

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Perkerasan kaku (*rigid pavement*) adalah suatu perkerasan jalan yang terdiri atas pelat beton semen sebagai lapis pondasi dan lapis pondasi bawah di atas tanah dasar. Menurut Pd T-14-2003 perkerasan kaku atau perkerasan beton semen dibedakan ke dalam 4 jenis,

1. Perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan.
2. Perkerasan beton semen bersambung dengan tulangan.
3. Perkerasan beton semen menerus dengan tulangan.
4. Perkerasan beton pra tegang.

Pemilihan jenis perkerasan akan bervariasi berdasarkan volume lalu lintas, umur rencana, dan kondisi pondasi jalan (Manual Desain Perkerasan Jalan, 2017).

Pada perkerasan beton semen, daya dukung perkerasan terutama diperoleh dari pelat beton. Sifat, daya dukung dan keseragaman tanah dasar sangat mempengaruhi keawetan dan kekuatan perkerasan beton semen. Faktor-faktor yang perlu diperhatikan adalah kadar air pemadatan, kepadatan dan perubahan kadar air selama masa pelayanan (Pd T-14-2003).

Fitriana, Ratna (2014) dalam penelitian studi komparasi perencanaan tebal perkerasan kaku jalan tol menggunakan metode Bina Marga 2002 dan AASHTO 1993 menyebutkan bahwa parameter input perencanaan tebal perkerasan untuk metode Bina Marga 2002 adalah parameter lalu lintas, tanah dasar, pondasi bawah, pondasi bawah material berbutir, dan kekuatan beton. Sedangkan parameter input perencanaan tebal perkerasan untuk metode AASHTO 1993 adalah parameter lalu lintas, modulus reaksi tanah dasar, material konstruksi perkerasan, *reability*, dan koefisien drainase.

commit to user

Putranto, Yonandika Pandu (2016) dalam penelitian tentang perencanaan tebal perkerasan kaku pada ruas jalan tol Karanganyar-Solo, menganalisa menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan Tahun 2013 dan menggunakan Metode AASHTO 1993 sebagai pembanding hasil perencanaan. Dalam metode penelitian dijelaskan bahwa data yang dibutuhkan yaitu data primer yang meliputi data volume lalu lintas dari survey *traffic counting*, survey asal-tujuan yang menggunakan metode survey plat nomor kendaraan dan survey data beban kendaraan yang dilakukan pencatatannya dilakukan pada jembatan timbang terdekat. Data sekunder adalah data kependudukan Provinsi Jawa Tengah dan CBR lapangan sebesar 5,2%.

Sulistyo, Dwi (2013) dalam penelitian tentang analisis perbandingan perencanaan perkerasan kaku dengan menggunakan metode Bina Marga dan metode AASHTO serta merencanakan saluran permukaan pada ruas jalan Abdul Wahab, Sawangan mendapatkan kesimpulan bahwa perencanaan perkerasan kaku pada ruas jalan Abdul Wahab ketebalan pelat beton perkerasan jalan dengan menggunakan metode Bina Marga adalah 20 cm, sedangkan perencanaan perkerasan jalan dengan menggunakan Metode AASHTO tebal lapis permukaan adalah sebesar 21 cm atau berbeda 10 mm. Lebar pelat perkerasan diambil dengan lebar jalur lalu lintas yaitu 3,5 m x 2. Kedua, perencanaan perkerasan menggunakan metode AASHTO didapati bahwa tebal pelat perkerasan akan bertambah sesuai dengan pertumbuhan lalu lintas ekivalen selama umur rencana, sebaliknya tebal pelat akan berkurang dengan pengurangan volume lalu lintas ekivalen. Ketiga, Dimensi saluran tepi yang optimal untuk menampung debit air berdasarkan intensitas curah hujan maksimum adalah saluran segi empat dengan dimensi 0,5 m x 0,5 m. Ketiga hal ini menunjukkan bahwa adanya perbedaan desain tebal perkerasan kaku dengan penggunaan metode yang berbeda.

Surat (2011) dalam penelitian analisis struktur perkerasan jalan di atas tanah ekspansif (studi kasus: ruas jalan Purwodadi – Blora) mendapatkan kesimpulan bahwa hasil analisis data tanah pada ruas jalan Purwodadi-Blora memiliki potensi pengembangan dan tingkat aktifitas tanah dasar masuk dalam kategori tinggi sampai sangat tinggi, hasil analisis struktur desain perkerasan yang dilakukan

dengan SAP-2000 mendapatkan perkerasan kaku memiliki stabilitas dan daya dukung lebih baik daripada perkerasan lentur, dan pilihan desain perbaikan perkerasan yang paling baik berdasarkan hasil evaluasi analisis struktur dengan SAP-2000 dan BISAR 3.0 adalah menggunakan struktur perkerasan kaku yang terdiri dari lapisan perkerasan beton semen bertulang tebal 25 cm dan lapisan WLC tebal 5 cm. Dengan pertimbangan bahwa perkerasan kaku memenuhi persyaratan teknis yaitu momen yang relatif kecil pada dasar perkerasan, daya dukung yang besar, lendutan yang kecil, distribusi tegangan dan distribusi lendutan yang merata serta kemampuan dalam meredam tekanan pengembangan tanah dasar yang besar.

2.2 Landasan Teori

Masalah utama yang ditimbulkan tanah ekspansif adalah perubahan volume karena mengembang dan menyusutnya tanah, yang dapat mengakibatkan penurunan tidak seragam dan rangkak, penurunan daya dukung tanah, rawan terhadap erosi sangat tinggi ketika dilakukan penggalian dan kondisi pengerjaan yang sulit (Yitagezu et al, 2008).

Tanah dasar ekspansif menimbulkan banyak masalah kerusakan pada perkerasan jalan raya, sehingga perkerasan yang terletak pada tanah dasar ekspansif ini sering membutuhkan biaya pemeliharaan dan rehabilitasi yang besar sebelum perkerasan mencapai umur layannya. Tanah ekspansif (*expansive soil*) adalah tanah atau batuan yang mempunyai potensi penyusutan atau pengembangan oleh pengaruh perubahan kadar air. Rusaknya perkerasan yang berada di atas tanah dasar ekspansif adalah karena perkerasan merupakan struktur yang ringan dan sifat bangunannya meluas (Hardiyatmo, 2007).

Penyebab utama kerugian ekonomi yang dikeluarkan untuk perkerasan yang dibangun di atas tanah dasar ekspansif adalah kurangnya pilihan yang tepat dari desain dan metode konstruksi yang diadopsi untuk mengurangi gejala ekspansif (Tekeste, 2003).

Untuk mengatasi permasalahan kerusakan jalan pada tanah lempung dapat dilakukan beberapa metode teknik perbaikan, antara lain *recycling in situ* dengan menggunakan *Cement Treated Recycling Base* (CTRB) atau daur ulang terhadap perkerasan yang rusak menjadi lapis pondasi atas (*base course*) pada perkerasan jalan dengan bahan tambah semen dikombinasikan dengan *Asphalt Wearing Course*. Metode lain adalah *rigid pavement* atau perkerasan kaku yang menggunakan beton yang mampu mengakomodasi beban kendaraan sekalipun nilai daya dukung tanah lempung yang sangat rendah. Dengan *rigid pavement* beban lalu lintas yang ada dapat dipikul oleh lapisan perkerasan kaku tersebut. Selain itu juga dapat digunakan metode desain *overlay* atau pelapisan ulang berdasarkan umur perkerasan jalan (Sutini, 2010).

Berbagai jenis konstruksi jalan telah diterapkan di beberapa ruas jalan di Kabupaten Grobogan, seperti Ruas Semarang – Godong, Godong – Purwodadi, Purwodadi – Blora seperti uji coba stabilisasi tanah dengan kapur dan semen, konstruksi *telford*, aspal, beton *cyclop* tanpa tulangan, geomembran dan konstruksi beton bertulang. Dari kajian empiris maupun matematis, yang paling optimal untuk diterapkan pada ruas jalan di Kabupaten Grobogan adalah konstruksi beton bertulang. Beton bertulang sangat cocok di tanah ekspansif, hal ini dapat dilihat dari keawetan dan daya tahan konstruksi beton yang telah teruji dalam menerima beban lalu lintas yang ada (Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kabupaten Grobogan, 2014).

2.2.1 Metode AASHTO 1993 (*American Association of State Highway and Transportation Officials*)

2.2.1.1 Umum

Perencanaan mengacu pada AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) *guide for design of pavement structures 1993* (selanjutnya disebut AASHTO 1993). Untuk parameter-parameter perencanaan terdiri dari:

1. Analisis lalu lintas
2. *Terminal serviceability index* commit to user

3. *Initial serviceability*
4. *Serviceability loss*
5. *Reliability*
6. Standar normal deviasi
7. Standar deviasi
8. CBR dan modulus reaksi tanah dasar
9. Modulus elastisitas beton, fungsi dari kuat tekan beton
10. *Flexural strength*
11. *Drainage coefficient*
12. *Load transfer coefficient*

2.2.1.2 Analisis Lalu Lintas

1. Umur Rencana

Umur rencana *rigid pavement* umumnya diambil 20 tahun untuk konstruksi baru. Ciri penggolongan kendaraan untuk perhitungan lalu lintas terdapat setidaknya 3 versi seperti yang dipaparkan pada Tabel 2.1 sampai Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.1 Penggolongan Kendaraan Berdasar MKJI

No	Tipe Kendaraan	Golongan
1	Sedan, Jeep, St Wagon	2
2	Pick up, Combi	3
3	Truk 2 as (L), Micro Truk, Mobil Hantaran	4
4	Bus Kecil	5a
5	Bus Besar	5b
6	Truk 2 as (H)	6
7	Truk 3 as	7a
8	Trailer 4 as, Truk Gandengan	7b
9	Truk S, Trailer	7c

Sumber: MKJI

Tabel 2.2 Penggolongan Kendaraan Berdasar Pedoman Teknis

No	Tipe Kendaraan	Golongan
1	Sedan, Jeep, dan Station Wagon	2
2	Opelet, Pick-up Opelet, Sub-urban, Combi, Minibus	3
3	Pick-up, Micro Truk, dan Mobil Hantaran atau Pick-up Box	4
4	Bus Kecil	5a
5	Bus Besar	5b
6	Truk Ringan 2 Sumbu	6a
7	Truk Sedang 2 Sumbu	6b
8	Truk 3 Sumbu	7a
9	Truk Gandengan	7b
10	Truk Semi Trailer	7c

Sumber: Pedoman Teknis Bina Marga

Tabel 2.3 Penggolongan Kendaraan Berdasar PT. Jasa Marga (Persero)

No	Golongan Kendaraan
1	Golongan 1
2	Golongan 1 au
3	Golongan 2 a
4	Golongan 2 au
5	Golongan 2 b

Sumber: PT. Jasa Marga (Persero)

2. Analisa lalu lintas

Data dan parameter lalu-lintas yang digunakan untuk perencanaan tebal perkerasan meliputi,

1. Jenis kendaraan
2. Volume lalu lintas harian rata rata
3. Pertumbuhan lalu lintas tahunan
4. *Damage factor*
5. Umur rencana
6. Faktor distribusi arah

commit to user

7. Faktor distribusi lajur
8. *ESAL* selama umur rencana

Faktor distribusi arah ($D_D = 0,3 - 0,7$) dan umumnya diambil 0,5

Faktor distribusi lajur (D_L) mengacu pada tabel,

Tabel 2.4 Faktor Distribusi Lajur (D_L)

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

Sumber: AASHTO 1993

Rumus umum desain *traffic ESAL* (*Equivalent Single Axle Load*)

$$W_{18} = \sum_{N1}^{Nn} LHR_j \times VDF_j \times DD \times DL \times 365 \dots \dots \dots (1)$$

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

VDF_j = *Vehicle Damage Factor* untuk jenis kendaraan j.

D_D = Faktor distribusi arah.

D_L = Faktor distribusi lajur.

$N1$ = Lalu-lintas pada tahun pertama jalan dibuka.

Nn = Lalu-lintas pada akhir umur rencana

Lalu-lintas yang digunakan untuk perencanaan tebal perkerasan adalah lalu-lintas kumulatif selama umur rencana. Secara numerik rumusan lalu-lintas kumulatif ini sebagai berikut,

$$W_t = W_{18} \times \frac{(1+g)^{n-1}}{g} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

W_t = Jumlah beban gandar tunggal standar kumulatif

W_{18} = Beban gandar standar kumulatif selama 1 tahun

n = Umur pelayanan, atau umur rencana UR (tahun).

g = Perkembangan lalu-lintas (%)

3. California Bearing Ratio (CBR)

California Bearing Ratio (CBR), dalam perencanaan perkerasan kaku digunakan untuk penentuan nilai parameter modulus reaksi tanah dasar (k).

4. Material Konstruksi Perkerasan

Material perkerasan yang digunakan dengan parameter yang terkait dalam perencanaan tebal perkerasan sebagai berikut.

a. Pelat beton

Flexural Strength (Sc') = 45 kg/cm^2

Kuat Tekan (fc') = 350 kg/cm^2 (disarankan)

b. Wet lean concrete

Kuat Tekan (fc') = 105 kg/cm^2

Sc' digunakan untuk penentuan parameter *flexural strength*, dan fc' digunakan untuk penentuan parameter modulus elastisitas beton (Ec).

2.2.1.3 Parameter Perhitungan Tebal Pelat

1. Reliability

Reliability adalah probabilitas bahwa perkerasan yang direncanakan akan tetap memuaskan selama masa layannya. Penetapan angka *Reliability* dari 50%-99,9% menurut AASHTO merupakan tingkat kehandalan desain untuk mengatasi, mengakomodasi, kemungkinan melesetnya besaran-besaran desain yang dipakai. Semakin tinggi *Reliability* yang dipakai, semakin tinggi tingkat mengatasi

commit to user

kemungkinan terjadi selisih desain. Besaran-besaran yang terkait dengan ini antara lain,

- a. Kinerja perkerasan diramalkan pada angka desain *Terminal Serviceability* (pt) = 2,5 untuk jalan raya utama, (pt) = 2,0 untuk jalan lalu lintas rendah, dan *Initial Serviceability* (po) = 4,5 (angka ini bergerak dari 0-5)
- b. Peramalan lalu-lintas dilakukan dengan studi tersendiri, bukan hanya didasarkan rumus empirik. Tingkat kehandalan jauh lebih baik dibandingkan bila dilakukan secara empiris, linear, atau data sekunder
- c. Perkiraan tekanan gandar yang diperoleh secara primer dari WIM survey, tingkat kehandalannya jauh lebih baik dibanding menggunakan data sekunder.
- d. Dalam pelaksanaan konstruksi, spesifikasi sudah membatasi tingkat / syarat agar perkerasan sesuai (atau lebih) dari apa yang diminta desain.

Mengkaji keempat faktor di atas, penetapan besaran dalam desain sebetulnya sudah menekan sekecil mungkin penyimpangan yang akan terjadi. Tetapi tidak ada satu jaminan-pun berapa besar dari keempat faktor tersebut menyimpang.

Reliability (R) mengacu pada Tabel 2.5

Standard Normal Deviation (Z_R) mengacu pada Tabel 2.6

Standard Deviation untuk *rigid pavement* (S_o) = 0,30 – 0,40

Penetapan konsep *Reliability* dan Standar Deviasi:

1. Berdasar parameter klasifikasi fungsi jalan.
2. Berdasar status lokasi jalan urban/rural.
3. Penetapan tingkat *Reliability* (R).
4. Penetapan *Standard Normal Deviation* (Z_R).
5. Penetapan Standar Deviasi (S_o).
6. Kehandalan data lalu-lintas dan beban kendaraan.

Tabel 2.5 Reliability (R)

Klasifikasi Jalan	Reliability (%)	
	Urban	Rural
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 (Z_R)

R (%)	Z_R	R (%)	Z_R
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

2. Serviceability

Terminal Serviceability Index (pt) mengacu pada Tabel 2.7. *Initial Serviceability* (po) untuk rigid pavement = 4,5. *Total Loss of Serviceability* (ΔPSI) = (po) – (pt)

Tabel 2.7 Terminal Serviceability Index (pt)

Percent of People Stating Unacceptable	pt
12	3,0
55	2,5
85	2,0

Sumber: AASHTO 1993

Penetapan parameter *serviceability*:

1. *Initial Serviceability* (p_o) = 4,5
2. *Terminal Serviceability Index* jalur utama (p_t) = 2,5
3. *Terminal Serviceability Index* jalan lalu lintas rendah (p_t) = 2,0
4. *Total Loss of Serviceability* ($\Delta PSI = p_o - p_t$)

3. Modulus Reaksi Tanah Dasar

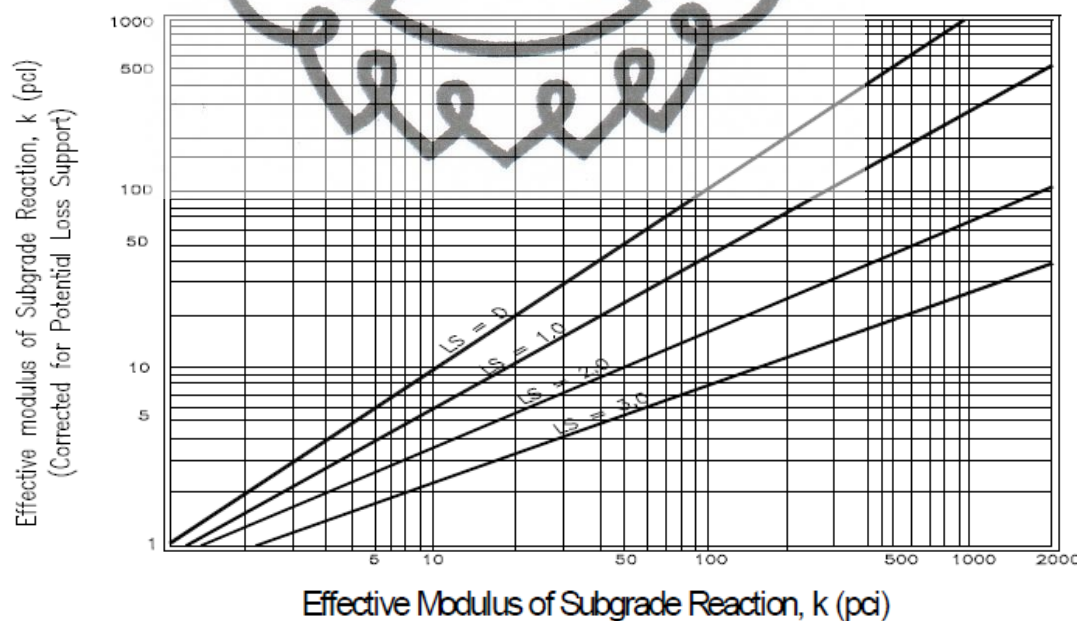
Modulus of subgrade reaction (k) menggunakan gabungan formula dan grafik penentuan modulus reaksi tanah dasar berdasar ketentuan CBR tanah dasar.

$$M_R = 1500 \times \text{CBR} \dots\dots\dots(3)$$

$$K = M_R / 19,4 \dots\dots\dots(4)$$

M_R = *Resilient Modulus*

Koreksi *Effective Modulus of Subgrade Reaction*, menggunakan Grafik pada Gambar 2.1. Faktor *Loss of Support* (LS) mengacu pada Tabel 2.8.



Gambar 2.1 *Effective Modulus of Subgrade Reaction*

Tabel 2.8 *Loss of Support Factors (LS)*

No	Type Material	LS
1	<i>Cement Treated Granular Base</i> (E = 1.000.000 – 2.000.000 psi)	0-1
2	<i>Cement Aggregate Mixtures</i> (E = 500.000 – 1.000.000 psi)	0-1
3	<i>Asphalt Treated Base</i> (E = 350.000 – 1.000.000 psi)	0-1
4	<i>Bituminous Stabilized Mixtures</i> (E = 40.000 – 300.000 psi)	0-1
5	<i>Lime Stabilized</i> (E = 20.000 – 70.000 psi)	1-3
6	<i>Unbound Granular Materials</i> (E = 15.000 – 45.000 psi)	1-3
7	<i>Fine grained / Natural subgrade materials</i> (E = 3.000 – 40.000 psi)	2-3

Sumber: AASHTO 1993

4. Modulus Elastisitas Beton

$$E_c = 57000 \sqrt{f_c'} \dots \dots \dots (5)$$

Dimana:

E_c = Modulus elastisitas beton (psi)

f_c' = Kuat tekan beton silinder (psi)

Di Indonesia disarankan menggunakan $f_c' = 350 \text{ kg/cm}^2$

5. *Flexural Strength*

Flexural strength (modulus of rupture) ditetapkan sesuai pada Spesifikasi pekerjaan. *Flexural strength* umumnya digunakan $Sc' = 45 \text{ kg/cm}^2 = 640 \text{ psi}$.

6. *Drainage Coefficient*

Variabel faktor drainase

AASHTO memberikan 2 variabel untuk menentukan nilai koefisien drainase,

- Variabel pertama: mutu drainase dengan variasi *excellent, good, fair, poor, very poor*. Mutu ini ditentukan oleh berapa lama air dapat dibebaskan dari pondasi perkerasan.

- b. Variabel kedua: persentasi struktur perkerasan dalam satu tahun terkena air sampai tingkat mendekati jenuh air (*saturated*), dengan variasi $< 1 \%$, $1 - 5 \%$, $5 - 25 \%$, $> 25 \%$.

Penetapan variabel mutu drainase

Penetapan variabel pertama mengacu pada Tabel 2.9 dengan pendekatan sebagai berikut.

- Air hujan atau air dari atas permukaan jalan yang akan masuk kedalam pondasi jalan, relatif kecil berdasar hidrologi yaitu berkisar $70 - 95 \%$ air yang jatuh di atas jalan aspal/beton akan masuk ke sistem drainase. Kondisi ini dapat dilihat acuan koefisien pengaliran pada Tabel 2.10 dan Tabel 2.11.
- Air dari samping jalan yang kemungkinan akan masuk ke pondasi jalan, ini pun relatif kecil terjadi, karena adanya *road side ditch*, *cross drain*, juga muka air tertinggi di desain terletak di bawah subgrade.
- Pendekatan dengan lama dan frekuensi hujan, yang rata-rata terjadi hujan selama 3 jam per hari dan jarang sekali terjadi hujan terus menerus selama 1 minggu. Maka waktu pematasan 3 jam dapat diambil sebagai pendekatan dalam penentuan kualitas drainase, sehingga pemilihan mutu drainase adalah berkisar *Good*, dengan pertimbangan air yang mungkin masih akan masuk, *quality of drainage* diambil kategori *Fair*. Untuk kondisi khusus, misalnya sistem drainase sangat buruk, muka air tanah terletak cukup tinggi mencapai lapisan tanah dasar dan sebagainya, dapat dilakukan kajian tersendiri.

Tabel 2.9 *Quality of Drainage*

<i>Quality of Drainage</i>	<i>Water Removed Within</i>
<i>Excellent</i>	2 jam
<i>Good</i>	1 hari
<i>Fair</i>	1 minggu
<i>Poor</i>	1 bulan
<i>Very Poor</i>	air tidak terbebaskan

Sumber: AASHTO 1993

Tabel 2.10 Koefisien Pengaliran C, Binkot

No	Kondisi Permukaan Tanah	Koefisien Pengaliran C
1	Jalan Beton dan Jalan Aspal	0,70 – 0,95
2	Bahu Jalan	
	Tanah Berbutir Halus	0,40 – 0,65
	Tanah Berbutir Kasar	0,10 – 0,20
	Batuan Masif Keras	0,70 – 0,85
	Batuan Masif Lunak	0,60 – 0,75

Sumber: *Petunjuk Desain Drainase Permukaan Jalan No. 008/T/BNKT/1990, Binkot, Bina Marga, Dep. PU, 1990.*

Tabel 2.11 Koefisien Pengaliran C, Hidrologi, Imam Subarkah

Tipe Daerah Aliran		C
Jalan	Aspal	0,70 - 0,95
	Beton	0,80 - 0,95
	Batu	0,70 - 0,85

Sumber : *Hidrologi, Imam Subarkah.*

Penetapan variabel prosen perkerasan terkena air

Penetapan variabel kedua yaitu persentasi struktur perkerasan dalam 1 tahun terkena air sampai tingkat *saturated*, relatif sulit, belum ada data rekaman pembandingan dari jalan lain, namun dengan pendekatan-pendekatan, pengamatan dan perkiraan berikut ini, nilai dari faktor variabel kedua tersebut dapat didekati.

Prosen struktur perkerasan dalam 1 tahun terkena air dapat dilakukan pendekatan dengan asumsi sebagai berikut.

$$P_{heff} = \frac{T_{jam}}{24} \times \frac{T_{hari}}{365} \times WL \times 100 \dots \dots \dots (6)$$

Dimana:

P_{heff} = Prosen hari efektif hujan dalam setahun yang akan berpengaruh terkenanya perkerasan (dalam %)

T_{jam} = Rata-rata hujan per hari (jam)

Thari = Rata-rata jumlah hari hujan per tahun (hari)

W_L = Faktor air hujan yang akan masuk ke pondasi jalan (%)

Selanjutnya *drainage coefficient* (Cd) mengacu pada Tabel 2.12.

Tabel 2.12 *Drainage coefficient* (Cd).

	<i>Percent of time pavement structure is exposed to moisture levels approaching saturation</i>			
<i>Quality of Drainage</i>	< 1 %	1 – 5 %	5 – 25 %	> 25 %
<i>Excellent</i>	1.25 – 1.20	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.1
<i>Good</i>	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1
<i>Fair</i>	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.9
<i>Poor</i>	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.8
<i>Very poor</i>	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80 – 0.70	0.7

Sumber: AASHTO 1993

Penetapan parameter *drainage coefficient*:

1. Berdasar kualitas drainase.
2. Kondisi *time pavement structure is exposed to moisture levels approaching saturation* dalam setahun.

7. Load Transfer

Load transfer coefficient (J) mengacu pada Tabel 2.13

Tabel 2.13 *Load Transfer Coefficient*

<i>Shoulder</i>	<i>Asphalt</i>		<i>Tied PCC</i>	
<i>Load Transfer Devices</i>	<i>Yes</i>	<i>No</i>	<i>Yes</i>	<i>No</i>
<i>Pavement Type</i>				
<i>Plain Jointed & Jointed Reinforced</i>	3.2	3.8 – 4.4	2.5 – 3.1	3.6 – 4.2
<i>CRCP</i>	2.9 – 3.2	N/A	2.3 – 2.9	N/A

Sumber: AASHTO 1993

Pendekatan penetapan parameter *load transfer*:

1. *Joint dengan dowel J* = 2,5 – 3,1
2. Untuk *overlay design J* = 2,2 – 2,6

2.2.1.4 Perhitungan Tebal Pelat

1. Persamaan Penentuan Tebal Pelat (D)

$$\log_{10} W_{18} = Z_R S_o + 7,35 \log_{10}(D+1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,5-1,5} \right]}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(D+1)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32 p_t) \times \log_{10} \frac{S_c C_d x [D^{0,75} - 1,132]}{215,63 \times J \times [D^{0,75} - \frac{18,42}{E_c k^{0,25}}]} \quad (7)$$

Dimana:

W_{18} = Traffic design, Equivalent Single Axle Load (ESAL)

Z_R = Standar normal deviasi

S_o = Standar deviasi

D = Tebal pelat beton (inches)

ΔPSI = Serviceability loss

P_o = Initial serviceability

P_t = Terminal serviceability index

S_c' = Modulus of rupture sesuai spesifikasi pekerjaan (psi).

C_d = Drainage coefficient

J = Load transfer coefficient

E_c = Modulus elastisitas (psi)

k = Modulus reaksi tanah dasar (pci)

2. Reinforcement Design

a. Steel working stress

Allowable working stress f_s untuk grade 40 = 30.000 psi.

b. Friction factor

Nilai *Friction factor* dapat digunakan mengacu pada Tabel 2.14.

Tabel 2.14 Recommended Friction Factor

Tipe Material di bawah Slab	Friction Factor (F)
<i>Surface Treatment</i>	2,2
<i>Lime Stabilization</i>	1,8
<i>Cement Stabilization</i>	1,8
<i>River Gravel</i>	1,5
<i>Crushed Stone</i>	1,5
<i>Sandstone</i>	1,2
<i>Natural Subgrade</i>	0,9

Sumber: AASHTO 1993

c. Longitudinal & transverse steel reinforcing

$$P_s = \frac{LF}{2f_s} \times 100 \dots \dots \dots (8)$$

Dimana:

P_s = Longitudinal & transverse steel diperlukan (%).

L = Panjang slab (feet).

f_s = Steel working stress (psi).

F = Friction factor

d. Tie bar

Jarak tie bar dapat mengacu pada Tabel 2.15.

Tabel 2.15 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)			Panjang (in)	Jarak Maksimum (in)		
				Lebar Lajur	Lebar Lajur	Lebar Lajur		Lebar Lajur	Lebar Lajur	Lebar Lajur
				10 ft	11 ft	12 ft		10 ft	11 ft	12 ft
Grade 40	30000	6	25	48	48	48	30	48	48	48
		7	25	48	48	48	30	48	48	48
		8	25	48	44	40	30	48	48	48
		9	25	48	40	38	30	48	48	48
		10	25	48	38	32	30	48	48	48
		11	25	35	32	29	30	48	48	48
		12	25	32	29	26	30	48	48	48

Sumber: AASHTO 1993

e. *Dowel*

Alat pemindah beban yang biasa dipakai adalah *dowel* baja bulat polos. Syarat perancangan minimum dapat mengacu pada Tabel 2.16, atau penentuan *dowel* dapat menggunakan pendekatan formula.

$$D = \frac{d}{8} \dots \dots \dots (9)$$

Dimana:

d = Diameter *dowel* (inches)

D = Tebal pelat beton (inches)

Tabel 2.16 Rekomendasi *Dowel*

Tebal Perkerasan (in)	<i>Dowel</i> Diameter (in)	Panjang <i>Dowel</i> (in)	Jarak <i>Dowel</i> (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

Sumber: AASHTO 1993

f. Tinjauan khusus perencanaan penulangan dan sambungan

Untuk perencanaan penulangan dan sambungan pada perkerasan jalan kaku, berikut beberapa referensi yang didapat dari standard dan literatur,

1. *Principles of pavement design* by Yoder & Witczak 1975
2. SNI 1991
3. SKBI 2.3.28.1988

1. Tata Cara Perencanaan Penulangan

Tujuan dasar distribusi penulangan baja adalah bukan untuk mencegah terjadinya retak pada pelat beton tetapi untuk membatasi lebar retakan yang timbul pada

daerah dimana beban terkonsentrasi agar tidak terjadi pembelahan pelat beton pada daerah retak tersebut, sehingga kekuatan pelat tetap dapat dipertahankan.

Banyaknya tulangan baja yang didistribusikan sesuai dengan kebutuhan untuk keperluan ini yang ditentukan oleh jarak sambungan susut, dalam hal ini dimungkinkan penggunaan pelat yang lebih panjang agar dapat mengurangi jumlah sambungan melintang sehingga dapat meningkatkan kenyamanan.

a. Kebutuhan penulangan pada perkerasan bersambung tanpa tulangan

Pada perkerasan bersambung tanpa tulangan, penulangan tetap dibutuhkan untuk mengantisipasi atau meminimalkan retak pada tempat-tempat dimana dimungkinkan terjadi konsentrasi tegangan yang tidak dapat dihindari. Tipikal penggunaan penulangan khusus ini antara lain,

1. Tambahan pelat tipis
2. Sambungan yang tidak tepat

b. Penulangan pada perkerasan bersambung dengan tulangan

Luas tulangan pada perkerasan ini dihitung dari persamaan berikut,

$$A_s = \frac{11,76 FLh}{f_s} \dots \dots \dots (10)$$

Dimana:

A_s = Luas tulangan yang diperlukan (mm^2/m lebar)

F = Koefisien gesek antara pelat beton dengan lapisan di bawahnya

L = Jarak antar sambungan (m)

H = Tebal pelat (mm)

F_s = Tegangan tarik ijin baja (MPa)

A_s min. menurut SNI 1991 untuk segala keadaan adalah 0,14 % dari luas penampang beton.

c. Penulangan pada perkerasan menerus dengan tulangan

1. Penulangan Memanjang

$$P_s = \frac{100 ft (1,3 - 0,2F)}{f_y - nft} \dots \dots \dots (11)$$

Dimana:

P_s = Persentase tulangan memanjang yang dibutuhkan terhadap penampang beton (%)

f_t = Kuat tarik lentur beton yang digunakan

f_y = Tegangan leleh rencana baja (SNI 1991. $f_y < 400$ MPa – BJTD40)

n = Angka ekivalen antara baja dan beton = $\frac{E_s}{E_c}$

F = Koefisien gesek antara pelat beton dengan lapisan di bawahnya

E_s = Modulus elastisitas baja (SNI 1991 digunakan 200.000 MPa)

E_c = Modulus elastisitas beton (SNI 1991 digunakan $4700 \sqrt{f_c'}$ MPa)

Tabel 2.17 Hubungan antara Kuat Tekan Beton dan Angka Ekivalen Baja dan Beton (n) serta f_r

f_c' (kg/cm ²)	f_c' (MPa)	n	f_r (MPa)
115	11,3	13	2,1
120 – 135	11,8 – 13,2	12	2,2
140 – 165	13,7 – 16,2	11	2,4
170 – 200	16,7 – 19,6	10	2,6
205 – 250	20,1 – 24,5	9	2,9
260 – 320	25,5 – 31,4	8	3,3
330 – 425	32,4 – 41,7	7	3,7
450	44,1	6	4,1

Sumber : SNI 1991

Persentase minimum tulangan memanjang pada perkerasan beton menerus adalah 0,6 % dari luas penampang beton. Jarak antara retakan pada perkerasan beton menerus dengan tulangan dapat dihitung dengan persamaan,

$$L_o = \frac{f_t^2}{n p^2 u f_b (E_c - f_t)} \dots \dots \dots (12)$$

Dimana:

L_{cr} = Jarak teoritis antara retakan (m), jarak optimum antara 1 - 2 m

p = Luas tulangan memanjang per satuan luas

f_b = Tegangan lekat antara tulangan dengan beton yang dikenal sebagai lekat lentur (MPa). Besaran lekat lentur yang dipakai dalam praktek menurut ACI 1963 untuk tulangan dengan diameter $\leq 35,7$ mm (# 11)

$$\text{Tegangan lekat dasar} = \frac{9,5}{d} \sqrt{f_c'} \leq 800 \text{ psi}$$

$$\text{Tegangan lekat dasar} = \frac{0,79}{d} \sqrt{f_c'} \leq 5,5 \text{ MPa}$$

d = Diameter tulangan (cm)

S = Koefisien susut beton, umumnya dipakai antara 0,0005 - 0,0006 untuk pelat perkerasan jalan

f_t = Kuat tarik lentur beton yang digunakan 0,4 – 0,5 f_r (Mpa)

n = Angka ekivalen antara baja dan beton = E_s/E_c

u = Keliling penampang tulangan per satuan luas tulangan $4/d$ (m^{-1})

E_c = Modulus elastisitas beton = $4700 \sqrt{f_c'}$ (MPa)

2.2.1.5 Sambungan

Perencanaan sambungan pada perkerasan kaku merupakan bagian yang harus dilakukan, baik jenis perkerasan beton bersambung tanpa atau dengan tulangan, maupun pada jenis perkerasan beton menerus dengan tulangan.

1. Jenis Sambungan

Sambungan dibuat atau ditempatkan pada perkerasan beton dimaksudkan untuk menyiapkan tempat muai dan susut beton akibat terjadinya tegangan yang disebabkan oleh perubahan lingkungan (suhu dan kelembaban), gesekan dan keperluan konstruksi (pelaksanaan). Sambungan pada perkerasan beton umumnya terdiri dari 3 jenis, yang fungsinya sebagai berikut,

a. Sambungan susut

Atau sambungan pada bidang yang diperlemah (*dummy*) dibuat untuk mengalihkan tegangan tarik akibat suhu, kelembaban, gesekan sehingga akan mencegah retak. Jika sambungan susut tidak dipasang, maka akan terjadi retak acak pada permukaan beton.

commit to user

b. Sambungan muai

Fungsi utamanya untuk menyiapkan ruang muai pada perkerasan, sehingga mencegah terjadinya tegangan tekan yang akan menyebabkan perkerasan tertekuk.

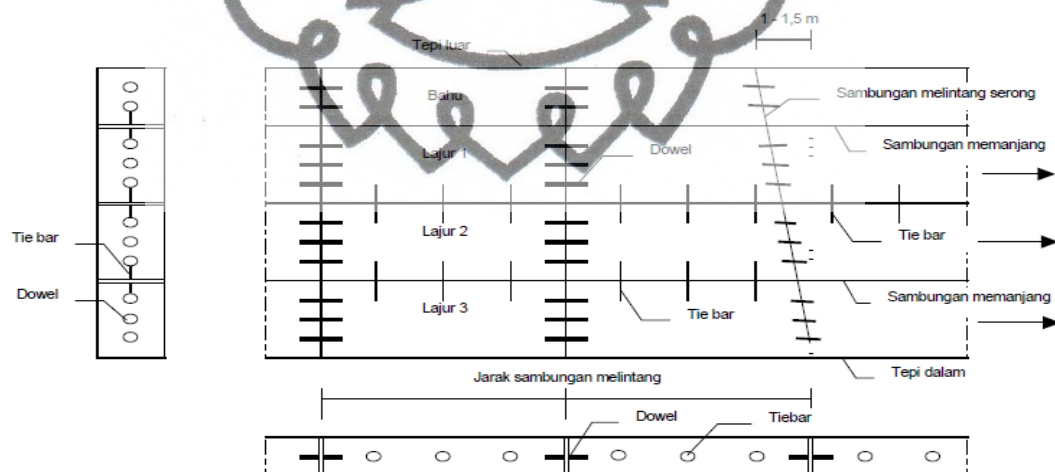
c. Sambungan konstruksi (pelaksanaan)

Diperlukan untuk kebutuhan konstruksi (berhenti dan mulai pengecoran). Jarak antara sambungan memanjang disesuaikan dengan lebar alat atau mesin penghampar (*paving machine*) dan oleh tebal perkerasan.

Selain 3 jenis sambungan tersebut, jika pelat perkerasan cukup lebar (> 7 m) maka diperlukan sambungan ke arah memanjang yang berfungsi sebagai penahan gaya lenting (*warping*) yang berupa sambungan engsel, dengan diperkuat batang pengikat (*tie bar*).

2. Geometrik Sambungan

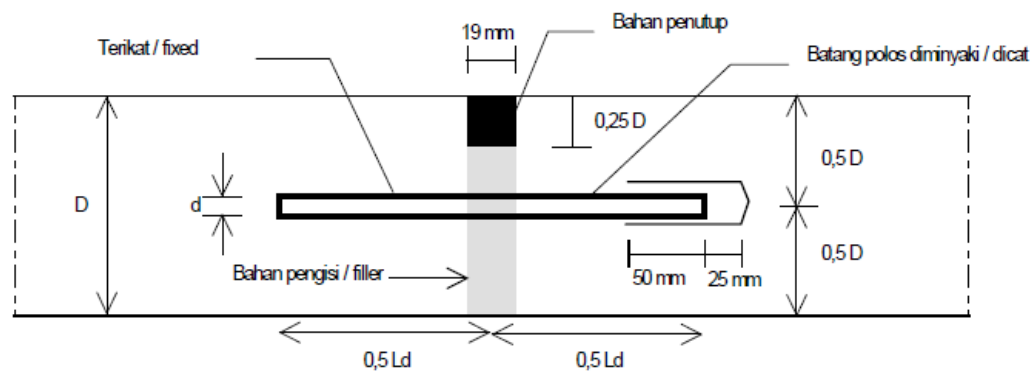
Geometrik sambungan adalah tata letak secara umum dan jarak antara sambungan.



Gambar 2.2 Tata Letak Sambungan pada Perkerasan Kaku

3. Dowel (Ruji)

Dowel berupa batang baja tulangan polos (maupun profil), yang digunakan sebagai sarana penyambung / pengikat pada beberapa jenis sambungan pelat beton perkerasan jalan. *Dowel* berfungsi sebagai penyalur beban pada sambungan, yang



Gambar 2.4 Sambungan Muai dengan *Dowel*

d = Diameter batang *dowel*

Ld = Panjang batang *dowel*

D = Tebal pelat beton perkerasan

4. Batang Pengikat (*Tie Bar*)

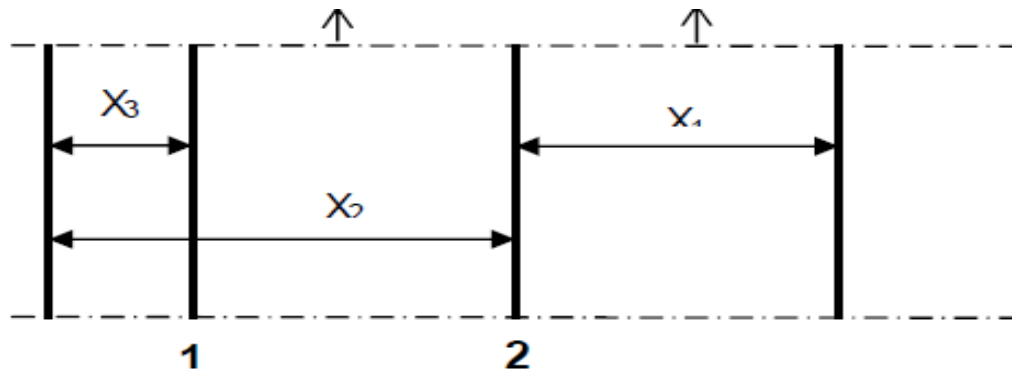
Tie bar adalah potongan baja yang diprofilkan yang dipasang pada sambungan lidah-alur dengan maksud untuk mengikat pelat agar tidak bergerak horisontal. Batang pengikat dipasang pada sambungan memanjang, lihat Gambar 2.5.

Cara menentukan dimensi batang pengikat, Jarak sambungan dari tepi terdekat, lihat Gambar 2.5.

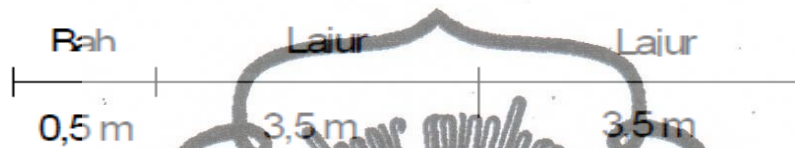
Tabel 2.19 Perhitungan

Nomor Sambungan	Jarak (X) meter	Jarak Maksimum <i>Tie Bar</i> (cm)	
		Ø 12 mm	Ø 16 mm
2	3,5	Tergantung Tebal Pelat	Tergantung Tebal Pelat

Sumber : AASHTO 1993

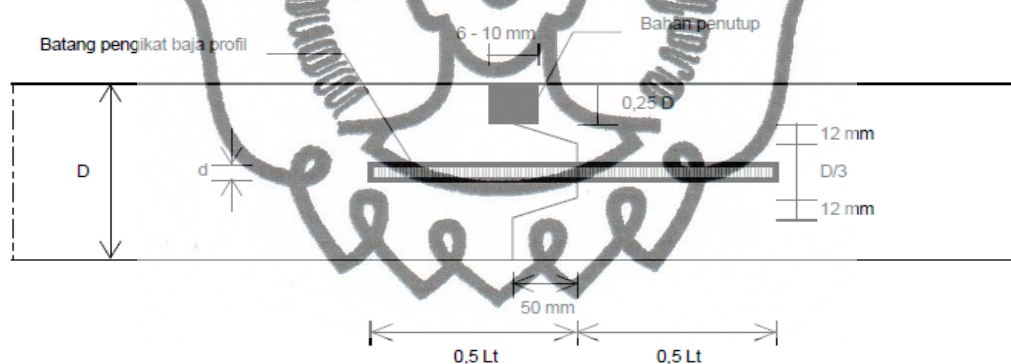


1, 2, 3, = Sambungan pelaksanaan memanjang



Gambar 2.5 Jarak Sambungan dari Tepi Terdekat

Sketsa sambungan pelaksanaan memanjang seperti pada Gambar 2.6

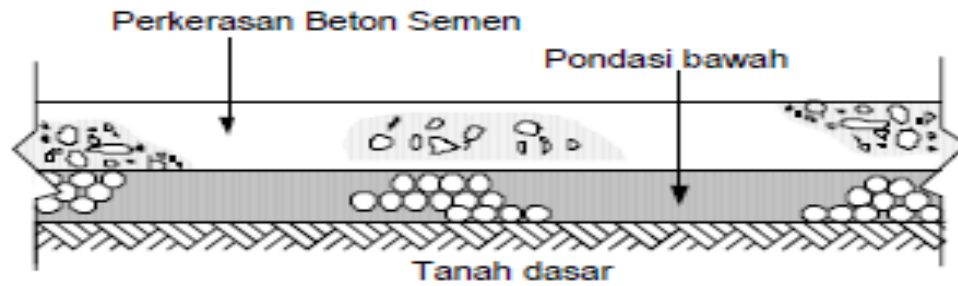


Lt = panjang batang pengikat (tie bar) dari baja tulangan yang diprofilkan, dapat dibengkokkan dan diluruskan kembali tanpa rusak
d = diameter tie bar
D = tebal pelat perkerasan

Gambar 2.6 Sambungan Pelaksanaan Memanjang dengan Lidah Alur dan Tie Bar.

2.2.2 Metode Bina Marga 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 di atas lapis pondasi bawah atau tanah dasar, tanpa atau dengan lapis permukaan beraspal. Struktur perkerasan beton semen secara tipikal sebagaimana terlihat pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 Tipikal Struktur Perkerasan Beton Semen

Pada perkerasan beton semen, daya dukung perkerasan terutama diperoleh dari pelat beton. Sifat, daya dukung dan keseragaman tanah dasar sangat mempengaruhi keawetan dan kekuatan perkerasan beton semen. Faktor-faktor yang perlu diperhatikan adalah kadar air pemadatan, kepadatan dan perubahan kadar air selama masa pelayanan. Lapis pondasi bawah pada perkerasan beton semen adalah bukan merupakan bagian utama yang memikul beban, tetapi merupakan bagian yang berfungsi sebagai berikut,

1. Mengendalikan pengaruh kembang susut tanah dasar.
2. Mencegah intrusi dan pemompaan pada sambungan, retakan dan tepi-tepi pelat.
3. Memberikan dukungan yang mantap dan seragam pada pelat.
4. Sebagai perkerasan lantai kerja selama pelaksanaan.

Pelat beton semen mempunyai sifat yang cukup kaku serta dapat menyebarkan beban pada bidang yang luas dan menghasilkan tegangan yang rendah pada lapisan-lapisan di bawahnya. Bila diperlukan tingkat kenyamanan yang tinggi, permukaan perkerasan beton semen dapat dilapisi dengan lapis campuran beraspal setebal 5 cm.

2.2.2.1 Tanah Dasar

Daya dukung tanah dasar ditentukan dengan pengujian CBR insitu sesuai dengan SNI 03-1731-1989 atau CBR laboratorium sesuai dengan SNI 03-1744-1989, masing-masing untuk perencanaan tebal perkerasan lama dan perkerasan jalan baru. Apabila tanah dasar mempunyai nilai CBR lebih kecil dari 2 %, maka harus

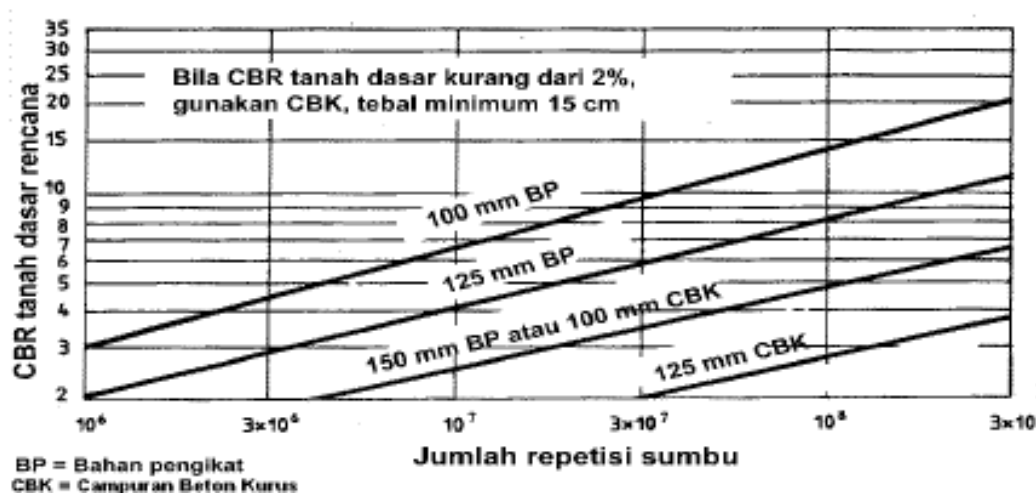
dipasang pondasi bawah yang terbuat dari beton kurus (*Lean-Mix Concrete*) setebal 15 cm yang dianggap mempunyai nilai CBR tanah dasar efektif 5 %.

2.2.2.2 Pondasi Bawah

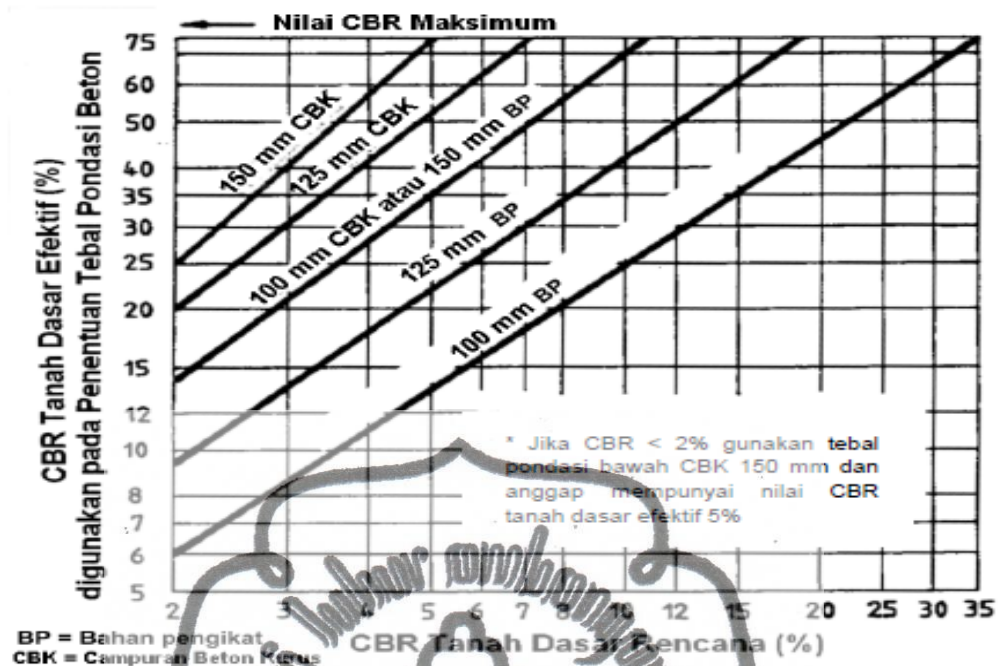
Bahan pondasi bawah dapat berupa,

1. Bahan berbutir
2. Stabilisasi atau dengan beton kurus giling padat (*Lean Rolled Concrete*)
3. Campuran beton kurus (*Lean-Mix Concrete*).

Lapis pondasi bawah perlu diperlebar sampai 60 cm diluar tepi perkerasan beton semen. Untuk tanah ekspansif perlu pertimbangan khusus perihal jenis dan penentuan lebar lapisan pondasi dengan memperhitungkan tegangan pengembangan yang mungkin timbul. Pemasangan lapis pondasi dengan lebar sampai ke tepi luar lebar jalan merupakan salah satu cara untuk mereduksi perilaku tanah ekspansif. Tebal lapisan pondasi minimum 10 cm yang paling sedikit mempunyai mutu sesuai dengan SNI No. 03-6388-2000 dan AASHTO M-155 serta SNI 03-1743-1989. Bila direncanakan perkerasan beton semen bersambung tanpa ruji, pondasi bawah harus menggunakan campuran beton kurus (CBK). Tebal lapis pondasi bawah minimum yang disarankan dapat dilihat pada Gambar 2.8 dan CBR tanah dasar efektif didapat dari Gambar 2.9.



Gambar 2.8 Tebal Pondasi Bawah Minimum untuk Perkerasan Beton Semen



Gambar 2.9 CBR Tanah Dasar Efektif dan Tebal Pondasi Bawah

1. Pondasi Bawah Material Berbutir

Material berbutir tanpa pengikat harus memenuhi persyaratan sesuai dengan SNI-03-6388-2000. Persyaratan dan gradasi pondasi bawah harus sesuai dengan kelas B. Sebelum pekerjaan dimulai, bahan pondasi bawah harus diuji gradasinya dan harus memenuhi spesifikasi bahan untuk pondasi bawah, dengan penyimpangan ijin 3% - 5%. Ketebalan minimum lapis pondasi bawah untuk tanah dasar dengan CBR minimum 5% adalah 15 cm. Derajat kepadatan lapis pondasi bawah minimum 100 %, sesuai dengan SNI 03-1743-1989.

2. Pondasi Bawah dengan Bahan Pengikat (*Bound Sub-base*)

Pondasi bawah dengan bahan pengikat (BP) dapat digunakan salah satu dari,

- Stabilisasi material berbutir dengan kadar bahan pengikat yang sesuai dengan hasil perencanaan, untuk menjamin kekuatan campuran dan ketahanan terhadap erosi. Jenis bahan pengikat dapat meliputi semen, kapur, serta abu terbang dan/atau *slag* yang dihaluskan.
- Campuran beraspal bergradasi rapat (*dense-graded asphalt*).

- c. Campuran beton kurus giling padat yang harus mempunyai kuat tekan karakteristik pada umur 28 hari minimum 5,5 MPa (55 kg/cm²).

3. Pondasi Bawah dengan Campuran Beton Kurus (*Lean-Mix Concrete*)

Campuran beton kurus (CBK) harus mempunyai kuat tekan beton karakteristik pada umur 28 hari minimum 5 MPa (50 kg/cm²) tanpa menggunakan abu terbang, atau 7 MPa (70 kg/cm²) bila menggunakan abu terbang, dengan tebal minimum 10 cm.

4. Lapis Pemecah Ikatan Pondasi Bawah dan Pelat

Perencanaan ini didasarkan bahwa antara pelat dengan pondasi bawah tidak ada ikatan. Jenis pemecah ikatan dan koefisien geseknya dapat dilihat pada Tabel 2.20

Tabel 2.20 Nilai Koefisien Gesekan (μ)

No	Lapis Pemecah Ikatan	Koefisien Gesekan (μ)
1	Lapis resap ikat aspal di atas permukaan pondasi bawah	1,0
2	Laburan parafin tipis pemecah ikat	1,5
3	Karet kompon (<i>A chlorinated rubber curing compound</i>)	2,0

Sumber: Pd T-14-2003

2.2.2.3 Beton Semen

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

tekan karakteristik dengan kuat tarik-lentur beton dapat didekati dengan rumus berikut,

$$f_{cf} = K (f_c')^{0,50} \quad \text{dalam MPa} \dots\dots\dots (13)$$

$$f_{cf} = 3,13 K (f_c')^{0,50} \quad \text{dalam kg/cm}^2 \dots\dots\dots (14)$$

Dimana:

f_c' = Kuat tekan beton karakteristik 28 hari (kg/cm^2)

f_{cf} = Kuat tarik lentur beton 28 hari (kg/cm^2)

K = Konstanta, 0,7 untuk agregat tidak dipecah dan 0,75 untuk agregat pecah

Kuat tarik lentur dapat juga ditentukan dari hasil uji kuat tarik belah beton yang dilakukan menurut SNI 03-2491-1991 sebagai berikut,

$$f_{cf} = 1,37 f_{cs} \quad \text{dalam MPa} \dots\dots\dots (15)$$

$$f_{cf} = 13,44 f_{cs} \quad \text{dalam kg/cm}^2 \dots\dots\dots (16)$$

Dimana:

f_{cs} = kuat tarik belah beton 28 hari

Beton dapat diperkuat dengan serat baja (*steel-fibre*) untuk meningkatkan kuat tarik lenturnya dan mengendalikan retak pada pelat khususnya untuk bentuk tidak lazim. Serat baja dapat digunakan pada campuran beton, untuk jalan plaza tol, putaran dan perhentian bus. Panjang serat baja antara 15 mm dan 50 mm yang bagian ujungnya melebar sebagai angker dan/atau sekrup penguat untuk meningkatkan ikatan. Secara tipikal serat dengan panjang antara 15 dan 50 mm dapat ditambahkan ke dalam adukan beton, masing-masing sebanyak 75 dan 45 kg/m^3 . Semen yang akan digunakan untuk pekerjaan beton harus dipilih dan sesuai dengan lingkungan dimana perkerasan akan dilaksanakan.

2.2.2.4 Lalu Lintas

Penentuan beban lalu-lintas rencana untuk perkerasan beton semen, dinyatakan dalam jumlah sumbu kendaraan niaga (*commercial vehicle*), sesuai dengan konfigurasi sumbu pada lajur rencana selama umur rencana. Lalu-lintas harus

dianalisis berdasarkan hasil perhitungan volume lalu-lintas dan konfigurasi sumbu, menggunakan data terakhir atau data 2 tahun terakhir. Kendaraan yang ditinjau untuk perencanaan perkerasan beton semen adalah yang mempunyai berat total minimum 5 ton. Konfigurasi sumbu untuk perencanaan terdiri atas 4 jenis kelompok sumbu sebagai berikut,

1. Sumbu Tunggal Roda Tunggal (STRT)
2. Sumbu Tunggal Roda Ganda (STRG)
3. Sumbu Tandem Roda Ganda (STdRG)
4. Sumbu Tridem Roda Ganda (STrRG)

1. Lajur Rencana dan Koefisien Distribusi

Lajur rencana merupakan salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan raya yang menampung lalu-lintas kendaraan niaga terbesar. Jika jalan tidak memiliki tanda batas lajur, maka jumlah lajur dan koefisien distribusi (C) kendaraan niaga dapat ditentukan dari lebar perkerasan sesuai Tabel 2.21

Tabel 2.21 Jumlah Lajur berdasarkan Lebar Perkerasan dan Koefisien Distribusi Kendaraan Niaga pada Lajur Rencana

Lebar Perkerasan (Lp)	Jumlah Lajur (n)	Koefisien Distribusi	
		1 Arah	2 Arah
$Lp < 5,50 \text{ m}$	1 Lajur	1,0	1,0
$5,50 \text{ m} \leq Lp < 8,25 \text{ m}$	2 Lajur	0,70	0,50
$8,25 \text{ m} \leq Lp < 11,25 \text{ m}$	3 Lajur	0,50	0,475
$11,23 \text{ m} \leq Lp < 15,00 \text{ m}$	4 Lajur		0,45
$15,00 \text{ m} \leq Lp < 18,75 \text{ m}$	5 Lajur		0,425
$18,75 \text{ m} \leq Lp < 22,00 \text{ m}$	6 Lajur		0,40

Sumber: Pd T-14-2003

2. Umur Rencana

Umur rencana perkerasan jalan ditentukan atas pertimbangan klasifikasi fungsional jalan, pola lalu-lintas serta nilai ekonomi jalan yang bersangkutan.

Umumnya perkerasan beton semen dapat direncanakan dengan umur rencana (UR) 20 tahun sampai 40 tahun.

3. Pertumbuhan Lalu Lintas

Volume lalu-lintas akan bertambah sesuai dengan umur rencana atau sampai tahap di mana kapasitas jalan dicapai dengan faktor pertumbuhan lalu-lintas yang dapat ditentukan berdasarkan rumus sebagai berikut,

$$R = \frac{(1+i)^{UR}-1}{i} \dots\dots\dots(17)$$

Dimana:

R = Faktor pertumbuhan lalu lintas

i = Laju pertumbuhan lalu lintas per tahun (%)

UR = Umur rencana (tahun)

Faktor pertumbuhan lalu lintas dapat dilihat pada Tabel 2.22

Tabel 2.22 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Umur Rencana (tahun)	Laju Pertumbuhan (i) per Tahun (%)					
	0	2	4	6	8	10
5	5	5,2	5,4	5,6	5,9	6,1
10	10	10,9	12	13,2	14,5	15,9
15	15	17,3	20	23,3	27,2	31,8
20	20	24,3	29,8	36,8	45,8	57,3
25	25	32	41,6	54,9	73,1	98,3
30	30	40,6	56,1	79,1	113,3	164,5
35	35	50	73,7	111,4	172,3	271
40	40	60,4	95	154,8	259,1	442,6

Sumber: Pd T-14-2003

Apabila setelah waktu tertentu pertumbuhan lalu-lintas tidak terjadi lagi, maka R dapat dihitung dengan cara sebagai berikut,

$$R = \frac{(1+i)^{UR}-1}{i} + (UR - UR_m)\{(1+i)^{UR_m} - 1\} \dots\dots\dots(18)$$

Dimana:

R = Faktor pertumbuhan lalu lintas

i = Laju pertumbuhan lalu lintas per tahun dalam %.

UR_m = Waktu tertentu dalam tahun, sebelum UR selesai

4. 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. Beban pada suatu jenis sumbu secara tipikal dikelompokkan dalam interval 10 kN (1 ton) bila diambil dari survai beban. Jumlah sumbu kendaraan niaga selama umur rencana dihitung dengan rumus berikut,

$$JSKN = JSKNH \times 365 \times R \times C \dots\dots\dots(19)$$

Dimana:

$JSKN$ = Jumlah total sumbu kendaraan niaga selama umur rencana

$JSKNH$ = Jumlah total sumbu kendaraan niaga per hari pada saat jalan dibuka

R = Faktor pertumbuhan komulatif

C = Koefisien distribusi kendaraan

5. Faktor Keamanan Beban

Pada penentuan beban rencana, beban sumbu dikalikan dengan faktor keamanan beban (F_{KB}). Faktor keamanan beban ini digunakan berkaitan adanya berbagai tingkat realibilitas perencanaan seperti terlihat pada Tabel 2.23.

Tabel 2.23 Faktor Keamanan Beban (F_{KB})

No	Penggunaan	Nilai F_{KB}
1	Jalan Bebas Hambatan Utama (<i>major freeway</i>) dan Jalan Berlajur Banyak	1,2
2	Jalan Bebas Hambatan (<i>freeway</i>) dan Jalan Arteri	1,1
3	Jalan dengan Volume Kendaraan Niaga Rendah	1,0

Sumber: Pd T-14-2003

2.2.2.5 Bahu

Bahu dapat terbuat dari bahan lapisan pondasi bawah dengan atau tanpa lapisan penutup beraspal atau lapisan beton semen. Perbedaan kekuatan antara bahu dengan jalur lalu-lintas akan memberikan pengaruh pada kinerja perkerasan. Hal tersebut dapat diatasi dengan bahu beton semen, sehingga akan meningkatkan kinerja perkerasan dan mengurangi tebal pelat. Yang dimaksud dengan bahu beton semen dalam pedoman ini adalah bahu yang dikunci dan diikatkan dengan lajur lalu-lintas dengan lebar minimum 1,50 m, atau bahu yang menyatu dengan lajur lalu-lintas selebar 0,60 m, yang juga dapat mencakup saluran dan kereb.

2.2.2.6 Sambungan

Sambungan pada perkerasan beton semen ditujukan untuk,

1. Membatasi tegangan dan pengendalian retak yang disebabkan oleh penyusutan, pengaruh lenting serta beban lalu-lintas.
2. Memudahkan pelaksanaan.
3. Mengakomodasi gerakan pelat.

Pada perkerasan beton semen terdapat beberapa jenis sambungan antara lain,

1. Sambungan memanjang.
2. Sambungan melintang.
3. Sambungan isolasi.

commit to user

Semua sambungan harus ditutup dengan bahan penutup (*joint sealer*), kecuali pada sambungan isolasi terlebih dahulu harus diberi bahan pengisi (*joint filler*).

1. Sambungan Memanjang dengan Batang Pengikat (*Tie Bars*)

Pemasangan sambungan memanjang ditujukan untuk mengendalikan terjadinya retak memanjang. Jarak antar sambungan memanjang sekitar 3 - 4 m. Sambungan memanjang harus dilengkapi dengan batang ulir dengan mutu minimum BJTU-24 dan berdiameter 16 mm. Ukuran batang pengikat dihitung dengan persamaan sebagai berikut,

$$A_t = 204 \times b \times h \dots\dots\dots(20)$$

$$l = (38,3 \times \emptyset) + 75 \dots\dots\dots(21)$$

Dimana:

A_t = Luas penampang tulangan per meter panjang sambungan (mm^2).

b = Jarak terkecil antar sambungan atau jarak sambungan dengan tepi perkerasan (m).

h = Tebal pelat (m).

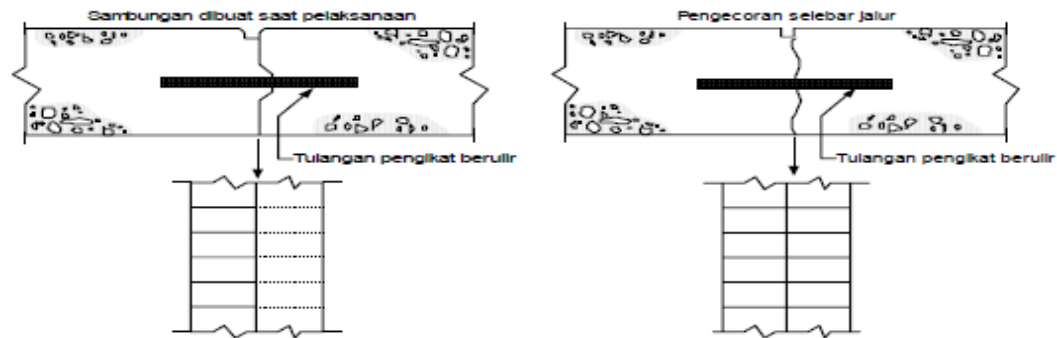
l = Panjang batang pengikat (mm)

\emptyset = Diameter batang pengikat yang dipilih (mm)

Jarak batang pengikat yang digunakan adalah 75 cm.

2. Sambungan Pelaksanaan Memanjang

Sambungan pelaksanaan memanjang umumnya dilakukan dengan cara penguncian. Bentuk dan ukuran penguncian dapat berbentuk trapesium atau setengah lingkaran sebagai mana diperlihatkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Tipikal Sambungan Memanjang



Gambar 2.11 Ukuran Standar Penguncian Sambungan Memanjang

Sebelum penghambaran pelat beton di sebelahnya, permukaan sambungan pelaksanaan harus dicat dengan aspal atau kapur tembok untuk mencegah terjadinya ikatan beton lama dengan yang baru.

3. Sambungan Susut Memanjang

Sambungan susut memanjang dapat dilakukan dengan salah satu dari dua cara ini, yaitu menggergaji atau membentuk pada saat beton masih plastis dengan kedalaman sepertiga dari tebal pelat.

4. Sambungan Susut dan Sambungan Pelaksanaan Melintang

Ujung sambungan ini harus tegak lurus terhadap sumbu memanjang jalan dan tepi perkerasan. Untuk mengurangi beban dinamis, sambungan melintang harus dipasang dengan kemiringan 1 : 10 searah perputaran jarum jam.

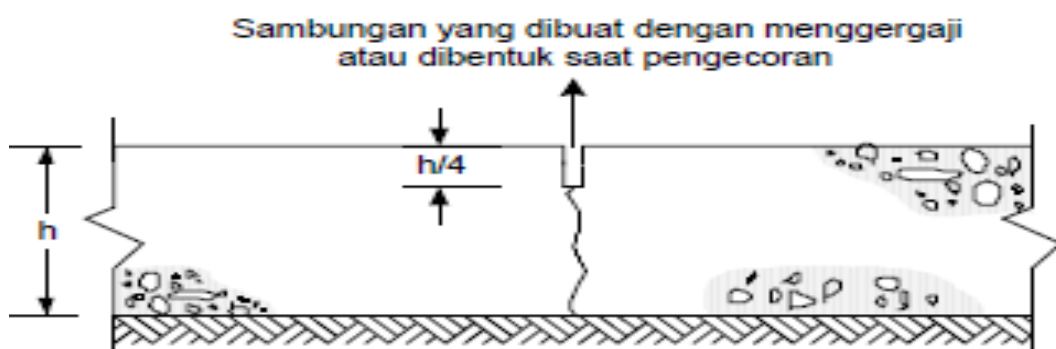
5. Sambungan Susut Melintang

Kedalaman sambungan kurang lebih mencapai seperempat dari tebal pelat untuk perkerasan dengan lapis pondasi berbutir atau sepertiga dari tebal pelat untuk lapis pondasi stabilisasi semen sebagai mana diperlihatkan pada Gambar 2.12. dan 2.13. Jarak sambungan susut melintang untuk perkerasan beton bersambung tanpa tulangan sekitar 4 - 5 m, sedangkan untuk perkerasan beton bersambung dengan tulangan 8 - 15 m dan untuk sambungan perkerasan beton menerus dengan tulangan sesuai dengan kemampuan pelaksanaan. Sambungan ini harus dilengkapi dengan ruji polos panjang 45 cm, jarak antara ruji 30 cm, lurus dan bebas dari tonjolan tajam yang akan mempengaruhi gerakan bebas pada saat pelat beton menyusut. Setengah panjang ruji polos harus dicat atau dilumuri dengan bahan anti lengket untuk menjamin tidak ada ikatan dengan beton. Diameter ruji tergantung pada tebal pelat beton sebagaimana terlihat pada Tabel 2.24

Tabel 2.24 Diameter Ruji

No	Tebal Pelat Beton (mm)	Diameter Ruji (mm)
1	$125 < h < 140$	20
2	$140 < h < 160$	24
3	$160 < h < 190$	28
4	$190 < h < 220$	33
5	$220 < h < 250$	36

Sumber: Pd T-14-2003



Gambar 2.12 Sambungan Susut Melintang tanpa Ruji

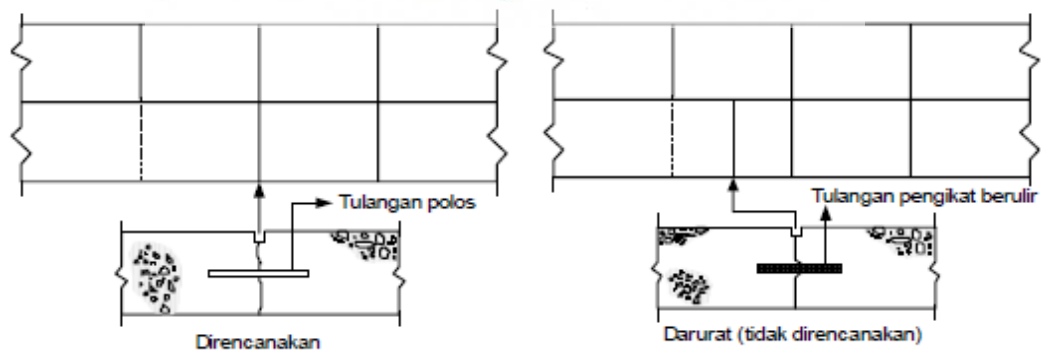
commit to user



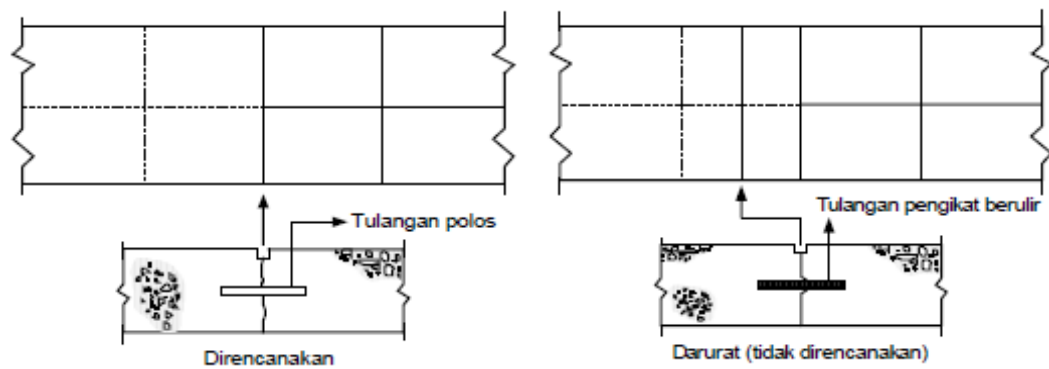
Gambar 2.13 Sambungan Susut Melintang dengan Ruji

6. Sambungan Pelaksanaan Melintang

Sambungan pelaksanaan melintang yang tidak direncanakan (darurat) harus menggunakan batang pengikat berulir, sedangkan pada sambungan yang direncanakan harus menggunakan batang tulangan polos yang diletakkan di tengah tebal pelat. Tipikal sambungan pelaksanaan melintang diperlihatkan pada Gambar 2.14 dan Gambar 2.15. Sambungan pelaksanaan tersebut di atas harus dilengkapi dengan batang pengikat berdiameter 16 mm, panjang 69 cm dan jarak 60 cm, untuk ketebalan pelat sampai 17 cm. Untuk ketebalan lebih dari 17 cm, ukuran batang pengikat berdiameter 20 mm, panjang 84 cm dan jarak 60 cm.



Gambar 2.14 Sambungan Pelaksanaan yang Direncanakan dan yang Tidak Direncanakan untuk Pengecoran per Lajur

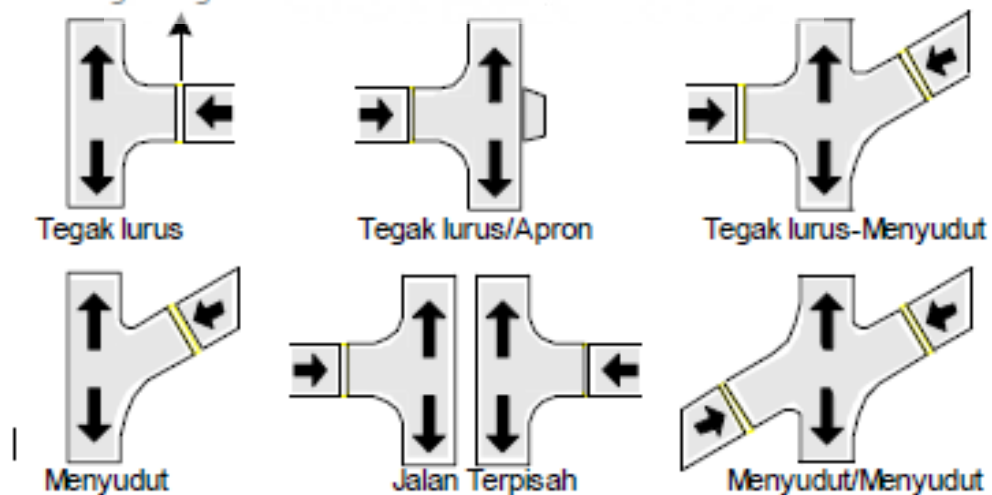


Gambar 2.15 Sambungan Pelaksanaan yang Direncanakan dan yang Tidak Direncanakan untuk Pengecoran Seluruh Lebar Perkerasan

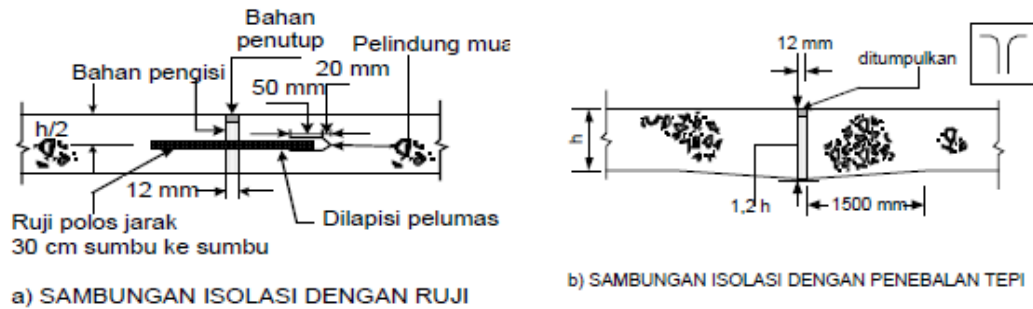
7. Sambungan Isolasi

Sambungan isolasi memisahkan perkerasan dengan bangunan yang lain, misalnya *manhole*, jembatan, tiang listrik, jalan lama, persimpangan dan lain sebagainya. Contoh persimpangan yang membutuhkan sambungan isolasi diperlihatkan pada Gambar 2.16. Sambungan isolasi harus dilengkapi dengan bahan penutup (*joint sealer*) setebal 5 – 7 mm dan sisanya diisi dengan bahan pengisi (*joint filler*) sebagai mana diperlihatkan pada Gambar 2.17.

Sambungan isolasi yang diperlukan di belakang tulangan

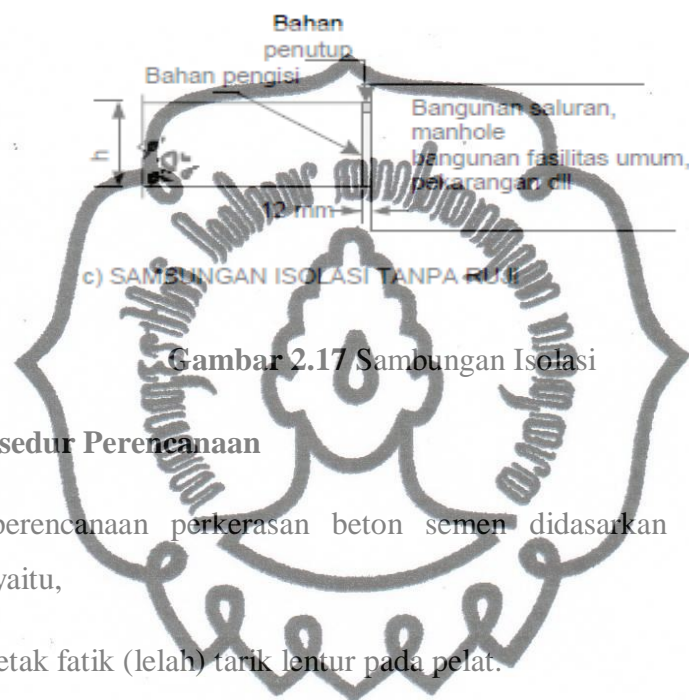


Gambar 2.16 Contoh Persimpangan yang Membutuhkan Sambungan Isolasi



a) SAMBUNGAN ISOLASI DENGAN RUJI

b) SAMBUNGAN ISOLASI DENGAN PENEBALAN TEPI



c) SAMBUNGAN ISOLASI TANPA RUJI

Gambar 2.17 Sambungan Isolasi

2.2.2.7 Prosedur Perencanaan

Prosedur perencanaan perkerasan beton semen didasarkan atas dua model kerusakan yaitu,

- Retak fatik (lelah) tarik lentur pada pelat.
- Erosi pada pondasi bawah atau tanah dasar yang diakibatkan oleh lendutan berulang pada sambungan dan tempat retak yang direncanakan.

Prosedur ini mempertimbangkan ada tidaknya ruji pada sambungan atau bahu beton. Perkerasan beton semen menerus dengan tulangan dianggap sebagai perkerasan bersambung yang dipasang ruji. Data lalu-lintas yang diperlukan adalah jenis sumbu dan distribusi beban serta jumlah repetisi masing-masing jenis sumbu/kombinasi beban yang diperkirakan selama umur rencana.

1. Perencanaan Tebal Pelat

Tebal pelat taksiran dipilih dan total fatik serta kerusakan erosi dihitung berdasarkan komposisi lalu-lintas selama umur rencana. Jika kerusakan fatik atau erosi lebih dari 100%, tebal taksiran dinaikan dan proses perencanaan diulangi.

Tebal rencana adalah tebal taksiran yang paling kecil yang mempunyai total fatik dan atau total kerusakan erosi lebih kecil atau sama dengan 100%.

2. Perencanaan Tulangan

Tujuan utama penulangan untuk,

- a. Membatasi lebar retakan, agar kekuatan pelat tetap dapat dipertahankan
- b. Memungkinkan penggunaan pelat yang lebih panjang agar dapat mengurangi jumlah sambungan melintang sehingga dapat meningkatkan kenyamanan
- c. Mengurangi biaya pemeliharaan

Jumlah tulangan yang diperlukan dipengaruhi oleh jarak sambungan susut, sedangkan dalam hal beton bertulang menerus, diperlukan jumlah tulangan yang cukup untuk mengurangi sambungan susut.

- a. Perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan

Pada perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan, ada kemungkinan penulangan perlu dipasang guna mengendalikan retak. Penerapan tulangan umumnya dilaksanakan pada,

1. Pelat dengan bentuk tak lazim (*odd-shaped slabs*),

Pelat disebut tidak lazim bila perbandingan antara panjang dengan lebar lebih besar dari 1,25, atau bila pola sambungan pada pelat tidak benar-benar berbentuk bujur sangkar atau empat persegi panjang.

2. Pelat dengan sambungan tidak sejalur (*mismatched joints*).
3. Pelat berlubang (*pits or structures*).

- b. Perkerasan beton semen bersambung dengan tulangan

Luas penampang tulangan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$A_s = \frac{\mu L M g h}{2 f_s} \dots \dots \dots (22)$$

Dimana:

A_s = Luas penampang tulangan baja (mm^2/m lebar pelat)

f_s = Kuat-tarik ijin tulangan (MPa). Biasanya 0,6 kali tegangan leleh.

g = Gravitasi (m/detik^2).

h = Tebal pelat beton (m)

commit to user

L = Jarak antara sambungan yang tidak diikat dan/atau tepi bebas pelat (m)

M = Berat per satuan volume pelat (kg/m^3)

μ = Koefisien gesek antara pelat beton dan pondasi bawah

Tabel 2.25 Ukuran dan Berat Tulangan Polos Anyaman Las

Tulangan Memanjang		Tulanga Melintang		Luas Penampang Tulangan		Berat per Satuan Luas
Diameter	Jarak	Diameter	Jarak	Memanjang	Melintang	
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm^2/m)	(mm^2/m)	(kg/m^2)
Empat Persegi Panjang						
12,5	100	8	200	1227	251	11,606
11,2	100	8	200	986	251	9,707
10	100	8	200	785	252	8,138
9	100	8	200	636	251	6,967
8	100	8	200	503	251	5,919
7,1	100	8	200	396	251	5,091
9	200	8	250	318	201	4,076
8	200	8	250	251	201	3,552
Bujur Sangkar						
8	100	8	100	503	503	7,892
10	200	10	200	393	393	6,165
9	200	9	200	318	318	4,994
8	200	8	200	251	251	3,946
7,1	200	7,1	200	198	198	3,108
6,3	200	6,3	200	156	156	2,447
5	200	5	200	98	98	1,542
4	200	4	200	63	63	0,987

Sumber: Pd T-14-2003

c. Perkerasan beton semen menerus dengan tulangan

1. Penulangan Memanjang

Tulangan memanjang yang dibutuhkan pada perkerasan beton semen bertulang menerus dengan tulangan dihitung dari persamaan berikut:

$$P_s = \frac{100 f_{ct} (1,3 - 0,2\mu)}{f_y - n f_{ct}} \dots \dots \dots (23)$$

Dimana:

P_s = Persentase luas tulangan memanjang yang dibutuhkan terhadap luas penampang beton (%)

f_{ct} = Kuat tarik langsung beton (0,4 – 0,5 f_{cf}) (kg/cm²)

f_y = Tegangan leleh rencana baja (kg/cm²)

n = Angka ekivalensi antara baja dan beton (E_s/E_c), dapat dilihat pada Tabel 2.27 atau dihitung dengan rumus

μ = Koefisien gesekan antara pelat beton dengan lapisan di bawahnya

E_s = Modulus elastisitas baja = $2,1 \times 10^6$ (kg/cm²)

E_c = Modulus elastisitas beton = $1485 \sqrt{f'_c}$ (kg/cm²)

Tabel 2.26 Hubungan Kuat Tekan Beton dan Angka Ekvivalen Baja dan Beton

f'_c (kg/cm ²)	n
175 - 225	10
235 - 285	8
290 - ke atas	6

Sumber: Pd T-14-2003

Persentase minimum dari tulangan memanjang pada perkerasan beton menerus adalah 0,6% luas penampang beton. Jumlah optimum tulangan memanjang, perlu dipasang agar jarak dan lebar retakan dapat dikendalikan. Secara teoritis jarak antara retakan pada perkerasan beton menerus dengan tulangan dihitung dari persamaan berikut :

$$L_{cr} = \frac{f_{ct}^2}{n p^2 u f_b (E_s E_c - f_{ct})} \dots \dots \dots (24)$$

Dimana:

L_{cr} = Jarak teoritis antara retakan (cm).

p = Perbandingan luas tulangan memanjang dengan luas penampang beton.

u = Perbandingan keliling terhadap luas tulangan = $4/d$.

f_b = Tegangan lekat antara tulangan dengan beton = $1,97 \sqrt{f'_c}/d$ (kg/cm²)

E_s = Koefisien susut beton $400 \cdot 10^{-6}$.

f_{ct} = Kuat tarik langsung beton 0,4 – 0,5 f_{cf} (kg/cm²)

n = Angka ekivalensi antara baja dan beton E_s/E_c

E_c = Modulus elastisitas beton = $14850\sqrt{f'_c}$ (kg/cm²)

E_s = Modulus elastisitas baja = $2,1 \times 10^6$ (kg/cm²)

Untuk menjamin agar didapat retakan-retakan yang halus dan jarak antara retakan yang optimum, maka

- a. Persentase tulangan dan perbandingan antara keliling dan luas tulangan harus besar
- b. Perlu menggunakan tulangan ulir (*deformed bars*) untuk memperoleh tegangan lekat yang lebih tinggi.

Jarak retakan teoritis yang dihitung dengan persamaan di atas harus memberikan hasil antara 150 dan 250 cm. Jarak antar tulangan 100 mm - 225 mm. Diameter batang tulangan memanjang berkisar antara 12 mm dan 20 mm.

2. Penulangan Melintang

Luas tulangan melintang (A_s) yang diperlukan pada perkerasan beton menerus dengan tulangan dihitung menggunakan persamaan yang sama dengan perkerasan beton bersambung dengan tulangan.

Tulangan melintang direkomendasikan sebagai berikut:

- a. Diameter batang ulir tidak lebih kecil dari 12 mm.
- b. Jarak maksimum tulangan dari sumbu ke sumbu 75 cm.

3. Penempatan Tulangan

Penulangan melintang pada perkerasan beton semen harus ditempatkan pada kedalaman lebih besar dari 65 mm dari permukaan untuk tebal pelat ≤ 20 cm dan maksimum sampai $1/3$ tebal pelat untuk tebal pelat > 20 cm. Tulangan arah memanjang dipasang di atas tulangan arah melintang.