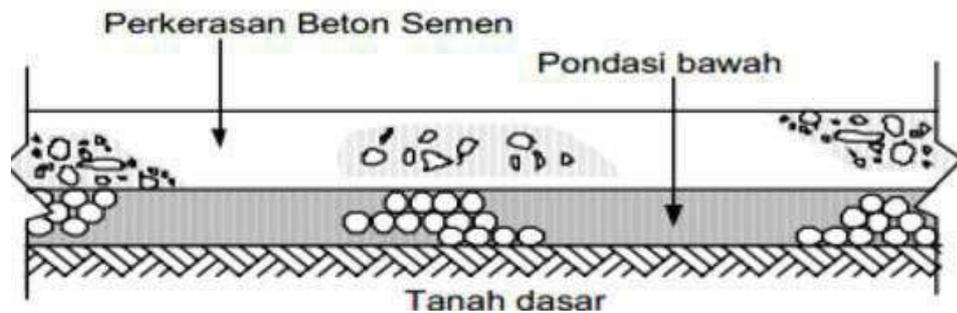


Gambar 2. 1 Perkerasan Lama

Sumber : Manual *Design* Perkerasan 2014

2.3 Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Perkerasan kaku dibangun dengan *cement portland* sebagai dasarnya. Struktur perkerasan ditopang oleh lapisan tanah dasar, yang berfungsi sebagai lapisan bantalan homogen di bawah lapisan pondasi bawah, dan struktur perkerasan kaku yang dilapisi oleh pelat beton. (Silvia Sukirman, 2010)



Gambar 2. 2 Struktur Perkerasan Beton Semen

Sumber : SNI Perkerasan Beton Semen Pd T-14-2003

2.4 Perencanaan Teknis Metode *American Association of State Highway and Transportation Officials*

Penerapan perencanaan perkerasan kaku, seperti yang didefinisikan oleh AASHTO 1993, tunduk pada pedoman khusus. Berikut ini adalah daftar tindakan, protokol, dan faktor perencanaan yang dapat diterapkan.

2.4.1 Lapis Tanah Dasar (*Subgrade*)

Pengujian CBR sesuai SNI 03-1731-1989 atau pengujian CBR laboratorium sesuai SNI 03-1744-1989 digunakan mendesain tebal perkerasan jalan yang ada dan yang baru serta menentukan daya dukung tanah dasar. Bila tanah dasar memiliki nilai CBR kurang 2%, direkomendasikan untuk memasang pondasi beton campuran tipis 15 cm dengan perkiraan nilai CBR tanah dasar efektif 5%. (Binamarga, 2003)

2.4.2 Lapis Pondasi Bawah (*Subbase Course*)

Bahan pondasi bawah:

1. Bahan berbutir
2. (*lean rolled concrete*), Stabilisasi beton kurus giling padat
3. (*lean – mix concrete*), Campuran beton kurus

Lapisan bawah yang ditutupi, tanah dasar adalah lapisan pondasi. Bahan lapis pondasi di bawah material yang lebih unggul tanah dasar yang digunakan adalah tanah dengan CBR 20% dan indeks plastisitas (PI) 10, sesuai dengan SNI -1732-1989-F dan Pt T-01-2002B. Tidak akan ada ruji-ruji pada perkerasan beton semen menerus jika tanah dasar menggunakan campuran beton tanpa ruji (*lean concrete*).

2.4.3 Analisis Lalu – Lintas (Traffic Desain)

A. Umur Rencana

Perkerasan Umur rencana, yang dihitung menggunakan metode *Internal Rate of Return* dan *Benefit Cost Ratio* di antara metode-metode lainnya, adalah saat jalan dibuka untuk lalu lintas kendaraan jumlah tahun hingga diperlukan perbaikan struktural. Hal ini dipengaruhi oleh fungsional jalan, situasi lalu lintas, dan nilai ekonomi. Ketika direncanakan, perkerasan beton semen memiliki umur 20-40 tahun. Seperti dapat dilihat pada tabel 2.1, Bina Marga menghitung umur rencana setiap jenis perkerasan jalan.

Tabel 2. 1 Umur Rencana

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana
Perkerasan Lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir	20
	Pondasi jalan	40
	Semua perkerasan untuk daerah yang tidak dimungkinkan pelapisan ulang (<i>overlay</i>), seperti: jalan perkotaan, <i>wideryards</i> , jembatan, terowongan.	
	<i>Cement Treated Based</i> (CTB)	
Perkerasan Kaku	Lapis pondasi atas, lapis pondasi bawah, lapis beton semen, dan pondasi jalan.	
Jalan tanpa penutup	Semua elemen (termasuk pondasi Jalan)	Minimum 10

Sumber: SNI Perkerasan Beton Semen Pd T-14-(2003)

B. Parameter Lalu Lintas

Penting untuk mendistribusikan seluruh beban gandar ekuivalen menurut lajur dan arah. Menurut AASHTO 1993, faktor distribusi arah (DD) bervariasi dari 30 hingga 70%, atau antara 0,3 hingga 0,7, tergantung pada lajur mana yang paling sering dilalui truk berat.

Salah satu bagian jalan dengan volume lalu lintas terbesar dari kendaraan bisnis adalah lajur rencana. Jumlah paling sedikit ditemukan pada kendaraan niaga dengan dua gandar, masing-masing kelompok roda memiliki setidaknya 1 roda tunggal dan berat total minim lima ton / 50 Kn. Saat menghitung ekuivalensi beban di Inggris, beban kendaraan diperhitungkan.

Tabel 2. 2 Faktor Distribusi Lajur (D_L) untuk Perancangan Perkerasan

Jumlah lajur per arah	AASHTO (1993)
	Persentase ESAL dalam lajur rencana (%)
1	100
2	80 – 100
3	60 – 80
4	50 – 75

Sumber : AASHTO (1993)

Tabel 2. 3 Jumlah Lajur berdasarkan Lebar Perkerasan dan Koefisien Distribusi Kendaraan Niaga pada Lajur Rencana

Lebar Perkerasan (L_p)	Jumlah Lajur (n_l)	Koefisien Distribusi (D_D)	
		1 Arah	2 Arah
$L_p < 5,50$ m	1 Lajur	1	1
$5,50 \text{ m} \leq L_p < 8,25$ m	2 Lajur	0,70	0,5
$8,25 \text{ m} \leq L_p < 12,5$ m	3 Lajur	0,50	0,475
$11,25 \text{ m} \leq L_p < 15,00$ m	4 Lajur	-	0,45
$15,00 \text{ m} \leq L_p < 18,75$ m	5 Lajur	-	0,425
$18,75 \text{ m} \leq L_p < 22,00$ m	6 Lajur	-	0,40

Sumber : Departement Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2003

C. Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Persamaan berikut digunakan menghitung faktor pertumbuhan lalu lintas, menyebabkan lalu lintas meningkat pada masa rencana sampai kapasitas jalan terpenuhi.:

$$R = \frac{(1 + i)^n - 1}{i} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana :

- R : Pertumbuhan lalu lintas (Faktor)
- i : Pertumbuhan lalu lintas pertahun (%)
- n : Periode analisis (Umur rancangan)

Tabel 2.4 juga digunakan untuk menghitung faktor pertumbuhan lalu lintas (R).

Tabel 2. 4 Faktor Pertumbuhan Lalu-Lintas (%)

	Jawa	Sumatera	Kalimantan	Rata – rata Indonesia
Arteri Dan Perkotaan	4,80	4,83	5,14	4,75
Kolektor Rular	3,50	3,50	3,50	3,50
Jalan Desa	1,00	1,00	1,00	1,00

Sumber : manual desain perkerasan 2017

D. Perhitungan *Equivalent Single Axle Load* (ESAL)

Menurut pendekatan desain perkerasan jalan dari AASHTO, setiap jalur lalu lintas harus diubah menjadi beban ganda tunggal ekuivalen sebesar delapan puluh sembilan kilogram (80 kN). Pendekatan ini memerlukan faktor ekuivalensi beban gandar untuk merepresentasikan beban gandar yang berbeda ke dalam satu parameter desain. Total ESAL dihasilkan oleh track dengan 1 gandar adalah faktor ekuivalensi beban. Beban gandar tunggal sebesar 18 kip (atau 80 kN = 8,16 ton) dengan ban kembar diujungnya menyebabkan kerusakan, yang mana faktor ekuivalensi dihitung berdasarkan efek kerusakan proporsional dari berbagai jenis kendaraan.

Pada lajur beban gandar lalu lintas desain umur rencana dikenal sebagai beban gandar tunggal ekuivalen (*ESAL*), dan dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$W_{18} = \sum_{N_1}^{N_n} LHR_j \times DF_j \times D_A \times D_L \times 365 \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana:

W_{18} = *Traffic design* pada lajur lalu-lintas, *Equivalent Single Axle Load*.

LHR_j = Jumlah lalu-lintas harian rata-rata 2 arah untuk jenis kendaraan *j*.

DF_j = *Damage factor* untuk jenis kendaraan *j*.

D_A = Faktor distribusi arah.

D_L = Faktor distribusi lajur.

N_1 = Lalu-lintas pada tahun pertama jalan dibuka.

N_n = Lalu-lintas pada akhir umur rencana.

Lalu lintas total umur rencana digunakan menghitung tebal perkerasan kaku. Rumus berikut digunakan mendapatkan nilai lalu lintas kumulatif.

$$W_t = W_{18} \times \frac{(1 + i)^n - 1}{i} \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana:

W_t = Jumlah beban gandar tunggal standar kumulatif.

W_{18} = *Traffic design* atau *Equivalent Single Axle Load (ESAL)* pada lajur lalu lintas

n = Umur rencana (tahun).

i = Pertumbuhan lalu lintas (%).

E. *California Bearing Ratio*

Perkerasan kaku menggunakan parameter modulus respons tanah dasar (*k*) untuk menghitung nilainya. Di Indonesia, CBR 6% paling sering digunakan untuk tanah dasar, berdasarkan standar. Studi geoteknik menunjukkan bahwa nilai tanah dasar CBR 5% atau 4% dapat digunakan; jika CBR digunakan sebagai dasar perencanaan, nilai CBR harus kurang dari 6%.

F. Lalu Lintas harian rata-rata

Volume lalu lintas kendaraan bermotor rata-rata yang diamati kedua arah selama periode 24 jam disebut lalu lintas harian rata-rata. Jumlah tahun, diukur pada tahun, antara pembukaan jalan dan titik di mana perbaikan yang signifikan diperlukan atau apakah lapisan permukaan baru dianggap sesuai. Hal ini dikenal sebagai umur rencana. Rumus berikut ini digunakan untuk menghitung LHR:

$$LHR_o = (1 + i)^{UR} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

LHR_o : LHR pada awal umur rencana

I : Perkembangan lalu lintas pertahun

UR : Umur Rencana

2.4.4 Parameter Perhitungan Tebal Plat

A. Reliability

Keandalan adalah kemungkinan perkerasan diusulkan semakin terus memuaskan masa layan. Pada AASHTO 1993, keandalan berkisar antara 50% hingga 99,99%. Hal ini berarti bahwa desain harus memperhitungkan potensi melesetnya desain. Potensi perbedaan, atau variasi, antara kondisi yang diinginkan dan kondisi aktual. Besaran desain yang sesuai untuk hal ini adalah sebagai berikut:

1. Kinerja perkerasan

Prediksi kinerja perkerasan ditemukan pada kemampuan pelayanan awal $P_o = 4,5$ (angka yang berkisar antara 0-5) dan angka desain kemampuan pelayanan akhir $P_t = 2,5$ (pada jalan utama).

2. Peramalan lalu lintas

Investigasi berbeda diperlukan untuk prakiraan lalu lintas, dibandingkan dengan hanya mengandalkan rumus empiris. Ketika dilakukan secara eksperimental, linier atau menggunakan data sekunder, ketergantungannya jauh lebih baik.

3. Pelaksanaan konstruksi

Dalam Spesifikasi dibatasi pada tingkat/kondisi dimana perkerasan memenuhi atau melampaui persyaratan desain dalam hal pelaksanaan konstruksi. Spesifikasi minimum bahkan merupakan desain. Nilai untuk deviasi standar (R) dan deviasi normal standar (ZR). Standar

deviasi perkerasan kaku adalah antara 0,30 dan 0,40 pada tabel 2.5 dan 2.6

Tabel 2. 5 Reliability (R)

Klasifikasi jalan	Reliability R (%)	
	Dalam Kota	Luar Kota
Jalan tol	85 – 99,9	80 – 99,9
Arteri	80 – 99	75 – 95
Kolektor	80 – 95	75 – 95
Lokal	50 – 80	50 – 80

Sumber: AASHTO 1993

Tabel 2. 6 Standard Normal Deviation (ZR).

R (%)	ZR		R (%)	ZR
50	-0,000		93	-1,476
60	-0,253		94	-1,555
75	-0,674		96	-1,751
80	-0,841		97	-1,881
85	-1,037		98	-2,054
90	-1,282		99	-2,327
91	-1,340		99,9	-3,090
92	-1,405		99,99	-3,750

Sumber: AASHTO 1993

B. Serviceability

Indeks kemampuan pelayanan terminal (pt) berhubungan dengan AASHTO 1993. Awal kemampuan pelayanan perkerasan kaku: $p_o = 4,5$ (berasal dari AASHTO 1993). Kehilangan total kemampuan pelayanan:

$$\Delta \text{PSI} = P_o - P_t \dots\dots\dots(2.5)$$

- *Initial serviceability* : $P_o = 4,5$
- *Terminal serviceability index Jalur utama (major highways)* : $P_t = 2,5$
- *Serviceability loss (ΔPSI) = $\Delta \text{PSI} = P_o - P_t$*

C. Modulus Reaksi Tanah Dasar

Modulus reaksi tanah dasar (k) dipastikan dengan digunakan gabungan rumus dan angka untuk memastikan kebutuhan CBR tanah dasar.

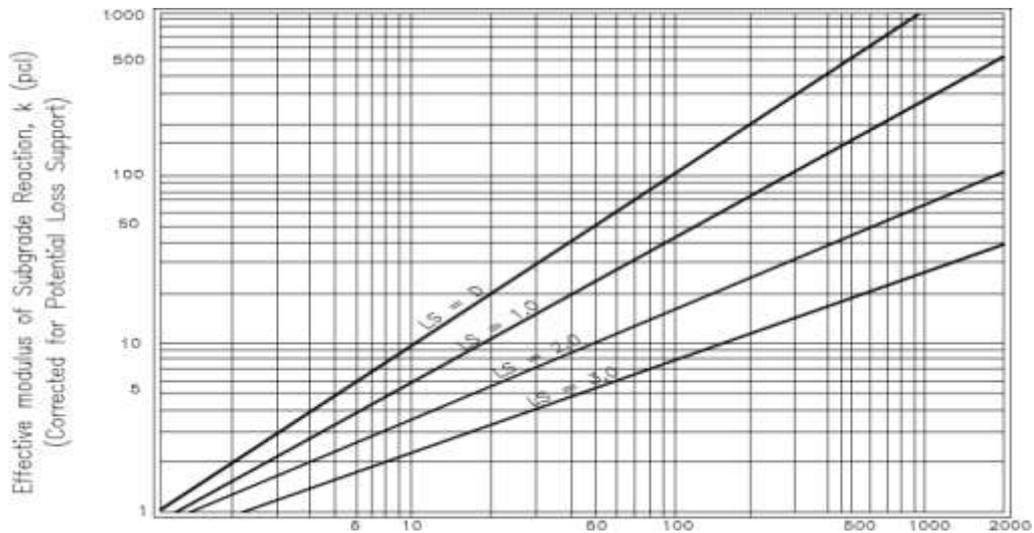
$$M_R = 1.500 \times \text{CBR}$$

$$k = \frac{M_R}{19,4} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana:

MR = Resilient Modulus.

K = Modulus Reaksi Tanah Dasar



Gambar 2. 3 Effective Modulus of Subgrade Reaction, k (pci)

Sumber: AASHTO 1993

D. Modulus Elastisitas Beton (Ec) dan Flextural Strength (Sc')

$$E_c = 57.000\sqrt{fc'} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana:

Ec = Modulus elastisitas beton (psi).

fc' = Kuat tekan beton, silinder (psi).

Jika ditentukan, spesifikasi pekerjaan digunakan untuk menetapkan kuat tekan beton (fc'). Indonesia, saat ini fc' = 350 kg/m.

Rumus ini dapat digunakan untuk menentukan nilai kuat lentur beton (Sc').

$$Sc' = 0,75\sqrt{(fc')} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana:

Sc' = Nilai kuat lentur beton

Fc' = Kuat tekan beton, silinder (psi)

E. Koefisien Transfer Beban (*Load Transfer*)

Ketika mendesain perkerasan kaku, koefisien transfer beban (J) digunakan untuk mempertimbangkan seberapa baik struktur perkerasan beton dapat menyebarkan atau mentransfer beban melalui sambungan atau retakan. Keberadaan bahu beton, penguncian agregat, dan alat pemindah beban seperti pena, semuanya akan berdampak pada nilai koefisien transfer beban (J).

Tabel 2. 7 Koefisien Transfer Beban (J)

Bahu jalan	Aspal		Pelat Beton Semen Portland Terikat	
	Ya	Tidak	Ya	Tidak
Alat Transfer Beban				
Tipe Perkerasan :				
Perkerasan beton tak bertulang bersambungan (JPCP) dan bertulang bersambungan (JRCP)	3,2	3,8 – 4,4	2,5 – 3,1	3,6 - 42
Perkerasan beton bertulang bersambungan (CRCP)	2,9 – 3,2	N/A	2,3 – 2,9	N/A

Sumber: AASHTO 1993

F. Tebal Minimum Lapis Perkerasan

Tabel 2.8, yang diturunkan dari AASHTO 1993, memberikan ketebalan minimum untuk setiap lapisan perkerasan.

Tabel 2. 8 Tebal Minimum Lapisan *Base*

<i>Trafic ESAL</i>	<i>Aggregate Base</i>
< 50.000	4,0 inch
50.001 – 150.000	4,0 inch
150.001 – 500.000	4,0 inch
500.001 – 2.000.000	6,0 inch
2.000.001 – 7.000.000	6,0 inch
> 7.000.000	6,0 inch

Sumber: AASHTO 1993

G. Persamaan Penentuan Tebal Plat (D) metode AASHTO 1993

Berikut ini adalah perhitungan ketebalan pelat berdasarkan data percobaan jalan AASHTO untuk beberapa jenis dan variasi perkerasan:

$$\begin{aligned}
 \log_{10} W_{18} = & Z_R S_o + 7,35 \log_{10}(D + 1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,5 - 1,5} \right]}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(D + 1)^{8,46}}} + \\
 & (4,22 - 0,32 p_t) \times \log_{10} \frac{S'_c C_d \times [D^{0,75} - 1,132]}{215,63 \times J \times \left[D^{0,75} - \frac{18,42}{(E_c \cdot k)^{0,25}} \right]} \dots\dots\dots(2.9)
 \end{aligned}$$

Dimana :

- W18 = *Traffic design, Equivalent Single Axle Load (ESAL).*
- ZR = *Standard normal deviasi.*
- So = *Standard deviasi.*
- D = *Tebal pelat beton (in).*
- ΔPSI = *Serviceability loss selisih initial seriveability dengan seriveability = po –pt*
- Po = *Failure serviceability.*
- Pt = *Terminal serviceability index.*
- Sc’ = *Modulus of rupture sesuai spesifikasi pekerjaan (psi).*
- Cd = *Drainage coefficient.*
- J = *Load transfer coefficient.*
- Ec = *Modulus elastisitas (psi).*
- k = *Modulus reaksi tanah dasar (pci).*

2.5 Perencanaan Penulangan

Tujuan utama dari distribusi tulangan baja bukan untuk menghentikan pelat beton dari keretakan, namun lebih sebagai pembatas lebar retakan terbentuk di area beban terpusat. Hal ini mencegah pelat beton terbelah di area retak dan menjaga kekuatan pelat. Panjang sambungan susut menentukan berapa banyak yang didistribusikan tulangan baja untuk tujuan; dalam skenario ini, pelat yang panjang dapat digunakan untuk pengurangan jumlah sambungan melintang dan kenyamanan meningkat.

A. Kebutuhan Penulangan Pada Perkerasan Bersambung Tanpa Tulangan

Jika tekanan yang tak terelakkan mungkin timbul, tulangan masih diperlukan pada perkerasan bersambung yang tidak diperkuat untuk mengurangi keretakan. Beberapa aplikasi umum untuk perkuatan unik ini adalah:

- Pelat tipis tambahan.
- Tidak tepatnya sambungan.

B. Penulangan Pada Perkerasan Bersambung Dengan Tulangan

Persamaan berikut digunakan untuk menentukan tulangan perkerasan dalam kasus ini:

$$A_s = \frac{11,76 FLh}{f_s} \dots\dots\dots(2.10)$$

dimana :

- As = luas tulangan yang diperlukan (mm²/m lebar)
- F = koefisien gesekan antara pelat beton dengan lapisan di bawahnya
- L = jarak antara sambungan (m)h = tebal pelat (mm)
- Fs = tegangan tarik baja ijin (MPa)

Menurut SNI 1991 As min untuk segala keadaan = 0,14 % dari luas penampang beton

- **Penulangan Melintang**

Perkerasan beton menerus juga perlu memiliki tulangan melintang, dihitung menggunakan rumus sama pada tulangan perkerasan beton yang disambung dengan tulangan.

2.6 Sambungan

Untuk merencanakan sambungan perkerasan kaku, bagian yang direncanakan harus merupakan jenis perkerasan beton menerus dengan tulangan ataupun tanpa tulangan, dengan jenis perkerasan beton menerus pada tulangan dibedakan satu sama lain.

A. Jenis Sambungan

Sambungan perkerasan beton berfungsi untuk menciptakan ruang bagi tegangan yang diakibatkan oleh gesekan, variasi temperatur dan kelembaban, dan konstruksi (pelaksanaan). Terdapat 3 jenis sambungan utama yang terdapat pada perkerasan beton, dan cara kerjanya:

- **Sambungan susut**

Sambungan bidang lebih lemah yang didesain membelokkan tegangan tarik yang diakibatkan oleh perubahan suhu, kelembaban, dan gesekan untuk menghentikan keretakan. Permukaan beton akan retak secara acak jika sambungan susut tidak dipasang.

- **Sambungan muai**

Mempersiapkan celah muai perkerasan adalah tugas utamanya karena mencegah penumpukan beban tekan, yang jika tidak, menyebabkan perkerasan menjadi bengkok.

- **Sambungan Kontruksi (pelaksanaan)**

Penting sebagai persyaratan bangunan (jeda juga melanjutkan pengecoran). Ketebalan perkerasan dan luasnya alat atau mesin pengaspalan digunakan untuk memodifikasi jarak antara sambungan memanjang.

2.7 Dowel (ruji)

Pada sambungan pelat beton perkerasan jalan, dowel - sambungan batang baja polos digunakan untuk sambungan pengikat. Untuk memberikan fleksibilitas gerakan pada sambungan dan berfungsi sebagai pendistribusi beban, pasak dimasukkan dengan separuh dari panjangnya diikat dan separuhnya lagi dilumasi atau dicat.

$$d = \frac{D}{8} \dots\dots\dots(2.11)$$

dimana :

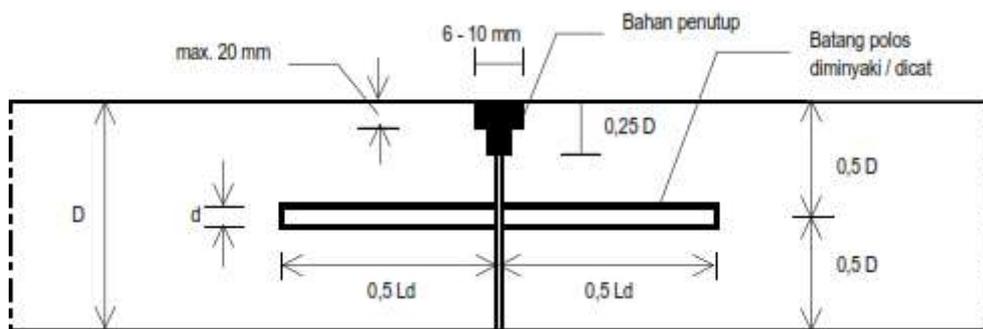
d = Diameter dowel (inches).

D = Tebal pelat beton (inches).

Tabel 2. 9 Ukuran dan Jarak Batang Dowel (ruji) yang disarankan.

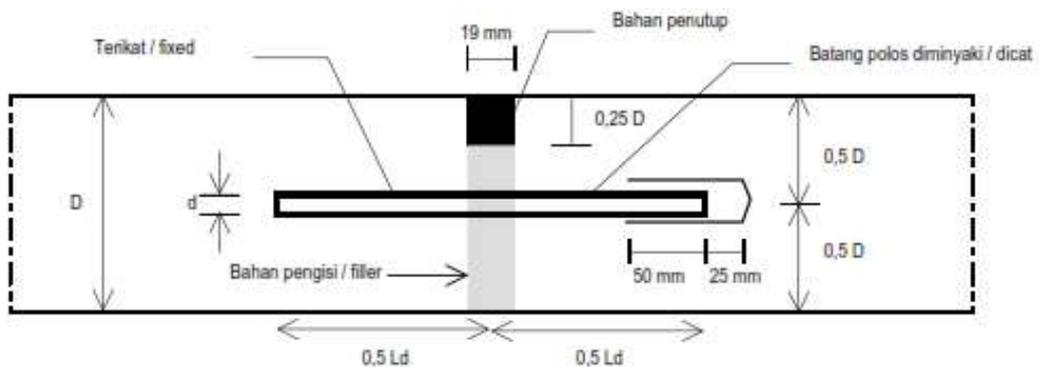
Tebal Plat		Diameter		Panjang		Jarak	
Inci	Mm	Inci	Mm	inci	Mm	inci	mm
6	150	¾	19	18	450	12	300
7	175	1	25	18	450	12	300
8	200	1	25	18	450	12	300
9	225	1 ¼	32	18	450	12	300
10	250	1 ¼	32	18	450	12	300
11	275	1 ¼	32	18	450	12	300
12	300	1 ½	38	18	450	12	300
13	325	1 ½	38	18	450	12	300
14	350	1 ½	38	18	450	12	300

Sumber: *Principles of pavement design by Yoder & Witczak, 1975*



Gambar 2. 4 Sambungan susut melintang dengan dowel.

(Sumber: AASHTO 1993)



Gambar 2. 5 Sambungan muai dengan dowel.

(Sumber: AASHTO 1993)

- d = diameter batang dowel
 Ld = panjang batang dowel
 D = tebal pelat beton perkerasan

2.8 Sambungan Memanjang Dengan Batang Pengikat (Tie Bars)

Untuk tujuan mencegah pelat bergerak secara horizontal, sambungan batang pengikat memanjang dipasang. Tabel berikut ini menunjukkan jarak maksimum untuk batang pengikat dengan diameter ½ inci dan ⅝ inci yang terbuat dari baja tipe dan mutu 40 dengan tegangan kerja 30.000 pon per inci persegi.

Tabel 2. 10 Ukuran dan Jarak Tie Bar

Tebal Perkerasan (Inchi)	Diameter Batang 1/2 In			
	Panjang (Inchi)	Jarak Maksimum (In)		
		Lebar Lajur 10 Ft	Lebar Lajur 11 Ft	Lebar Lajur 12 Ft
6	25	48	48	48
7	25	48	48	48
8	25	46	41	40
9	25	39	38	38
10	25	34	33	32
11	25	30	32	28
12	25	26	25	24

Sumber: AASHTO 1993

2.9 Parameter Distribusi Jalur

A. Kapasitas ruas jalan (C)

Jumlah mobil terbanyak saat melewati penampang melintang di jalur atau jalan dalam 1 jam, pada kondisi lalu lintas dan jalan yang hampir ideal, dikenal sebagai kapasitas dasar. Besar kapasitas jalan dapat dinyatakan sesuai Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI 2014):

$$C = C_o \times FC_{lj} \times FC_{pa} \times FC_{hs} \times FC_{uk} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

C = Kapasitas, skr/jam

C_o = Kapasitas dasar, skr/jam

FC_{ij} = Faktor penyesuaian kapasitas terkait lebar lajur atau jalur lalu lintas

FC_{pa} = Faktor penyesuaian kapasitas terkait pemisahan arah, hanya pada jalan tak terbagi

FC_{hs} = Faktor penyesuaian kapasitas terkait KHS pada jalan berbahu atau berkereb

FC_{uk} = Faktor penyesuaian kapasitas terkait ukuran kota

B. Menentukan Kelas Jalan

Pasal 8 UU No. 2/2022 tentang jalan raya membagi jalan umum menjadi empat jenis, terutama pada fungsinya:

1. Jalan raya arteri: jalan umum yang melayani sistem transportasi utama dan memiliki karakteristik perjalanan jarak jauh, dengan kecepatan rata-rata tinggi, dan jumlah jalan keluar yang terbatas.
2. Jalan raya umum dengan pintu masuk terbatas, kecepatan relatif sedang, dan jarak tempuh sedang dikenal sebagai jalan kolektor. Jalan ini digunakan untuk lalu lintas pengumpul dan pembagi.
3. Jalan Lokal
4. Jalan umum

C. Kapasitas Dasar (C_o)

Tergantung jenis jalan, berapa banyak lajur yang ada, dan apakah ada pemisah fisik atau tidak. Kapasitas dasar jalan kota digunakan sebagai acuan tercantum dalam tabel berikut

Tabel 2. 11 Kapasitas Dasar Tipe Jalan 4/2TT

Tipe Jalan	Tipe Alinemen	Kapasitas Dasar (smp/jam/lajur)
4/2TT	Datar	1900
	Bukit	1850
	Gunung	1800

Sumber: PKJI 2014

Tabel 2. 12 Kapasitas Dasar Tipe Jalan 2/2TT

Tipe Jalan	Tipe Alinemen	Kapasitas Dasar Total 2 Arah (smp/jam/lajur)
2/2TT	Datar	3100
	Bukit	3000
	Gunung	S2900

Sumber: PKJI 2014

D. Penyesuaian Kapasitas Akibat Pemisah Arah (FC_{pa})

Tabel 2.13 menunjukkan bagaimana arah arus pada jalan raya dua arah dibagi dan dinyatakan persentase dari keseluruhan arah arus di setiap arah:

Tabel 2. 13 Faktor untuk Pemisahan Arah Faktor Penyesuaian Kapasitas Terkait Pemisahan Arah, Hanya pada Jalan tak Terbagi (FC_{pa}).

Pemisah arah PA %-%	50-50	55-45	60-40	65-45	70-30
<i>F_{sp} 2/2 TT</i>	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88

Sumber: PKJI 2019

E. Faktor Kapasitas Akibat Jalur Lalu Lintas (FCLJ)

Tabel 2.14 menunjukkan modifikasi lebar lajur yang dilewati oleh mobil yang bergerak, bukan bahu jalan:

Tabel 2. 14 Faktor Penyesuaian Kapasitas Terkait Lebar Lajur atau Jalur Lalu-Lintas (FCLJ)

Tipe Jalan	Lebar Jalur Lalu Lintas Efektif (<i>wc</i>) (m)	(<i>FCu</i>)
4/2TT atau jalan satu arah	Lebar per lajur; 3,00	0,92
	3,25	0,96
	3,50	1,00
	3,75	1,04
	4,00	1,08
2/2TT	Lebar Jalur 2 arah; 5,00	0,56
	6,00	0,87
	7,00	1,00
	8,00	1,14
	9,00	1,25
	10,00	1,29
	11,00	1,34

Sumber : PKJI 2014

F. Faktor Penyesuaian Kapasitas Akibat Hambatan Samping (FCHS)

Hambatan samping adalah sisi segmen jalan yang berdampak pada kinerja lalu lintas. Tabel di bawah ini menunjukkan cara menghitung faktor penyesuaian kapasitas akibat hambatan samping:

Tabel 2. 15 Kelas Hambatan Samping

Kelas Hambatan	Kode	Frekuensi Berbobot dan Kejadian (kedua sisi)	Kondisi Khas
Sangat Rendah	VL	< 50	Pedesaan : Pertanian atau belum berkembang
Rendah	L	50 – 50	Pedesaan : Beberapa bangunan dan kegiatan samping jalan
Sedang	M	120 – 250	Kampung : Kegiatan Pemukiman
Tinggi	H	250 – 250	Kampung : Kegiatan pasar
Sangat Tinggi	VH	> 350	Hampir perkotaan banyak pasar / kendaraan niaga

Sumber: PKJI 2014

Tabel 2. 16 Faktor Penyesuaian Kecepatan Arus Bebas Akibat Hambatan Samping, FVBHS untuk Jalan Berbahu dengan Lebar Efektif LBE

Tipe Jalan	KHS	<i>(FCHs)</i>			
		Lebar Efektif Bahu Jalan W_s (m)			
		$\leq 0,5$	1,0	1,5	$2,0 \leq$
4/2 TT	SR	0,96	0,98	1,01	1,03
	R	0,94	0,97	1,00	1,02
	S	0,92	0,95	0,98	1,00
	T	0,88	0,92	0,95	0,98
	ST	0,84	0,88	0,92	0,96
2/2 TT atau jalan satu arah	SR	0,94	0,96	0,99	1,01
	R	0,92	0,94	0,97	1,00
	S	0,89	0,92	0,95	0,98
	T	0,82	0,86	0,9	0,95
	ST	0,73	0,79	0,85	0,91

Sumber: PKJI 2014

Tabel 2. 17 Faktor Penyesuaian Arus Bebas Akibat Hambatan Samping untuk Jalan Berkereb dengan Jarak Kereb ke Penghalang Terkedekat Lk-p

Tipe Jalan	KHS	Faktor Penyesuaian untuk Hambatan Samping dan Lebar Bahu FsF			
		Lebar efektif bahu jalan W_s (m)			
		$\leq 0,5$	1,0	1,5	$2,0 \leq$
4/2 TT	SR	1,00	1,01	1,01	1,02
	R	0,97	0,98	0,99	1,00
	S	0,93	0,95	0,97	0,99
	T	0,87	0,9	0,93	0,96
	ST	0,81	0,85	0,88	0,92
2/2 TT atau jalan satu	SR	0,98	0,99	0,99	1,00
	R	0,93	0,95	0,96	0,98
	S	0,87	0,89	0,92	0,95
	T	0,78	0,81	0,84	0,88
	ST	0,68	0,72	0,77	0,82

Sumber: PKJI 2014

2.10 Derajat Kejenuhan

Metrik utama digunakan sebagai penentuan tingkat kinerja segmen jalan adalah Derajat Kejenuhan (*Degree of Saturation/DJ*). Selain itu, nilai DJ variasi kualitas kinerja arus lalu lintas antara nol dan satu. Rumus derajat kejenuhan:

$$DJ < 0.85$$

$$DJ = Q:C$$

$$Q = LHR \times k \times emp \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

DJ : *Degree of saturation* / Derajat kejenuhan

Q : Arus total lalu lintas (smp/jam)

C | : Kapasitas (smp/jam)

k : Faktor volume lalu lintas jam sibuk (*peak hour*).

Emp : Ekuivalen mobil penumpang

Tabel 2. 18 EMP (Ekivalen Mobil Penumpang)

Tipe Alinemen	Arus Total (kend/jam)	EMP					
		KBM	BB	TB	SM Lebar Jalur Lalu Lintas (m)		
					< 6 m	6 – 8m	> 8 m
Datar	0	1,2	1,2	1,8	0,8	0,6	0,4
	800	1,8	1,8	2,7	1,2	0,9	0,6
	1350	1,5	1,6	2,5	0,9	0,7	0,5
	> 1900	1,3	1,5	2,5	0,6	0,5	0,4
Bukit	0	1,8	1,6	5,2	0,7	0,5	0,3
	650	2,4	2,5	5,0	1,0	0,8	0,5
	1100	2,0	2,0	4,0	0,8	0,6	0,4
	> 1600	1,7	1,7	3,2	0,5	0,4	0,3
Gunung	0	3,5	2,5	6,0	0,6	0,4	0,2
	450	3,0	3,2	5,5	0,9	0,7	0,4
	900	2,5	2,5	5,0	0,7	0,5	0,3
	< 1350	1,9	2,2	4,0	0,5	0,4	0,3

Sumber: PKJI 2014

2.11 Tingkat Pelayanan Jalan

Cara untuk menilai kesesuaian segmen jalan dalam menangani arus lalu lintas yang melaluinya adalah dengan melihat tingkat kinerja jalan, yang sering disebut sebagai pelayanan jalan. Perasaan pengemudi terhadap kecepatan, durasi perjalanan, dan keselamatan digambarkan oleh (LOS), *Level of Service*, yang merupakan ukuran kondisi arus lalu lintas. Tabel 2.19 menunjukkan bahwa huruf A sampai F, yang mewakili pelayanan terbaik sampai terburuk, menunjukkan jumlah LOS dalam suatu skema.

Tabel 2. 19 Tingkat Pelayanan Jalan (LOS)

No	Tingkat Layanan (LoS)	V/C Ratio	Kecep, (KpH)
1	A	< 0.24	> 67.2
2	B	0.24 – 0.54	> 54 to 67.2
3	C	0.55 – 0.75	> 43.2 to 54.4
4	D	0.76 – 0.90	> 33.6 to 43.2
5	E	0.91 – 1.0	> 25.6 to 33.6
6	F	> 1.0	< 25.6

Sumber : *U.S. Highway Capacity Manual and (DPWH) Highway Planning Manual*

Keterangan :

- A: Arus tidak dibatasi, tingkat kebisingan minimal, kecepatan maksimum; pengemudi bebas memilih kecepatan yang mereka inginkan
- B: Arus yang konsisten; lalu lintas agak membatasi kecepatan, tetapi kendaraan memiliki kebebasan untuk memilih kecepatannya sendiri; - C: Arus yang konsisten; lalu lintas mengontrol kecepatan;
- D: Berfluktuasi kecepatan rendah dan volume dekat kapasitas
- E: Kecepatan tidak menentu dan rendah, serta volume dekat kapasitas.
- F: Arus yang terganggu, kelambatan, volume melebihi kapasitas, dan kemacetan yang berkepanjangan dan berulang

2.11 Penelitian Terdahulu

Tabel 2. 20 Penelitian Terdahulu

No	Nama Peneliti	Judul	Hasil Penelitian
1	Riki Rivaldo, Fakhrul Rozi Yamali. (ISSN : 2615-1634) tahun 2022	Perencanaan Perkerasan Kaku (<i>Rigid Pavement</i>) Ruas Jalan Hitam Ulu-Mentawak Di Kabupaten Merangin (Menggunakan Metode AASHTO 1993)	Digambar dari hasil perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan pendekatan AASHTO 1993 untuk ruas jalan Black Ulu-mentawak:1. Tanah dasar yang digunakan memiliki CBR 2,6%, dan karena ketebalan yang tepat dapat dicapai, maka tidak perlu dilakukan peningkatan lebih lanjut.2. Dengan umur rencana 20 tahun, nilai Esal yang diperoleh adalah $\log_{10} 3.684.022 = 6.566$. Karena nilainya lebih besar dari 1.000, maka nilai tersebut dapat digunakan. dapat digunakan karena nilainya lebih dari 1.500 per tahun.3. Tebal pelat beton adalah 20 cm, dan tebal lean concrete adalah 10 cm, berdasarkan teknik AASHTO 1993 untuk menghitung tebal perkerasan kaku. Ketebalan beton ramping 10 cm.
2	Ean Fadhillah Nurrahmat. (ISSN : 2615-0824) tahun 2021	Perencanaan Jalan Perkerasan Kaku (<i>Rigid Pavement</i>) Menggunakan Metode AASHTO 1993 Di Jl. Bangkingan – Jl.Kebraon Kota Surabaya	Ketika metode AASHTO 1993 digunakan untuk menghitung tebal perkerasan kaku, hasil temuan menunjukkan bahwa dengan lapis pondasi bawah 15 cm, maka tebal perkerasan adalah 32 cm. Perkiraan RAB perencanaan perkerasan kaku menunjukkan bahwa pembangunan ruas Jl. Kebraon - Jl. Bangkingan Kota Surabaya STA 0+00 - 8+10, yang memiliki lebar 10 m dan panjang 8100 meter, akan menelan biaya sebesar Rp. 73.215.609.000,- (Tujuh Puluh Tiga Milyar Dua Ratus Lima Belas Juta Enam Ratus Sembilan Ratus Sembilan Ribu Rupiah).

No	Nama Peneliti	Judul	Hasil Penelitian
3	Sumina, Kusdiman Joko Priyanto. (ISSN : 2598-2257) tahun 2020	Perbandingan Perencanaan Perkerasan Jalan <i>Rigid Pavement</i> Dengan Menggunakan Metode SNI PD T-14-2003 dan NAASRA	Hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut ketika metode SNI Pd T-14-2003 digunakan untuk menghitung tebal pelat beton: lapisan pelat beton setebal 180 mm f'c -34,31 MPa dicapai, dengan pengikat setebal 150 mm yang digunakan untuk lapisan pondasi. Ketebalan perkerasan kaku dibandingkan berdasarkan perhitungan masing-masing metode; metode SNI Pd T-14-2003 menghasilkan ketebalan 180 mm, sedangkan metode NAASRA (Asosiasi Nasional Otoritas Jalan Negara Bagian Australia) menghasilkan 210 mm. Tiga puluh milimeter memisahkan teknik NAASRA (Asosiasi Nasional Otoritas Jalan Negara Australia) dari perbandingan SNI Pd T-14-2003. Perkerasan beton yang disambung menggunakan tulangan dengan diameter 10 mm dan spasi 250 mm, yang sesuai dengan metode SNI Pd T-14-2003. Selain itu, diameter tulangan yang digunakan dalam metode NAASRA (National Association of Australian State Road Authorities) telah diukur dengan ukuran 250 mm x 12 mm.
4	Almufid, Saiful Haq, Silwanus. (ISSN : 2302-8734) tahun 2020	Perbandingan Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku dengan Menggunakan Metode Bina Marga 04/Se/Db/2017 dan Metode AASHTO 1993	Dengan CBR desain 5% dan ketebalan perkerasan kaku 10 cm untuk lapis pondasi LMC, 12 cm untuk lapis pondasi agregat kelas A, dan 22 cm untuk ketebalan beton, umur rencana 40 tahun dihasilkan dengan menggunakan teknik Bina Marga 2017. Dengan membandingkan metode perencanaan Bina Marga dan AASHTO 1993, ketebalan perkerasan kaku yang pertama menghasilkan umur rencana 20 tahun dengan keandalan 90%, CBR desain 5%, dan modulus tanah dasar 700 pci dengan menggunakan lapis pondasi bawah LMC = 10 cm, lapis pondasi atas agregat kelas A = 15 cm, dan tebal beton = 26 cm.

No	Nama Peneliti	Judul	Hasil Penelitian
5	Rigi Muharam (ISSN : 2302-4240) tahun 2019	Perencanaan Tebal Lapis Perkerasan Kaku Pada Ruas Jalan Kapten Dasuki Bakri	Ketebalan minimal lapisan pelat permukaan beton, dengan asumsi ketebalan pelat yang digunakan dalam pelaksanaan 24 cm, adalah 15 cm, sesuai dengan perhitungan teknis perkerasan kaku. Tulangan longitudinal diterapkan. Terdapat jarak 300 mm antara tulangan D12 dan tulangan melintang. Tulangan D31 pada jarak 840 mm. Digunakan paku payung atau tulangan dengan diameter 12 mm, panjang 500 mm, dan jarak 300 mm. berdasarkan hasil perhitungan dan pengamatan kondisi jalan di sepanjang Jalan Kapten Dasuki Bakri dari STA +0.000 sampai STA +0.500 meter.
6	Sigit Kurniawan, M. Asmuni Jatoeb, Susiana. (ISSN : 2615-1634) tahun 2021	Perencanaan Perkerasan Kaku dengan Metode AASHTO 1993 Studi Kasus Jalan Batanghari II Kabupaten Muaro Jambi	Angka ESAL umur rencana 30 tahun = 30.273.794,429 juta ESAL didasarkan pada perhitungan yang dilakukan pada ruas jalan Batanghari II dengan menggunakan standar AASHTO 1993 untuk desain perkerasan kaku. diperoleh tebal pelat beton 280 mm. Pelat tulangan dengan lebar 3,5 m dan panjang 10 m dengan kebutuhan tulangan wiremesh M10 - 150 mm digunakan dalam proses perencanaan perkerasan menerus. Baja ulir enam belas milimeter dengan panjang tujuh ratus milimeter dan jarak tulangan tujuh ratus milimeter digunakan untuk sambungan memanjang dengan tulangan pengikat. Tulangan polos 36 mm (panjang 450 mm dan jarak tulangan 300 mm) digunakan untuk sambungan melintang dengan ruji/pena.

No	Nama Peneliti	Judul	Hasil Penelitian
7	Egi Firgiansyah, Prihantono, Daryati (ISSN : 2623-1085) tahun 2022	<i>Comparative Study Of Rigid Pavement Planning Using Bina Marga 2017 And AASHTO 1993 Method</i>	<i>The design traffic load factor has a greater influence on the discrepancy between the findings of the Bina Marga 2017 research and the AASHTO 1993 rigid pavement structure planning method. 84050400,856 ESAL is the outcome of the 2017 Highways approach, whereas 64533788,261 ESAL is the result of the 1993 AASHTO method. These results compare to an analysis of traffic load over a 40-year design life with traffic growth of 3.50%. A substantial discrepancy exists between the two outcomes. This is so that from the traffic calculations for the two periods, it produces a multiplier load traffic value that is different because the traffic analysis of the 2017 Highways method accounts for the actual traffic load period and normal traffic with a different cumulative traffic growth factor (R) value for each period.</i>
8	Milind V. Mohod, Dr.K.N.Kadam. (ISSN : 2278-1648) tahun 2016	<i>A Comparative Study on Rigid and Flexible Pavement : A Review</i>	<i>The following findings or summaries are drafted in light of the foregoing discussion of pavements: There is less failure in rigid pavement because there is no phenomena of grain to grain stress transfer. Rigid pavement has a higher flexural strength than flexible pavement. Compared to flexible pavement that requires less care, rigid pavement has a longer lifespan. After 20 years, the flexible pavement's life cycle cost will be roughly 19% more than that of the rigid pavement. Rigid pavement has a higher initial cost than flexible pavement, but it is more cost-effective overall over the course of its lifespan. Rigid pavement, or concrete pavement.</i>

Sumber: Penulis