

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Perkerasan

Hardiyatmo (2015) menyatakan tanah asli jarang sekali dalam kondisi mampu mendukung beban yang berulang-ulang dari lalu lintas kendaraan tanpa mengalami deformasi yang besar. Karena itu, diperlukan struktur yang dapat melindungi tanah dari beban roda kendaraan yang disebut perkerasan.

Perkerasan jalan raya adalah bagian dari jalan raya dengan lapis konstruksi tertentu, yang memiliki ketebalan, kekuatan, kekakuan serta kestabilan tertentu agar mampu menyalurkan beban lalu lintas ke tanah dasar secara aman. Perkerasan jalan merupakan lapisan perkerasan yang terletak diantara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan yang berfungsi memberikan pelayanan kepada sarana transportasi dan selama masa pelayanannya diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti (Totomihardjo,2004)

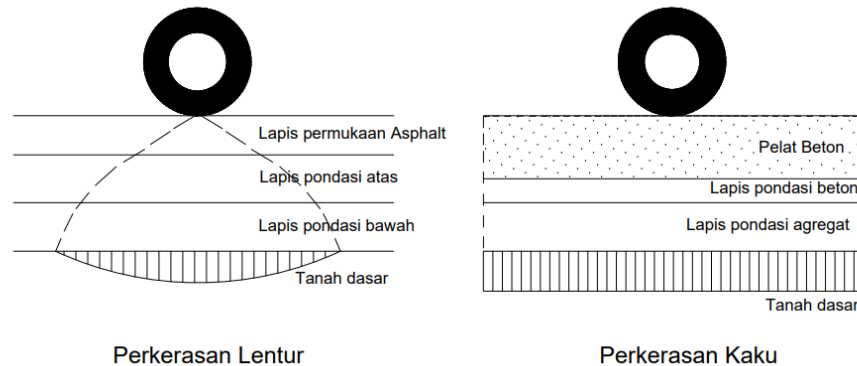
Hardiyatmo (2015) menyimpulkan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja struktur perkerasan sebagai berikut:

1. Kelembaban air yang berlebihan, ditambah dengan volume lalu lintas yang semakin tinggi mempercepat timbulnya kerusakan pada perkerasan.
2. Temperatur berpengaruh pada kinerja perkerasan. Pada perkerasan lentur aspal menjadi kaku dan getas pada temperatur rendah dan menjadi lunak atau lembek pada temperatur tinggi. Sedangkan pada perkerasan beton akibat perbedaan temperatur suhu dibagian atas dan bawah perkerasan menyebabkan perkerasan beton melengkung.
3. Pekerjaan pemeliharaan perkerasan memerlukan pemilihan kondisi cuaca yang tepat.
4. Drainase jalan yang baik harus mampu menghindarkan masalah kerusakan yang diakibatkan oleh pengaruh air dan beban lalu lintas.

Perkerasan dapat diklasifikasikan menjadi tiga yaitu :

1. Perkerasan lentur (*flexible pavement*),
2. Perkerasan kaku (*rigid pavement*), dan
3. Perkerasan komposit (*compotive pavement*).

Hardiyatmo (2007) menyatakan perkerasan lentur (*flexible pavement*) terdiri dari lapisan batuan yang dipadatkan yang berada di bawah permukaan aspal dan perkerasan kaku (*rigid pavement*) terdiri dari pelat beton yang terletak langsung di atas tanah atau di atas lapisan material granuler. Perbedaan yang paling menonjol antara kedua tipe perkerasan tersebut adalah cara keduanya dalam menyebarkan beban di atas tanah dasar. Umumnya, penyebaran tekanan beberapa jenis perkerasan ditunjukkan dalam Gambar 3.1. Sedangkan perkerasan komposit (*compotive pavement*) merupakan gabungan antara perkerasan beton semen portland dan perkerasan aspal.



Gambar 3.1 Perbedaan Penyebaran Tekanan Pada Perkerasan

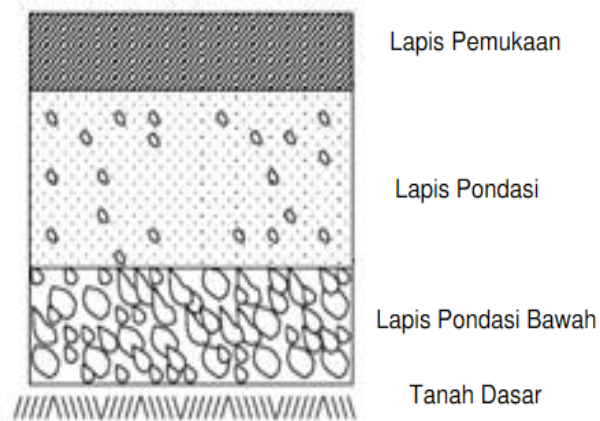
(Sumber : Hardiyatmo,2015)

3.1.1 Perkerasan Lentur

Sukirman (2003) menyatakan perkerasan lentur (*flexible pavement*) merupakan perkerasan jalan yang umum dipakai di Indonesia. Kontruksi perkerasan lentur disebut “lentur” karena kontruksi ini mengizinkan terjadinya deformasi vertikal akibat beban lalu lintas yang terjadi. Perkerasan lentur biasanya

terdiri dari 3 lapis material konstruksi jalan di atas tanah dasar, yaitu lapis pondasi bawah, lapis pondasi atas dan lapis permukaan.

Pada umumnya, perkerasan lentur terdiri dari beberapa jenis lapis perkerasan yang tersusun seperti Gambar 3.2 berikut.



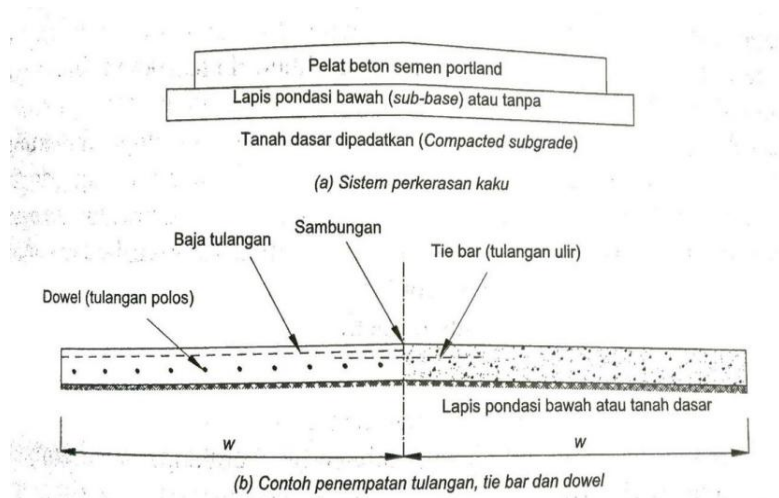
Gambar 3.2 Lapisan Perkerasan Lentur

(Sumber : Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur,2002)

3.1.2 Perkerasan Kaku

Hardiyatmo (2015) menyatakan perkerasan kaku terdiri dari pelat beton semen portland yang terletak langsung diatas tanah dasar. Perkerasan beton yang kaku memiliki modulus elastisitas yang cukup tinggi. Pelat beton dapat mendistribusikan beban dari atas menuju ke bidang tanah dasar dengan area yang cukup luas dibandingkan dengan perkerasan lentur. Kemampuan tersebut menunjukkan bahwa bagian terbesar dari kekuatan struktur perkerasan kaku diperoleh dari pelat beton sendiri.

Perkerasan kaku terdiri dari beberapa jenis lapis perkerasan yang tersusun seperti Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3 Lapisan Perkerasan Kaku

(Sumber : Hardiyatmo,2015)

Pada umumnya struktur perkerasan kaku terdiri dari tiga bagian, yaitu lapis perkerasan berupa pelat beton (*concrete slab*), lapis pondasi dan tanah dasar. Lapisan tersebut memiliki fungsi dan karakteristik yang berbeda dalam mendukung beban lalu lintas (Totomihardjo, 2004).

3.2 Tanah Dasar

Tanah dasar merupakan pondasi yang secara langsung menerima beban lalu lintas dari perkerasan yang berada di atasnya. Dimana pondasi bawah (*subbase*), pondasi (*base*) atau perkerasan berada, maka integritas dari struktur perkerasan bergantung pada stabilitas struktur tanah dasar (Hardiyatmo, 2015).

Tanah dasar berfungsi sebagai pondasi jalan yang terdiri dari urugan yang dipadatkan dengan kedalaman tertentu dibawah dasar struktur perkerasan. Semakin kaku perkerasan, maka penyebaran tekanan roda ke tanah dasar semakin mengecil. Oleh sebab itu, kedalaman tanah dasar akan bervariasi dan bergantung pada besarnya beban dan tipe perkerasan ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Kedalaman Tanah Dasar Menurut Look 2007

Aplikasi	Tipe Beban	Tipe Perkerasan	Kedalaman Tanah Dasar (m)
Bandara	Dinamik/Ekstra berat	Lentur	2,0
		Kaku	1,5
Jalan angkut tambang	Dinamik/Sangat berat	Lentur	1,5
Jalan rel	Dinamik/Sangat berat	Lentur/kaku	1,25
Jalan utama	Dinamik/ berat	Lentur	1,0
		Kaku	0,75
Bangunan industri	Dinamik/statik/berat	Kaku	0,75
Jalan minor	Dinamik/sedang	Lentur	0,75
		Kaku	0,50
Bangunan komersial dan perumahan	Statik /sedang	Kaku	0,50
Jalan kaki/lintasan sepeda	Statik/ringan	Kaku/lentur	0,25

Sumber : Hardiyatmo (2015)

3.3 Beton

Beton semen portland biasanya digunakan untuk perkerasan kaku. Kekuatan semen portland akan bertambah seiring dengan berjalannya waktu. Waktu pengerasan yang diambil untuk penentuan kuat tekan ultimit dalam perancangan , umumnya 28 hari setelah pengecoran, walaupun kekuatan 7 hari sering digunakan sebagai indikasi awal dari kekuatan ultimitnya.

3.3.1 Kuat Tekan Beton

Nilai kekuatan dan daya tahan beton bergantung pada banyak faktor, seperti rasio campuran, mutu bahan, metode pelaksanaan, temperatur dan perawatan setelah pengecoran. Kuat tekan beton umur 7 hari biasanya mencapai 70% dan pada umur 14 hari mencapai 85-90% dari kuat tekan beton 28 hari. Kuat tekan beton pada umur 28 hari berkisar antara 10-65 Mpa. Pada pengujian kuat tekan beton akan mencapai regangan 0,002. Setelah regangan tersebut, kuat tekan akan menurun sampai benda uji runtuh pada regangan sekitar 0,003-0,005.

3.3.2 Kuat Lentur Beton

Kuat lentur beton menggunakan benda uji balok beton (150 mm x 150 mm x 500 mm) dengan pembebanan tiga titik yang dibebani hingga runtuh. Kuat lentur beton berumur 28 hari disyaratkan tidak boleh lebih rendah dari 4 Mpa (40 kg/cm²) sesuai peraturan Pd. T-05-2004-B.

3.3.3 Kuat Tarik Beton

Beton mempunyai kuat tarik yang lebih kecil dibandingkan dengan kuat tekannya. Nilai kuat tarik berkisar antara 10-15% dari kuat tekannya. Kuat tarik beton sering ditentukan dengan melakukan uji belah silinder beton dengan benda uji silinder berdiameter 150 mm dan panjang 300 mm. Untuk menentukan nilai tegangan tarik menggunakan Persamaan 3.1.

$$f_t = \frac{2P}{\pi Ld} \quad (3.1)$$

dengan :

f_t = Kuat tarik belah (N/mm²),

P = Beban pada saat runtuh (N),

L = Panjang benda uji (m), dan

d = Diameter benda uji (m).

3.3.4 Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas beton untuk beton berkepadatan normal dengan berat volume sekitar 2300 kg/m³ menggunakan persamaan 3.2.

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \quad (3.2)$$

dengan:

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa), dan

f'_c = Kuat tekan beton (MPa).

3.4 Tipe-Tipe Perkerasan

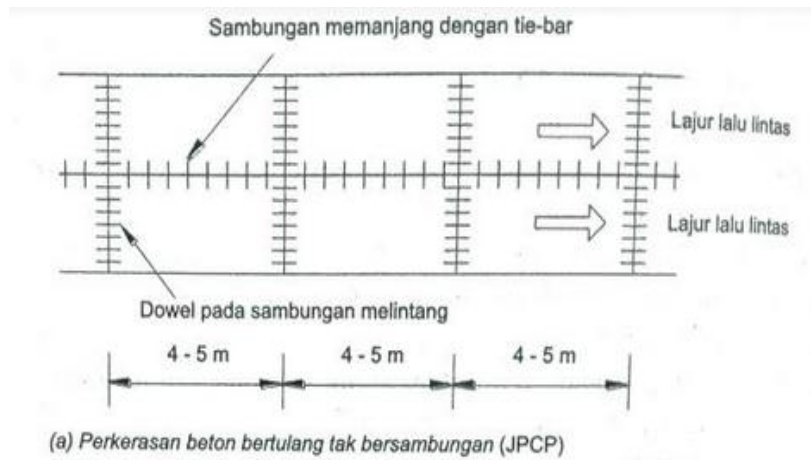
Perkerasan kaku dapat berupa pelat beton tanpa tulangan, diberikan sedikit tulangan secara kontinyu, prategang atau beton fiber. Pada perkerasan kaku, lapis pondasi bawah digunakan untuk meminimalkan kemungkinan buruk akibat beban lalu lintas yang akan membuat defleksi kurang dari 1 mm yang akan membuat jalur air lewat sambungan atau retakan. Perkerasan kaku dapat dikategorikan menjadi dengan atau tanpa sambungan yang sering disebut perkerasan beton konvensional.

3.4.1 Perkerasan Beton Tak Bertulang Bersambungan

Perkerasan beton yang tak bertulang biasanya dibuat bersambungan sehingga disebut perkerasan beton tak bertulang bersambungan (*Jointed Plain Concrete Pavement, JPCP*). JPCP terdiri dari blok-blok beton dengan ukuran tertentu dengan tebal sekitar 15-30 cm yang diletakkan pada pondasi bawah.

Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah (Pd.T-14-2003) menyarankan jarak maksimum sambungan arah memanjang untuk perkerasan beton tak bertulang bersambungan (JPCP) sekitar 3-4 m dan sambungan arah melintang maksimum 25 kali tebal pelat atau maksimum 5 m.

Walaupun namanya perkerasan beton tak bertulang, namun batang baja pengikat (*tie-bar*) yang biasanya digunakan pada sambungan arah memanjang guna mencegah terbukanya sambungan ini. Sedangkan untuk arah melintang menggunakan batang-batang ruji yang disebut *dowel* yang digunakan sebagai alat bantu transfer beban yang juga dipasang pada sambungan melintang dapat dilihat pada Gambar 3.4.

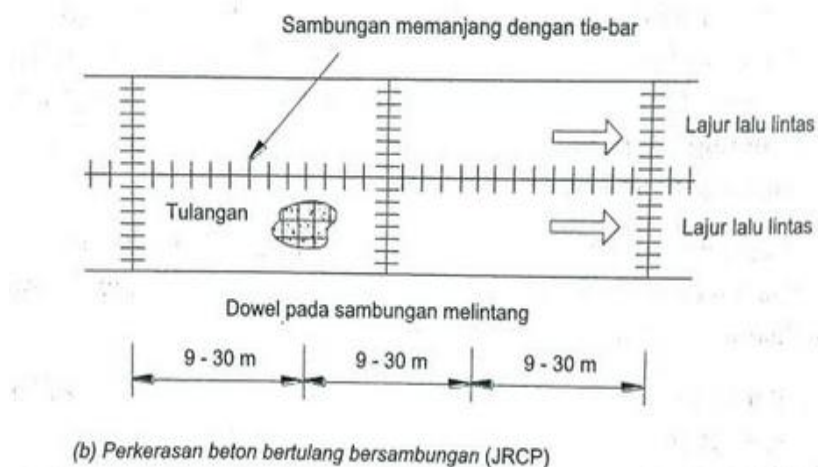


Gambar 3.4 Perkerasan Beton Tak Bertulang Bersambungan (JPCP)

(Sumber : Hardiyatmo,2015)

3.4.2 Perkerasan Beton Bertulang Bersambungan

Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah (Pd.T-14-2003) menyarankan jarak maksimum sambungan arah melintang untuk perkerasan beton bertulang bersambungan (*Jointed Reinforced Concrete Pavement, JRCP*) berkisar antara 9-30 m dengan menggunakan *dowel* untuk menyakinkan adanya transfer beban yang baik pada sambungan-sambungan ditunjukkan pada Gambar 3.5.

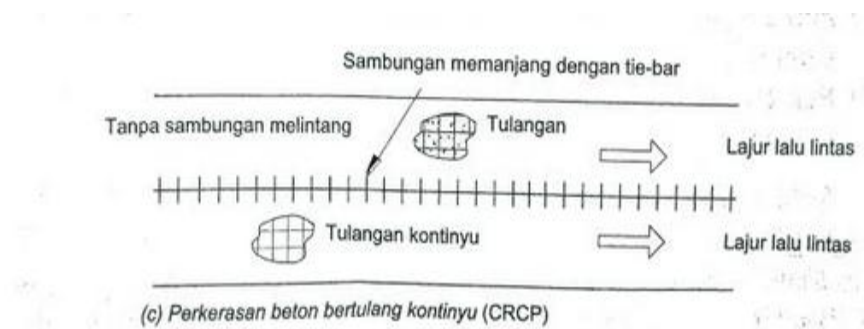


Gambar 3.5 Perkerasan Beton Bertulang Bersambungan (JRCP)

(Sumber : Hardiyatmo,2015)

3.4.3 Perkerasan Beton Bertulang Kontinyu

Perkerasan beton bertulang kontinyu (*continuous reinforced concrete pavement, CRCP*) merupakan perkerasan beton yang tulangan dan panjang pelatnya dibuat menerus tanpa sambungan. Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah (Pd.T-14-2003) menyarankan panjang pelat lebih besar dari 75 m. Perkerasan Beton CRCP dirancang agar retak melintang berkembang pada jarak yang pendek sekitar 1 m ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Perkerasan Beton Bertulang Kontinyu (CRCP)

(Sumber : Hardiyatmo,2015)

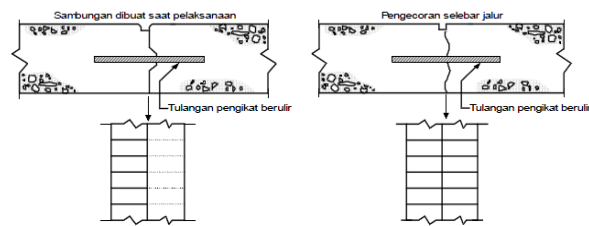
3.5 Sambungan

Pada konstruksi perkerasan kaku, perkerasan tidak dibuat menerus memanjang sepanjang jalan seperti halnya yang dilakukan pada perkerasan lentur. Hal ini dilakukan untuk mencegah terjadinya pemuaian yang besar pada permukaan perkerasan sehingga dapat menyebabkan retaknya perkerasan. Selain itu, konstruksi seperti ini juga dilakukan untuk mencegah terjadinya retak menerus pada perkerasan jika terjadi keretakan pada suatu titik pada perkerasan. salah satu mencegah terjadinya hal tersebut adalah dengan cara membuat konstruksi segmen pada perkerasan kaku dengan sistem sambungan (*joint*) untuk menghubungkan tiap segmennya.

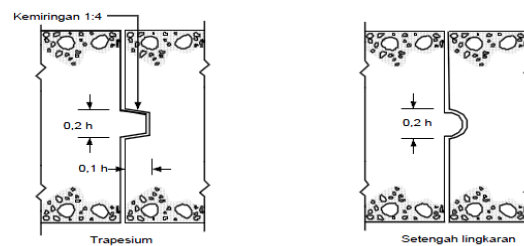
3.5.1 Sambungan Pelaksanaan (*Construction Joint*)

Sambungan yang memisahkan bagian-bagian pelat beton yang dicor pada waktu yang berbeda ialah sambungan pelaksanaan. Sambungan ini dapat

diletakkan pada arah melintang maupun memanjang yang letaknya sudah direncanakan sebelumnya. Sambungan memanjang umumnya berjarak 3,6 m dengan adanya batas-batas lajur. Bila tidak ada batas lajur, sambungan dipasang setiap jarak 3,6 m dan tidak lebih 4,2 m. Sambungan ini dilengkapi pengunci pada bagian tengahnya dengan ukuran $0,2D$ (dengan D = tebal pelat beton) dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 4 Tipikal sambungan memanjang



Gambar 5 Ukuran standar penguncian sambungan memanjang

Gambar 3.7 Sambungan Arah Memanjang

(Sumber : Bina Marga,2003)

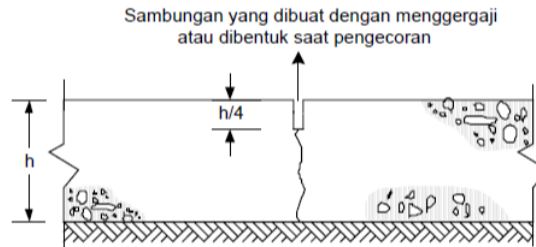
3.5.2 Sambungan Muai (*Expansion Joint*)

Sambungan ini berfungsi untuk memberikan ruang pemuaian pada pelat beton yang cukup diantara pelat-pelat perkerasan untuk mencegah adanya tegangan tekan berlebihan yang dapat mengakibatkan perkerasan beton tertekuk. Lebar celah sambungan 19 mm meskipun dalam kondisi khusus, lebar celah bisa mencapai 25 mm. Karena sambungan muai tidak menyediakan penguncian antar agregat maka diperlukan alat penyalur beban yaitu ruji (*dowel*).

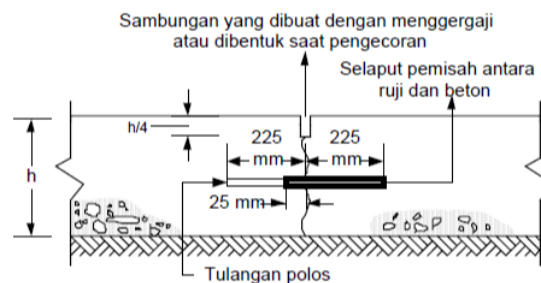
3.5.3 Sambungan Susut (*Contraction Joint*)

Sambungan susut berguna untuk mengendalikan retak susut beton. Sambungan ini membatasi kerusakan akibat susut yang terjadi akibat pengaruh

perubahan suhu dan kelembaban yang dimaksudkan untuk membebaskan tegangan tarik akibat susut dan melengkungnya pelat beton. Pada Gambar 3.8 menunjukkan sambungan susut dengan atau tidak menggunakan ruji (*dowel*).



Gambar 6 Sambungan susut melintang tanpa ruji



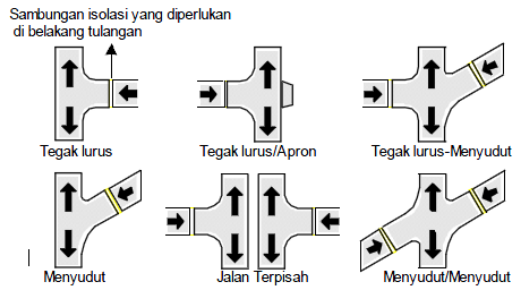
Gambar 7 Sambungan susut melintang dengan ruji

Gambar 3.8 Sambungan susut melintang

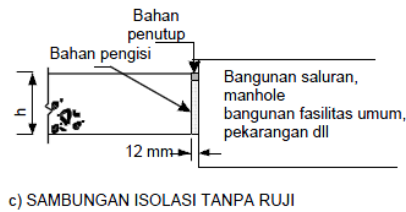
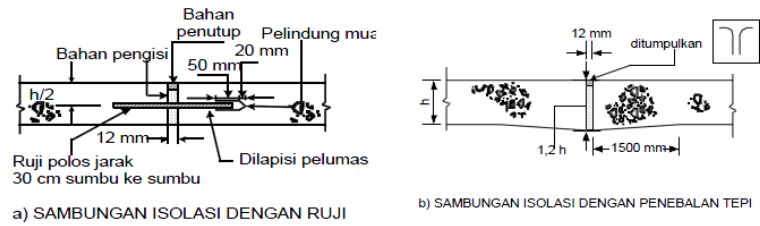
(Sumber : Bina Marga,2003)

3.5.4 Sambungan Isolasi (*Isolation Joint*)

Sambungan isolasi berguna untuk mengurangi tegangan tekan yang dapat menyebabkan keretakan berlebihan pada pelat beton. Sambungan ini harus ditutup dengan penutup sambungan (*joint sealer*) setebal 5-7 mm dan sisanya diisi dengan bahan pengisi (*joint filler*). Pengisi berguna mencegah masuknya kotoran ke dalam celah sambungan. Pada Gambar 3.9 merupakan sambungan isolasi dengan atau tidak ruji (*dowel*).



Gambar 10 Contoh persimpangan yang membutuhkan sambungan isolasi



Gambar 11 Sambungan isolasi

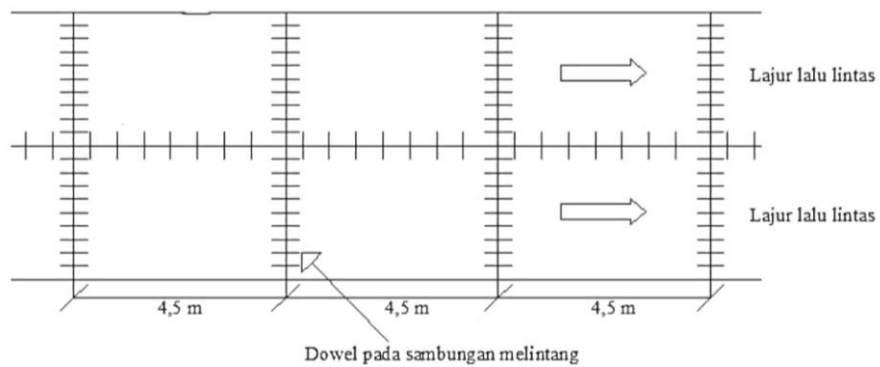
Gambar 3.9 Sambungan Isolasi

(Sumber : Bina Marga,2003)

3.5.5 Ruji (*Dowel*)

Bina Marga (2002) menyatakan Ruji (*dowel*) adalah sepotong baja polos lurus yang dipasang pada setiap sambungan melintang dengan maksud sebagai penyalur beban, sehingga pelat yang bersebelahan dapat bekerja sama tanpa terjadinya perbedaan penurunan yang berarti .

Dowel harus dipasang lurus dan sejajar sumbu jalan pada sambungan melintang. AASHTO 1993 merekomendasikan batang *dowel* berdiameter $1/8$ dari tebal pelat beton atau diameter *dowel* sama dengan $D/8$ dengan panjang 46 cm (18 inchi) dan jarak 30 cm (12 inchi). Letak dari tulangan *dowel* ditunjukkan pada Gambar 3.10.

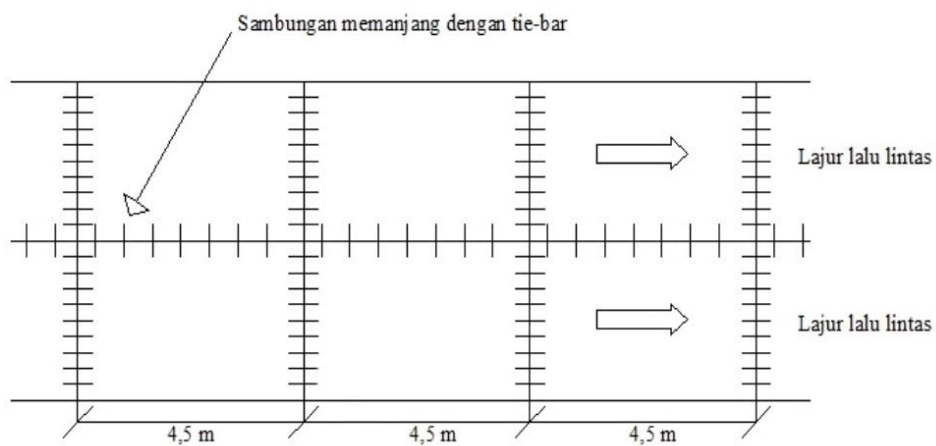


Gambar 3.10 Ruji (*Dowel*) pada Sambungan Melintang

(Sumber : Hardiyatmo,2015)

3.5.6 *Tie-bar*

Jika pada sambungan melintang dipasang *dowel* maka pada sambungan memanjang harus dipasang *tie-bar*. *Tie-bar* berdiameter lebih kecil dan dipasang pada jarak relatif jauh jika dibandingkan dengan *dowel*. Bina Marga (2002) mensyaratkan jarak antar sambungan sekitar 3-4 m dan sambungan memanjang harus menggunakan batang ulir dengan mutu minimum BJTU-24 dan berdiameter 16 mm, apabila menggunakan batang pengikat dari jenis baja lain, maka baja harus dibengkokkan dan diluruskan kembali tanpa mengalami kerusakan. Letak dari tulangan *tie-bar* dapat dilihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 *Tie-bar* pada Sambungan Memanjang

(Sumber : Hardiyatmo,2015)

3.6 Perbandingan Perkerasan Lentur dan Perkerasan Kaku

Perkerasan kaku mempunyai sifat yang berbeda dengan perkerasan lentur. Perkerasan beton yang kaku memiliki modulus elastisitas yang tinggi dan mendistribusikan beban terhadap bidang area yang cukup luas sehingga bagian terbesar dari kapasitas struktur perkerasan diperoleh dari pelat beton.

Hal yang berbeda dialami oleh perkerasan lentur yang memperoleh kekuatan perkerasan dari lapisan-lapisan tebal pondasi bawah, pondasi atas dan lapisan permukaan. Perbandingan perkerasan kaku dan perkerasan lentur ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Perbandingan Perkerasan Kaku dengan Perkerasan Lentur

No	Parameter	Perkerasan Kaku	Perkerasan Lentur
1	Penggunaan	Umumnya hanya digunakan pada jalan kelas tinggi, serta perkerasan lapangan terbang.	Dapat digunakan untuk semua tingkat volume lalu lintas.
2	Spesifikasi	Pencampuran adukan beton mudah dikontrol.	Kendali kualitas campuran lebih rumit.
3	Drainase	Dapat lebih bertahan terhadap kondisi drainase yang lebih buruk.	Sulit untuk bertahan terhadap kondisi drainase yang buruk.
4	Umur rencana	Dapat mencapai 20-40 tahun.	Relatif pendek 10-20 tahun.
5	Kerusakan	Saat kerusakan terjadi, maka kerusakan tersebut tersebar dengan cepat dan waktu yang singkat.	Kerusakan tidak merambat ke bagian konstruksi yang lain, kecuali jika perkerasan terendam air.
6	Biaya awal konstruksi	Biaya awal konstruksi tinggi.	Biaya awal konstruksi rendah.
7	Biaya pemeliharaan	Biaya pemeliharaan relatif tidak ada.	Biaya pemeliharaan yang dikeluarkan lebih besar.
8	Kekuatan konstruksi	Ditentukan oleh kekuatan pelat beton sendiri (tanah dasar tidak begitu menentukan).	Ditentukan oleh tebal setiap lapisan dan daya dukung tanah dasar.
9	Tebal Kontruksi	Tebal pelat beton tidak termasuk pondasi.	Tebal seluruh lapisan yang ada diatas tanah dasar.

Sumber : Hardiyatmo (2015)

3.7 Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku Metode AASHTO 1993

Perencanaan tebal perkerasan kaku mengacu pada AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) *guide for design of pavement structures* 1993 dalam menentukan tebal perkerasan kaku menggunakan metode ini, parameter-parameter perancangan dalam perancangan tebal pelat beton sebagai berikut.

3.7.1 Umur rencana

Umur rencana perkerasan jalan mempertimbangkan nilai ekonomi jalan yang bersangkutan dan kinerja perkerasan harus maksimum dalam periode yang ditentukan. Bila perkerasan dirancang 40 tahun dengan pertumbuhan lalu lintas 2,5%, namun dalam kenyataannya pertumbuhan lalu lintas 3,5% maka umur perkerasan akan lebih pendek dari yang direncanakan. Umur rencana perkerasan menurut AASHTO (1993) ditunjukkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Umur Rencana Perkerasan Kaku

Kondisi Jalan Raya	Periode Analisis atau Umur Rancangan (tahun)
Perkotaan volume tinggi	30 – 50
Pedesaan volume tinggi	20 – 50
Volume rendah, jalan diperkeras	15 – 25
Volume rendah, permukaan agregat	10 – 20

Sumber : AASHTO (1993)

3.7.2 Faktor Distribusi Arah

AASHTO (1993) menyarankan nilai faktor distribusi arah (D_D) diantara nilai 0,3-0,7.

3.7.3 Faktor Distribusi Lajur

Lajur rencana merupakan salah satu lajur lalu lintas dari ruas jalan yang menampung kendaraan berat (*overload*) . Faktor distribusi lajur digunakan untuk memfasilitasi adanya jalan yang terdiri dari beberapa lajur dalam satu arah.

Penentuan nilai faktor distribusi lajur menurut AASHTO (1993) dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Faktor Distribusi Lajur

Jumlah lajur setiap arah	D _L (%)
1	100
2	80 – 100
3	60 – 80
4	50 – 75

Sumber : AASHTO (1993)

3.7.4 Modulus Reaksi Tanah Dasar (*k*)

Nilai parameter modulus reaksi tanah dasar berdasarkan nilai *california bearing ratio* (CBR). Di Indonesia CBR yang umum digunakan sebesar 6% untuk lapis tanah dasar akan tetapi tanah dasar dengan nilai CBR 4% atau 5% dapat digunakan setelah melalui kajian geoteknik.

Modulus reaksi tanah dasar (*k*) menggunakan formula dan grafik penentuan modulus reaksi tanah dasar berdasarkan ketentuan CBR tanah dasar dengan formula:

$$M_R = 1500 \times \text{CBR} \quad (3.4)$$

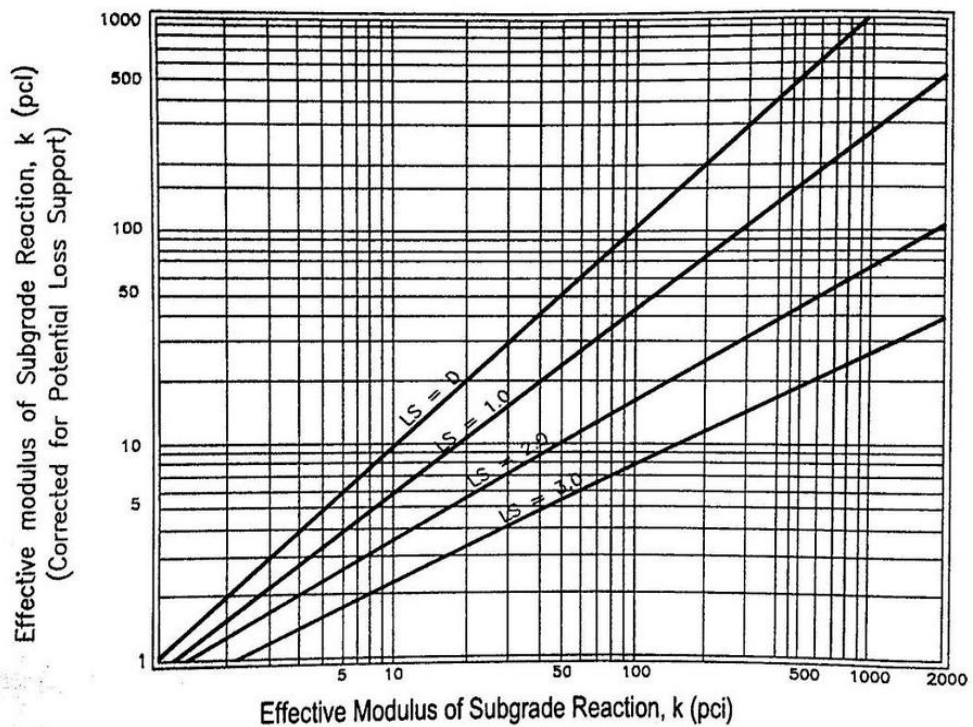
$$k = \frac{M_R}{19,4} \quad (3.5)$$

dengan:

k = Modulus reaksi tanah dasar (*pci*), dan

M_R = *Resilient Modulus*.

Selanjutnya modulus reaksi tanah dasar (*k*) dikoreksi terhadap potensi kehilangan dukungan pondasi bawah menggunakan Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Modulus Reaksi Tanah Dasar

(Sumber:Hardiyatmo,2015)

Dari Gambar 3.12 terdapat garis yang menunjukkan nilai LS yaitu faktor kehilangan dukungan tanah (*loss of support factor*). AASHTO (1993) mengembangkan cara yang teliti yang digunakan untuk memperhitungkan pengaruh tipe material dan tebal lapis pondasi yang terdapat pada Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3.5 Loss of Support Factors (LS)

Tipe material	LS
<i>Cement treated granular base</i>	0-1
<i>Cement aggregate mixtures</i>	0-1
<i>Asphalt treated base</i>	0-1
<i>Bituminous stabilized mixtures</i>	0-1
<i>Lime stabilized</i>	1-3
<i>Unbound granular materials</i>	1-3
<i>Fine grained/Natural subgrade materials</i>	2-3

Sumber : AASHTO (1993)

3.7.5 *Equivalent Single Axle Load (ESAL)*

Umur layanan suatu struktur perkerasan ditentukan oleh besarnya beban gandar lalu lintas dan berapa banyak beban tersebut akan bekerja, jadi tidak hanya dari banyaknya kendaraan lalu lintas yang lewat saja. Dalam perancangan perkerasan metode AASHTO (1993) berbagai beban gandar lalu lintas dikonversikan ke nilai ekivalen baban gandar tunggal 18 kip (80 kN atau 8,16 ton). Pada metode ini, untuk menyatakan berbagai macam beban gandar ke dalam suatu parameter rencana tunggal, dibutuhkan ekivalensi beban gandar.

Faktor ekivalensi beban diperoleh berdasarkan pengaruh kerusakan yang disebabkan oleh beban gandar tunggal. Metode AASHTO (1993) yang didasarkan pada hasil uji jalan didapatkan beban gandar 2-30 kip untuk gandar tunggal dan 24-48 kip untuk gandar tandem. AASHTO tidak melakukan pengujian untuk gandar tridem. *Equivalent single axle load (ESAL)* dapat dihitung dengan Persamaan 3.6.

$$W_{18} = \sum LHR_{jx} VDF_j \times D_D \times D_L \times 365 \quad (3.6)$$

dengan:

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

LHR_j = Jumlah lalu lintas harian rata-rata untuk jenis kendaraan j ,

VDF_j = Nilai *Vehicle Damage Factor* untuk jenis kendaraan j ,

D_D = Faktor distribusi arah, dan

D_L = Faktor distribusi lajur.

Lalu lintas yang digunakan untuk perencanaan tebal perkerasan kaku adalah lalu lintas kumulatif selama umur rencana. Nilai lalu lintas kumulatif didapatkan dengan Persamaan 3.7.

$$W_t = W_{18} \times \frac{(1+i)^n - 1}{i} \quad (3.7)$$

dengan:

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), dan

i = Pertumbuhan lalu lintas (%).

3.7.6 Kemampuan Pelayanan Awal (*Initial Serviceability*)

Kemampuan pelayanan awal bergantung pada tingkat kehalusan atau kerataan perkerasan awal. AASHTO (1993) menyarankan untuk perkerasan kaku $p_o = 4,5$

3.7.7 Kemampuan Pelayanan Akhir (*Terminal Serviceability*)

Kemampuan pelayanan akhir bergantung pada kekasaran atau ketidakrataan jalan yang masih memungkinkan untuk dilalui kendaraan sebelum dilakukan rehabilitasi. AASHTO (1993) menyarankan nilai-nilai kemampuan pelayanan akhir (p_t) ditunjukkan pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Kemampuan Pelayanan Akhir (P_t)

Kondisi Jalan	P_t
Jalan raya utama	2,5 atau 3
Jalan raya dengan lalu lintas rendah	2,0
Jalan raya relatif minor	1,5

Sumber : AASHTO (1993)

3.7.8 Kemampuan Pelayanan (*Serviceability*)

AASHTO mengembangkan konsep penilaian kemampuan pelayanan yang dikaitkan dengan kerataan dan kemampuan pelayanan perkerasan, dinyatakan dalam indeks kemampuan sekarang (*PSI*). *PSI* merupakan selisih indeks pelayanan awal dengan indeks pelayanan akhir. Faktor yang mempengaruhi kehilangan kemampuan pelayanan adalah beban lalu lintas, umur dan lingkungan.

Kehilangan kemampuan pelayanan total (*total loss of serviceability*) didapatkan dengan Persamaan 3.8.

$$\Delta\text{PSI} = p_o - p_t \quad (3.8)$$

dengan:

p_o = Kemampuan pelayanan awal (*initial serviceability*), dan

p_t = Kemampuan pelayanan akhir (*terminal serviceability*).

3.7.9 Reliabilitas (*Reliability*)

Reliabilitas menyatakan tingkat kemungkinan perkerasan yang direncanakan akan tetap memuaskan selama umur rencana. Menurut AASHTO reliabilitas yang ditetapkan sebesar 50% hingga 99,99% karena tingkat kehandalan desain untuk mengatasi kemungkinan melesetnya besar-besaran desain yang digunakan. Desain yang terkait antara lain:

1. Prediksi kinerja perkerasan,
2. Prediksi lalu lintas,
3. Perkiraan tekanan gandar, dan
4. Mutu pelaksanaan.

Nilai reliabilitas yang disarankan AASHTO (1993) ditunjukkan pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Reliabilitas (R) disarankan

Klasifikasi Jalan	Reliability : R (%)	
	Perkotaan (<i>Urban</i>)	Pedesaan (<i>Rural</i>)
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)

Penetapan angka reliabilitas berpengaruh pada *standard normal deviation* (Z_R) ditunjukkan pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Hubungan Antara R dengan Z_R

R (%)	Z_R
50	0,000
60	-0,253
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282
91	-1,340
92	-1,405
93	-1,476
94	-1,555
95	-1,645
96	-1,751
97	-1,881
98	-2,054
99	-2,327
99,9	-3,090
99,99	-3,750

Sumber : AASHTO (1993)

3.7.10 Deviasi Standar Keseluruhan (S_o)

Parameter ini digunakan untuk memperhitungkan adanya variasi dari input data. Deviasi standar keseluruhan dipilih sesuai dengan kondisi lokal. AASHTO (1993) menyarankan untuk perkerasan kaku nilai S_o diantara 0,30 – 0,40.

3.7.11 Modulus Elastisitas dan *Flexural Strength* Beton

Ketebalan perkerasan beton bergantung pada kekuatan beton yang digunakan. Kekuatan beton bergantung pada kuat lenturnya (*flexural strength*), karena aksi utama dari pelat beton adalah lentur. Parameter perancangan beton yang dibutuhkan termasuk kuat tekan 28 hari, modulus elastisitas dan kuat lentur. Modulus elastisitas beton ini dapat diketahui dengan persamaan 3.9.

$$E_c = 57000\sqrt{f'_c} \quad (3.9)$$

Kuat lentur beton dinyatakan dengan persamaan:

$$S_c' = 7,5 \sqrt{f'_c} \quad (3.10)$$

dengan:

E_c = Modulus elastisitas beton (psi),

f'_c = Kuat tekan beton silinder (psi), dan

S_c' = Kuat lentur (psi).

3.7.12 Koefisien Drainase (C_d)

Koefisien drainase digunakan untuk modifikasi tebal beton dengan memperhatikan kondisi drainase karena keberadaan air dapat mempengaruhi kinerja perkerasan yaitu mengurangi kekuatan tanah dasar, lapis pondasi dan bisa mengakibatkan melengkungnya pelat. Maksudnya diberikannya koefisien drainase adalah untuk memperhitungkan kinerja perkerasan pada pengaruh sistem drainase yang kurang baik. AASHTO memberikan 2 variabel untuk menentukan nilai koefisien drainase.

1. Mutu drainase yang ditentukan oleh berapa lama air dapat dibebaskan dari pondasi perkerasan ditunjukkan pada Tabel 3.9.

Tabel 3.9 Kualitas Drainase

Kualitas Drainase	Air Terbebaskan dalam
Sangat baik	2 jam
Baik	1 hari
Sedang	1 minggu
Buruk	1 bulan
Sangat buruk	Air tidak terbebaskan

Sumber : AASHTO (1993)

- Persentasi struktur perkerasan dalam satu tahun terkena air sampai tingkat mendekati jenuh air ditunjukkan pada Tabel 3.10.

Tabel 3.10 Koefisien Pengaliran (C)

No	Kondisi Permukaan Tanah	Koefisien Pengaliran (C)
1	Jalan Beton dan jalan aspal	0,70-0,95
2	Bahu Jalan :	
	a. Tanah berbutir halus	0,40-0,65
	b. Tanah berbutir kasar	0,10-0,20
	c. Batuan masif keras	0,70-0,85
	d. Batuan masif lunak	0,60-0,75

Sumber : AASHTO (1993)

Nilai koefisien drainase ditunjukkan pada Tabel 3.11.

Tabel 3.11 Koefisien Drainase (C_d)

Kualitas Drainase	Persen waktu struktur perkerasan terkena air hingga tingkat kelembabannya mendekati jenuh air			
	< 1%	1 – 5%	5-25 %	> 25%
Sangat baik	1,25 – 1,20	1,20 – 1,15	1,15 – 1,10	1,10
Baik	1,20 – 1,15	1,15 – 1,10	1,10 – 1,00	1,00
Sedang	1,15 – 1,10	1,10 – 1,00	1,00 – 0,90	0,90
Buruk	1,10 – 1,00	1,00 – 0,90	0,90 – 0,80	0,80
Sangat buruk	1,00 – 0,90	0,90 – 0,80	0,80 – 0,70	0,70

Sumber : AASHTO (1993)

Penentuan C_d bergantung pada kualitas drainase dan persen waktu struktur perkerasan terkena air dengan pendekatan:

- Air hujan atau air dari atas permukaan jalan akan masuk ke dalam pondasi jalan ,relatif kecil berdasarkan hidrologi yaitu 70-95% air yang jatuh di atas jalan aspal / beton akan masuk ke sistem drainase,
- Air dari samping jalan yang kemungkinan akan masuk ke pondasi jalan dan muka air tanah yang tinggi di bawah tanah dasar, dan
- Pendekatan lama dan frekuensi hujan yang rata-rata terjadi selama 3 jam per hari.

Penentuan variable yang lain menentukan C_d yaitu persentase perkerasan yang terkena air. Persentase waktu struktur perkerasan dalam 1 (satu) tahun terkena air dinyatakan pada Persamaan 3.11.

$$P = \frac{T_j T_h}{8760} \times (1 - C) \times 100 \quad (3.11)$$

dengan:

P = Hari hujan dalam satu tahun yang berpengaruh pada perkerasan (%),

T_j = Hujan rata-rata per hari (jam),

T_h = Jumlah rata-rata hari hujan per tahun (hari), dan

C = Koefisien pengaliran.

3.7.13 Koefisien Penyaluran Beban (J)

Koefisien transfer beban (J) merupakan faktor yang digunakan untuk memperhitungkan kemampuan struktur perkerasan kaku dalam mentransfer beban yang melintas diatas sambungan atau retakan. Umumnya, nilai J tergantung dari kontruksi sambungan. Jika sambungan tidak dilengkapi alat transfer beban, nilai J akan semakin besar. Nilai transfer beban yang disarankan oleh AASHTO ditunjukkan pada Tabel 3.12.

Tabel 3.12 Koefisien Transfer Beban (J)

Bahu Jalan	Aspal		Pelat Beton Semen Portland Terikat	
	Ya	Tidak	Ya	Tidak
Alat Transfer Beban				
Tipe Perkerasan:				
Perkerasan Beton Bertulang Bersambungan (JPCP) dan Bertulang Bersambungan (JRCP)	3,2	3,8 - 4,4	2,5 - 3,1	3,6 - 4,2
Perkerasan Beton Bertulang Kontinyu (CRCP)	2,9 - 3,2	Tidak Ada	2,3 - 2,9	Tidak Ada

Sumber : AASHTO (1993)

Nilai –nilai yang digunakan sebagai pendekatan adalah:

1. Untuk sambungan dengan dowel : $J = 2,5 - 3,1$
2. Untuk perancangan lapis *overlay* : $J = 2,2 - 2,6$

3.7.14 Penentuan Tebal Pelat Beton (D)

Dalam perancangan tebal perkerasan beton, perlu dipilih kombinasi yang paling optimum. ekonomis dari tebal pelat beton dan lapis pondasi bawah. Tebal perkerasan beton dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\log_{10} W_{18} = Z_R S_o + 7,35 \log_{10} (D+1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,5-1,5} \right]}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(D+1)^{4,86}}} + (4,22 - 0,32 p_t) \times \log_{10} \frac{S_c' C_d [D^{0,75} - 1,132]}{215,63 J [D^{0,75} - \frac{18,42}{(\frac{E_c}{k})^{0,25}}]} \quad (3.12)$$

dengan:

- W_{18} = Lalu lintas rancangan (*ESAL*),
- Z_R = Deviasi standar normal,
- S_o = Standar deviasi keseluruhan,
- D = Tebal pelat beton (in),
- ΔPSI = Kehilangan kemampuan pelayanan,
- P_o = Indeks kemampuan pelayanan awal,
- P_t = Indeks kemampuan pelayanan akhir,
- S_c' = Kuat lentur beton (psi),
- C_d = Koefisien drainase,
- J = Koefisien transfer beban,
- E_s = Modulus elastisitas beton (psi), dan
- k = Modulus reaksi tanah dasar (pci).

3.7.15 Penentuan Ukuran Segmen Pelat Beton

Banyak hal yang mempengaruhi ukuran segmen pelat, seperti lebar *joint*, tebal pelat, ukuran sambungan melintang dan ukuran sambungan memanjang. AASHTO menyarankan penentuan ukuran segmen pelat beton sebagai berikut.

1. Panjang pelat (feet) = 2 x tebal pelat (inchi) (3.13)
2. Perbandingan antara lebar dan panjang pelat tidak lebih dari 1,25.

3.7.16 Sambungan

1. *Tie-bar*

Tie-bar dipasang pada sambungan memanjang agar mengikat pelat sehingga tidak bergerak kearah horizontal. Jarak maksimum *tie-bar* berdiameter $\frac{1}{2}$ inchi dan $\frac{5}{8}$ inchi dengan jenis dan mutu baja grade 40 (tegangan kerja 30000 psi) ditunjukkan pada Tabel 3.13.

Tabel 3.13 Ukuran *Tie-bar*

Tebal Perkerasan (inchi)	Diameter Batang $\frac{1}{2}$ in			
	Panjang (inchi)	Jarak <i>Maximum</i> (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. *Dowel*

Diameter *dowel* yang akan digunakan mengacu dengan tebal pelat beton yang didapatkan menghasilkan pada perencanaan ditunjukkan pada Tabel 3.14.

Tabel 3.14 Tebal Pelat Beton dan Diameter *Dowel* menurut Yoder dan Witzak 1975

Tebal pelat beton (D)		Diameter <i>Dowel</i>	
Inchi	mm	Inchi	mm
6	150	$\frac{3}{4}$	19
7	175	1	25
8	200	1	25
9	225	$1\frac{1}{4}$	32
10	250	$1\frac{1}{4}$	32
11	275	$1\frac{1}{4}$	32
12	300	$1\frac{1}{2}$	38
13	325	$1\frac{1}{2}$	38
14	350	$1\frac{1}{2}$	38
<ul style="list-style-type: none"> ○ Jarak <i>dowel</i> 300 mm ○ Panjang <i>dowel</i> 450 mm 			

Sumber : Hardiyatmo (2015)

3.8 Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku Metode Bina Marga 2017

Metode Bina Marga 2017 merujuk pada Manual Desain Perkerasan Jalan nomor 02/M/BM/2017 yang dikeluarkan oleh direktorat Jendral Bina Marga Kementrian Pekerjaan Umum. Metode ini tetap mengacu pada Pd T-14-2003 yang diterbitkan sebelumnya oleh Departemen Pekerjaan Umum di dalam Pedoman Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen dan revisi dari Metode Bina Marga 2013 merujuk pada Manual Desain Perkerasan Jalan nomor 02/M/BM/2013.

Manual Desain perkerasan Jalan No 02/M/BM/2017 menguraikan langkah-langkah perencanaan tebal perkerasan kaku (*rigid pavement*) sebagai berikut.

3.8.1 Menentukan Umur Rencana

Umur rencana (UR) perkerasan jalan ditentukan atas pertimbangan klasifikasi fungsional jalan, pola lalu lintas dan nilai ekonomi jalan. Umur rencana perkerasan jalan baru direncanakan menggunakan Tabel 3.15.

Tabel 3.15 Menentukan Umur Rencana

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

Sumber : Bina Marga (2017)

3.8.2 Lalu Lintas

Penentuan beban lalu lintas rencana untuk perkerasan kaku, dinyatakan dalam jumlah kelompok sumbu kendaraan berat (*overload*), sesuai dengan konfigurasi sumbu pada lajur rencana selama umur rencana. Lalu lintas harus dianalisis berdasarkan perhitungan volume lalu lintas dan konfigurasi sumbu dengan menggunakan data terakhir. Terdapat beberapa parameter yang menjadi dasar untuk analisis lalu lintas sebagai berikut.

1. Volume lalu lintas

Penentuan volume lalu lintas pada jam sibuk dan data lalu lintas harian rata-rata tahunan (LHRT) mengacu pada Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI). Volume tahun pertama adalah volume lalu lintas sepanjang tahun pertama setelah perkerasan diperkirakan selesai dibangun atau direhabilitasi.

2. Arus lalu lintas

Manual Kapasitas Jalan Indonesia (1997) menyatakan jika arus lalu lintas dikonversikan dari kendaraan per jam menjadi satuan mobil penumpang (smp) menggunakan ekivalen kendaraan penumpang (emp) ditunjukkan pada Tabel 3.16.

Tabel 3.16 Ekvivalen Mobil Penumpang

Jenis Kendaraan	EMP
Sepeda motor (MC)	0,2
Kendaraan ringan (LV)	1,0
Kendaraan berat (HV)	1,3

Sumber : MKJI (1997)

3. Jenis kendaraan

Sistem klasifikasi kendaraan dinyatakan dalam pedoman Survei Pencacahan Lalu Lintas (Pd T-19-2004-B). Beban gandar kendaraan penumpang dan kendaraan ringan sampai sedang, tidak berpotensi menimbulkan kerusakan struktural pada perkerasan. Hanya kendaraan niaga dengan jumlah roda enam atau lebih yang diperhitungkan dalam analisis. Golongan dan kelompok jenis kendaraan ditunjukkan pada Tabel 3.17.

Tabel 3.17 Golongan dan Kelompok Jenis Kendaraan

Golongan	Kelompok Jenis Kendaraan
1	Sepeda motor, kendaraan roda 3
2	Sedan, jeep dan station wagon
3	Angkutan penumpang sedang
4	Pick up, micro truk dan mobil hantaran
5a	Bus kecil
5b	Bus besar
6a	Truk ringan 2 sumbu
6b	Truk sedang 2 sumbu
7a	Truk 3 sumbu
7b	Truk gandengan
7c	Truk semitrailer
8	Kendaraan tidak bermotor

Sumber : Pedoman Survei Pencacahan Lalu Lintas (Pd T-19-2004-B) (2004)

4. Pertumbuhan lalu lintas (i)

Pertumbuhan lalu lintas didasarkan pada data-data pertumbuhan series (*historical growth data*) atau formulasi korelasi dengan faktor pertumbuhan lain yang valid. Jika data tidak tersedia maka Tabel 3.18 dapat digunakan pada tahun 2015-2035.

Tabel 3.18 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas(i) Minimum untuk Desain

	Jawa	Sumatera	Kalimantan	Rata-rata Indonesia
Arteri dan Perkotaan	4,80	4,83	5,14	4,75
Kolektural Rural	3,5	3,50	3,50	3,50
Jalan Desa	1,00	1,00	1,00	1,00

Sumber : Bina Marga (2017)

Jika data lalu lintas tersedia maka dapat menggunakan perhitungan menggunakan persamaan 3.14 yang dihitung berdasarkan LHRT, LHRo serta umur rencana (n).

$$\text{LHRT} = \text{LHRo} (1+i)^n \quad (3.14)$$

dengan :

LHRT = LHR akhir umur rencana,

LHRo = LHR awal umur rencana,

n = umur rencana (tahun), dan

i = angka pertumbuhan.

Untuk menghitung pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana dihitung dengan faktor pertumbuhan kumulatif (*cumulative growth factor*).

$$R = \frac{(1+0,01i)^{\text{UR}}-1}{0,01i} \quad (3.15)$$

dengan:

R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif,

i = Tingkat pertumbuhan tahunan (%), dan

UR = Umur rencana (tahun).

5. Lalu Lintas pada Lajur Rencana

Lajur rencana adalah salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan yang menampung lalu lintas kendaraan niaga (truk dan bus). Beban lalu lintas pada lajur dinyatakan dalam kumulatif beban gandar standar (ESA) dengan memperhitungkan faktor distribusi arah (D_D) dan factor distribusi lajur kendaraan niaga (D_L).

Untuk jalan dua arah, faktor distribusi arah (D_D) umumnya diambil 0,50 kecuali pada lokasi-lokasi yang jumlah kendaraan niaga cenderung lebih tinggi dari arah tertentu. Faktor distribusi lajur digunakan untuk menyesuaikan beban kumulatif (ESA) pada jalan dengan dua lajur atau lebih dalam satu arah ditunjukkan pada Tabel 3.19.

Tabel 3.19 Faktor Distribusi Lajur (D_L)

Jumlah Lajur Setiap Arah	Kendaraan Niaga Pada Lajur Desain (% Terhadap Populasi Kendaraan Niaga)
1	100
2	80
3	60
4	50

Sumber : Bina Marga (2017)

6. Faktor ekivalen beban (*vehicle damage factor*)

Dalam desain perkerasan, beban lalu lintas dikonversi ke beban standar (ESA) dengan menggunakan faktor ekivalen beban (*vehicle damage factor*). Analisis struktur perkerasan dilakukan berdasarkan jumlah kumulatif ESA pada lajur rencana sepanjang umur rencana. Ketentuan untuk cara pengumpulan data beban lalu lintas ditunjukkan pada Tabel 3.20.

Tabel 3.20 Pengumpulan Data Beban Gandar

Spesifikasi Penyediaan Prasarana Jalan	Sumber Data Beban Gandar
Jalan Bebas Hambatan	1 atau 2
Jalan Raya	1 atau 2 atau 3
Jalan Sedang	2 atau 3
Jalan Kecil	2 atau 3

Sumber : Bina Marga (2017)

Dari Tabel 3.20 pengumpulan data beban lalu lintas diperoleh dari:

1. Jembatan timbang, timbangan statis atau WIM (survei langsung),
2. Survey beban gandar pada jembatan timbang atau WIM yang pernah dilakukan dan dianggap cukup representatif, dan
3. Data WIM Regional yang dikeluarkan oleh Ditjen Bina Marga.

Jika survei beban gandar tidak mungkin dilakukan oleh perencana dan data survei beban gandar sebelumnya tidak tersedia, maka nilai VDF pada Tabel 3.21 dapat digunakan menghitung ESA.

Apabila survei lalu lintas dapat mengidentifikasi jenis dan muatan kendaraan niaga, dapat digunakan data VDF masing-masing jenis kendaraan ditunjukkan pada Tabel 3.21.

Tabel 3.21 Nilai VDF Masing-masing Jenis Kendaraan Niaga Berdasarkan Jenis Kendaraan dan Muatan

Jenis Kendaraan		Uraian	Konfigurasi Sumbu	Muatan yang diangkut	Kelompok sumbu	Distribusi tipikal (%)		Faktor ekuivalen	
Klasifikasi Lama	Alternatif					Semua kendaraan bermotor	Semua kendaraan bermotor kecuali sepeda motor	VDF 4 pangkat 4	VDF 5 pangkat 5
1	1	Sepeda motor	1.1		2	30,4			
2,3,4	2,3,4	Sedan/Angkot/ <i>pick up</i> /wagon	1.1		2	51,7	74,3		
5a	5a	Bus kecil	1.2		2	3,5	5,0	0,3	0,2
5b	5b	Bus besar	1.2		2	0,1	0,2	1	1
6a.1	6.1	Truk 2 sumbu-cargo ringan	1.1		Muatan umum	2	4,6	6,6	0,3
6a.2	6.2	Truk 2 sumbu-ringan	1.2	Tanah,pasir,besi, semen	2	0,8			0,8
6b1.1	7.1	Truk 2 sumbu-cargo sedang	1.2	Muatan umum	2	-	-	0,7	0,7
6b1.2	7.2	Truk 2 sumbu-sedang	1.2	Tanah,pasir,besi, semen	2			1,6	1,7
6b2.1	8.1	Truk 2 sumbu-berat	1.2	Muatan umum	2	3,8	5,5	0,9	0,8
6b2.2	8.2	Truk 2 sumbu-berat	1.2	Tanah,pasir,besi, semen	2			7,3	11,2
7a1	9.1	Truk 3 sumbu-ringan	1.22	Muatan umum	2	3,9	5,6	7,6	11,2
7a2	9.2	Truk 3 sumbu-sedang	1.22	Tanah,pasir,besi, semen	2			28,1	64,4
7a3	9.3	Truk 3 sumbu-berat	1.222		2	0,1	0,1	28,9	62,2
7b	10	Truk 2 sumbu dan trailer penarik 2 sumbu	1.2-2.2		4	0,5	0,7	36,9	90,4
7c1	11	Truk 4 sumbu-trailer	1.2-22		3	0,3	0,5	13,6	24
7c2.1	12	Truk 5 sumbu-trailer	1.2-22		3	0,7	1	19	33,2
7c2.2	13	Truk 5 sumbu-trailer	1.2-222		3			30,3	69,7
7c3	14	Truk 6 sumbu-trailer	1.22-222		3	0,3	0,5	41,6	94

Data didasarkan pada survei beban lalu lintas arteri pulau jawa-2011.

Sumber : Bina Marga (2017)

7. Beban sumbu standar kumulatif

Beban sumbu standar kumulatif atau *cumulative equivalent single axle load* (CESA) merupakan jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas desain pada lajur desain selama umur rencana yang ditentukan menggunakan rumus.

$$ESA_{TH-1} = \sum LHR_{JK} \times \text{Kelompok sumbu} \times 365 \times D_D \times D_L \times R \quad (3.16)$$

dengan:

- ESA_{TH-1} = Kumulatif lintasan sumbu standar ekivalen (*equivalent standard axle*) pada tahun pertama,
- LHR_{JK} = Lintas harian rata-rata tahunan untuk tiap jenis kendaraan niaga (satuan kendaraan per hari),
- Kelompok sumbu = Kelompok sumbu tiap jenis kendaraan niaga tabel 3.20,
- D_D = Faktor distribusi arah,
- D_L = Faktor distribusi lajur, dan
- R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif.

3.8.3 Drainase Perkerasan

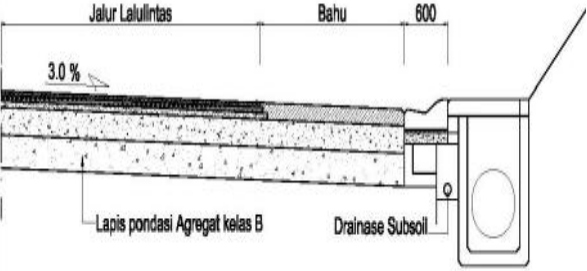
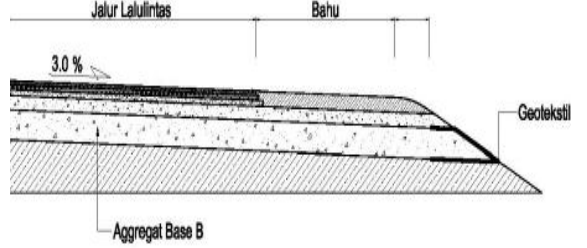
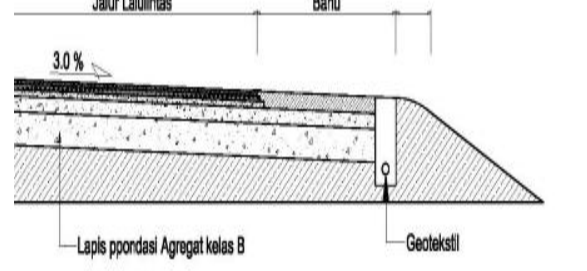
Secara umum perencanaan harus menerapkan desain yang dapat menghasilkan “factor m” $\geq 1,0$ kecuali jika kondisi di lapangan tidak memungkinkan. Apabila drainase bawah permukaan tidak dapat disediakan maka tebal lapis fondasi agregat harus disesuaikan dengan menggunakan nilai koefisien drainase “m” sesuai ketentuan AASHTO 1993 atau Pt T-01-2002 B.

Bagan desain yang dalam manual ini ditetapkan dengan asumsi bahwa drainase berfungsi dengan baik. Apabila kondisi drainase menyebabkan nilai “m” lebih kecil dari 1 maka tebal lapis fondasi agregat seperti tercantum dalam bagan desain harus dikoreksi menggunakan persamaan 3.17.

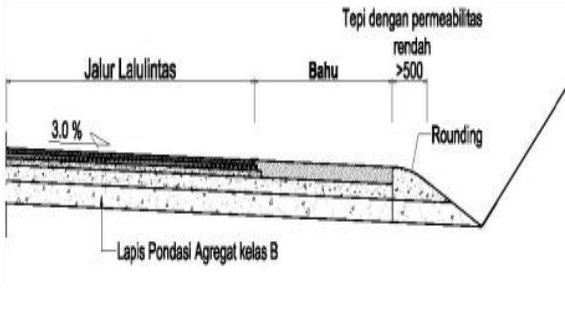
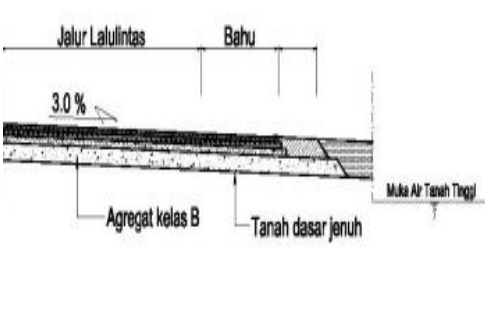
$$\text{Tebal desain lapis fondasi agregat} = \frac{\text{Tebal Hasil dari Bagan Desain}}{m} \quad (3.17)$$

Dalam proses desain, penggunaan koefisien drainase “m” lebih besar dari 1 tidak boleh digunakan kecuali ada kepastian bahwa mutu pelaksanaan yang disyaratkan dapat dipenuhi. Pada Tabel 3.22 merupakan desain drainase yang sesuai dengan kondisi lapangan.

Tabel 3.22 Koefisien Drainase ‘m’ untuk Tebal Lapis Berbutir

Kondisi Lapangan (digunakan untuk pemilihan nilai m yang sesuai)	Nilai ‘m’ untuk desain	Desain Tipikal
Galian dengan drainase bawah permukaan yang ideal (outlet drainase bawah permukaan selalu diatas muka air banjir)	1,0	
Timbunan dengan lapis pondasi bawah menerus sampai bahu jalan (tidak terkena banjir)	1,0	
Timbunan dengan tipe permeabilitas rendah dan lapis pondasi bawah berbentuk kotak	1,0	

Lanjutan Tabel 3.22 Koefisien Drainase ‘m’ untuk Tebal Lapis Berbutir

<p>Galian pada permukaan tanah atau timbunan tanpa drainase bawah permukaan dan permeabilitas rendah pada pinggir > 500 mm. Gunakan 0,9 jika ≤ 500 mm</p>	<p>0,7</p>	
<p>Tanah dasar jenuh air secara permanen selama musim hujan dan tidak teralirkan. Ketentuan lapisan penopang (<i>capping layer</i>) dapat digunakan.</p>	<p>0,4</p>	

Sumber : Bina Marga (2017)

3.8.4 Menentukan Daya Dukung Efektif Tanah Dasar dan Desain Fondasi Jalan

Faktor yang paling berpengaruh pada desain perkerasan adalah analisis lalu lintas, daya dukung tanah dasar dan perkiraan dampak kadar air. Tanah dasar perkerasan harus memenuhi kriteria berikut:

1. Harus mempunyai nilai CBR rencana minimum,
2. Dibentuk dengan benar, sesuai dengan geometrik jalan,
3. Dipadatkan dengan baik pada ketebalan lapisan sesuai dengan persyaratan,
4. Tidak peka terhadap perubahan kadar air, dan
5. Mampu mendukung beban lalu lintas pelaksanaan konstruksi.

Pada Tabel 3.23 menyajikan solusi pondasi jalan minimum selain kasus khusus untuk perkerasan kaku.

Tabel 3.23 Solusi Desain Fondasi Jalan Minimum

CBR tanah dasar	Kelas kekuatan tanah dasar	Uraian struktur fondasi	Perkerasan Lentur			Perkerasan Kaku
			Beban lalu lintas pada lajur rencana dengan umur rencana 40 tahun (juta ESA 5)			Stabilisasi semen ⁽⁶⁾
			<2	2-4	>4	
			Tebal minimum perbaikan tanah dasar			
≥6	SG6	Perbaikan tanah dasar dapat berupa stabilisasi semen atau material timbunan pilihan (sesuai persyaratan Spesifikasi Umum, Devisi 3- Pekerjaan Tanah) (pemadatan lapisan ≤ 200 mm tebal gembur)	Tidak perlu peningkatan			150 mm stabilisasi diatas 150 mm material timbunan pilihan
5	SG5				100	
4	SG4		100	150	200	
3	SG3		150	200	300	
2,5	SG2,5		175	250	350	
Tanah Ekspansif (potensi pemuaian > 5%)		Lapis penopang (<i>capping layer</i>) ⁽⁴⁾⁽⁵⁾ atau lapis penopang dan geogrid ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	400	500	600	Berlaku ketentuan yang sama dengan fondasi jalan perkerasan lentur
Perkerasan diatas tanah lunak ⁽²⁾	SG1 ⁽³⁾		1000	1100	1200	
Tanah gambut dengan HRS atau perkerasan Burda untuk perkerasan jalan raya minor (nilai minimum ketentuan lain berlaku)		Lapis penopang berbutir ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	650	750	850	
			1000	1250	1500	

Sumber : Bina Marga (2017)

Keterangan:

- (1) Desain harus mempertimbangkan semua hal yang kritikal, syarat tambahan mungkin berlaku,
- (2) Ditandai dengan kepadatan dan CBR lapangan yang rendah.
- (3) Menggunakan nilai CBR insitu, karena nilai CBR rendaman tidak relevan.
- (4) Permukaan lapis penopang di atas tanah SG1 dan gambut diasumsikan mempunyai daya dukung setara nilai CBR 2.5%, dengan demikian ketentuan perbaikan tanah SG2.5 berlaku. Contoh: untuk lalu lintas rencana > 4 juta ESA, tanah SG1 memerlukan lapis penopang setebal 1200 mm untuk mencapai daya dukung setara SG2.5 dan selanjutnya perlu ditambah lagi setebal 350 mm untuk meningkatkan menjadi setara SG6.
- (5) Tebal lapis penopang dapat dikurangi 300 mm jika tanah asal dipadatkan pada kondisi kering.
- (6) Untuk perkerasan kaku, lapis permukaan material tanah dasar berbutir halus (klasifikasi A4 - A6) hingga kedalaman 150 mm harus berupa stabilisasi semen.

3.8.5 Penentuan Tebal Pelat Beton

Solusi pekerasan yang banyak dipilih yang didasarkan pada pembebanan dan pertimbangan biaya terkecil diberikan dalam desain perkerasan lentur, desain perkerasan kaku (Tabel 3.24 Perkerasan kaku untuk jalan dengan beban lalu lintas berat), desain perkerasan tanah semen, dan desain perkerasan berbutir dan perkerasan kerikil.

Solusi lain dapat diadopsi untuk menyesuaikan dengan kondisi setempat tetapi disarankan untuk tetap menggunakan bagan sebagai langkah awal untuk semua desain. Tebal perkerasan kaku untuk jalan dengan beban lalu lintas berat ditunjukkan pada Tabel 3.24.

Tabel 3.24 Perkerasan Kaku untuk Jalan dengan Beban Lalu lintas Berat

Struktur Perkerasan	R1	R2	R3	R4	R5
Kelompok sumbu kendaraan berat (<i>overloaded</i>) (10^6)	<4,3	<8,6	<25,8	<43	<86
Dowel dan bahu beton	Ya				
Struktur Perkerasan (mm)					
Tebal pelat beton	265	275	285	295	305
Lapis fondasi LMC	100				
Lapis fondasi agregat kelas A	150				

Sumber : Bina Marga (2017)

3.8.6 Sambungan

1. *Tie-bar*

Bina Marga 2003 (Pd T-14-2003) menyarankan jarak antar sambungan memanjang sekitar 3-4 m dan jarak batang pengikat yang digunakan 750 mm. Sambungan *tie-bar* harus menggunakan batang ulir dengan mutu minimum BJTU-24 dan berdiameter 16 mm.

Ukuran batang pengikat dihitung dengan persamaan 3.18 dan persamaan 3.19.

$$A_t = 204 \times b \times h \quad (3.18)$$

$$I = (38,3 \times \phi) + 75 \quad (3.19)$$

dengan:

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),

I = Panjang batang pengikat (mm), dan

Φ = Diameter batang pengikat yang dipilih (mm)

Jarak batang pengikat yang digunakan adalah 75 cm.

2. *Dowel*

Bina Marga 2003 (Pd T-14-2003) menyarankan jarak sambungan melintang beton bersambung tanpa tulangan sekitar 4-5 m. Sambungan melintang harus dilengkapi Ruji (*dowel*) polos dengan panjang 450 mm, jarak antar ruji 300 mm. Setengah panjang ruji harus dicat atau dilumuri dengan bahan anti lengket yang berfungsi untuk menjamin tidak ada ikatan dengan beton. Diameter ruji tergantung pada pelat beton ditunjukkan pada Tabel 3.25.

Tabel 3.25 Diameter Ruji (*Dowel*)

Tebal Pelat Beton, h (mm)	Diameter Ruji (mm)
$125 < h \leq 140$	20
$140 < h \leq 160$	24
$160 < h \leq 190$	28
$190 < h \leq 220$	33
$220 < h \leq 250$	36

Sumber : Bina Marga (2003)