

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jalan

Dalam pembangunan suatu negara, jalan merupakan salah satu penunjang penting sebagai prasarana perhubungan darat yang paling banyak digunakan oleh masyarakat. Transportasi darat mempunyai keuntungan, yaitu diantaranya, memberi kebebasan pengendara dalam ruang dan waktu, mudah dikembangkan, dan biaya operasi yang rendah.(Azis et al., 2014). Kondisi jalan yang baik mempunyai peranan penting dalam pembangunan nasional, karena dapat meningkatkan perokonomian, sosial budaya, pengembangan wilayah, pariwisata dan keamanan. (Rut Magdalena Silitonga et al., 2020)

2.2 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan ialah lapisan yang terbuat dari material yang layak (memenuhi persyaratan) dan diletakkan diatas tanah timbunan atau tanah dasar yang dipadatkan. Fungsi utama dari struktur lapisan perkerasan adalah mendistribusikan tegangan akibat beban roda kearah yang lebih luas pada tanah dasar dibawahnya.

2.2.1 Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur pada umumnya digunakan jalan yang melayani lalu lintas ringan sampai sedang seperti jalan perkotaan, jalan dengan sistem utilitas terletak dibawah perkerasan jalan, perkerasan bahu jalan atau perkerasan dengan konstruksi bertahap. Perkerasan lentur (*Flexible Pavement*) ialah perkerasan yang umumnya

menggunakan bahan campuran beraspal sebagai lapis permukaan serta bahan berbutir sebagai lapisan di bawahnya

2.2.2 Perkerasan Kaku

Perkerasan kaku merupakan perkerasan yang strukturnya terbuat dari pelat beton. Struktur ini dapat dibangun menerus atau tidak menerus dengan atau tanpa tulangan. Lapisan beton memiliki kekakuan sangat tinggi dimana mampu menyebarkan beban pada bidang luas sehingga dihasilkan tegangan yang sangat rendah pada lapisan dibawahnya.

2.2.3 Perbandingan Perkerasan Kaku dan Perkerasan Lentur

Setiap perencana akan memberikan alternatif pemilihan perkerasan yang tepat pada ruas jalan, karena setiap perkerasan baik perkerasan lentur maupun perkerasan kaku memiliki beberapa keuntungan dan kerugian masing-masing. Berikut adalah tabel perbedaan perkerasan lentur dan perkerasan kaku.

Tabel 2.1 Perbandingan Perkerasan Kaku dan Perkerasan Lentur

No	Perkerasan Kaku	Perkerasan Lentur
1	Desain sederhana namun pada bagian sambungan perlu perhitungan teliti. Kebanyakan digunakan hanya pada jalan dengan volume lalu lintas yang tinggi.	Perencanaan sederhana dan dapat digunakan untuk semua tingkat volume lalu-lintas dan semua jenis jalan berdasarkan klasifikasi fungsi jalan raya
2	Rancangan <i>job mix</i> lebih mudah untuk dikendalikan kualitasnya. Elastisitas antara lapis permukaan dan pondasi sangat berbeda.	Kondisi kualitas untuk <i>job mix</i> agak rumit karena harus teliti baik dilaboratorium sebelum dihampar maupun setelah dihampar dilapangan.

No	Perkerasan Kaku	Perkerasan Lentur
3	Rongga udara dalam beton tidak mengurangi tegangan yang timbul akibat perubahan volume beton. Maka dari itu diperlukan sambungan untuk mengurangi tegangan yang diakibatkan perubahan temperature. Dapat bertahan untuk kondisi yang lebih buruk.	Rongga udara dapat mengurangi tegangan yang timbul akibat perubahan volume campuran aspal, oleh karena itu tidak diperlukan sambungan. Sulit untuk bertahan dalam kondisi drainase yang buruk.
4	Jika terjadi kerusakan, maka kerusakan tersebut cepat dalam waktu singkat akan meluas.	Kerusakan tidak merambat kebagian konstruksi yang lain, kecuali jika perkerasan terendam air
5	Indeks pelayanan hampir tetap baik selama umur rencana, terutama jika saluran melintang (<i>transversal joint</i>) dikerjakan dan dipelihara dengan baik	Indeks pelayanan yang terbaik hanya pada saat selesai pelaksanaan konstruksi, setelah itu berkurang seiring berjalannya waktu dan frekuensi beban lalu lintas.
6	Pada umumnya biaya konstruksi tinggi.	Pada umumnya biaya awal konstruksi rendah terutama untuk jalan lokal dengan volume lalu lintas rendah. Tetapi biaya awal hampir sama untuk konstruksi jalan berkualitas tinggi dengan volume lalu-lintas tinggi.
7	Pelaksanaan relatif sederhana kecuali pada sambungan	Penyebab pelaksanaan cukup rumit ialah kendali kualitas yang harus diperhatikan pada sejumlah parameter termasuk kendali terhadap parameter
8	Pentingnya pelaksanaan berkala untuk pemeliharaan terhadap sambungan- sambungan rutin.	Biaya pemeliharaan yang dikeluarkan mencapai lebih kurang dua kali lebih besar daripada perkerasan kaku.

No	Perkerasan Kaku	Perkerasan Lentur
9	Agak sulit untuk menetapkan saat yang tepat melakukan pelapisan ulang. Apabila lapisan permukaan akan dilapis ulang, maka untuk mencegah terjadinya retak, refleksi biasanya dibuat tebal perkerasan > 10 cm.	Pelapisan ulang dapat dilaksanakan pada semua tingkat ketebalan perkerasan yang diperlukan, lebih mudah menentukan perkiraan saat pelapisan ulang harus dilakukan
10	Kekuatan konstruksi perkerasan kaku ditentukan oleh kekuatan lapisan beton sendiri (tanah dasar tidak terlalu menentukan)	Kekuatan konstruksi perkerasan lentur ditentukan oleh kemampuan penyebaran tegangan setiap lapisan dan ditentukan oleh tebal setiap lapisan dan kekuatan tanah dasar yang dipadatkan
11	Yang dimaksud tebal konstruksi perkerasan kaku adalah tebal lapisan beton tidak termasuk pondasi	Yang dimaksud dengan tebal konstruksi perkerasan lentur adalah tebal seluruh lapisan yang ada diatas tanah.

Sumber : Hardiyatmo, 2015

2.3 Perencanaan Perkerasan Lentur

Dalam perencanaan perkerasan lentur menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 (MDPJ, 2017) yang dikeluarkan Direktorat Jendral Bina Marga. Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 merupakan pelengkap dari Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Pt T-01-2002-B. Metode perencanaan perkerasan lentur didasarkan pada :

1. Perkiraan lalu-lintas dan komposisinya selama umur rencana.
2. Kekuatan tanah dasar yang dinyatakan dengan CBR
3. Kekuatan lentur yang digunakan
4. Jenis perkerasan

2.3.1 Umur Rencana

Dalam perencanaan perkerasan lentur perlu ditentukan umur rencana karena ini berkaitan dengan nilai ekonomi jalan yang bersangkutan dan kinerja perkerasan harus maksimum selama periode yang ditentukan. Umur rencana adalah waktu dimana perkerasan diharapkan mempunyai kemampuan pelayanan sebelum dilakukan pekerjaan rehabilitasi atau kemampuan pelayanan berakhir (Hardiyatmo (2015)). Umur perkerasan jalan ditetapkan pada umumnya berdasarkan jumlah kumulatif lintas kendaraan standard (CESA, *Cumulative Equivalent Standard Axle*)”.

Tabel 2.2 Umur Rencana

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencananya (tahun)
Perkerasan lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir.	20
	Fondasi jalan	40
	<i>Cement Treated Based (CTB)</i>	
Perkerasan Kaku	Lapis fondasi atas, lapis fondasi bawah, lapis beton semen, dan fondasi jalan.	
Jalan tanpa penutup	Semua elemen (termasuk fondasi jalan)	Minum 10

(Sumber : MDPJ 2017)

Catatan :

1. Jika dianggap sulit untuk menggunakan umur rencana diatas, maka dapat digunakan umur rencana berbeda, namun sebelumnya harus dilakukan analisis dengan *discounted life cycle cost* yang dapat menunjukkan bahwa umur rencana tersebut dapat memberikan

discounted life cycle cost terendah. Nilai bunga diambil dari nilai bunga rata-rata dari Bank Indonesia.

2. Umur rencana harus memperhitungkan kapasitas jalan.

2.3.2 Analisis Lalu Lintas

Dalam analisis struktur perkerasan, analisis lalu lintas merupakan parameter penting dimana data lalu lintas diperlukan untuk menghitung beban lalu lintas rencana yang dipikul oleh perkerasan selama umur rencana. Data lalu lintas didapat dari survei lalu lintas yang bisa dilakukan dengan cara manual (dengan menggunakan tenaga surveyor) maupun cara mekanik/elektronik (dengan bantuan peralatan mekanik ataupun elektronik).

1. Volume Lalu lintas

Volume lalu lintas didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang melewati satu titik pengamatan selama satu satuan waktu (hari, jam, atau menit). Volume lalu lintas dapat berupa Volume Lalu lintas 30 Harian Rata-Rata (LHR) yaitu volume lalu lintas yang didapat dari nilai rata-rata kendaraan selama beberapa hari pengamatan dan Lalu lintas Harian Rata-Rata Tahunan (LHRT). Lalu lintas Harian Rata-Rata Tahunan (LHRT) yaitu volume lalu lintas harian yang diperoleh dari nilai rata-rata jumlah kendaraan selama setahun penuh.

Data lalu lintas merupakan parameter yang penting dalam analisis struktur perkerasan yang diperlukan untuk menghitung beban lalu lintas rencana yang dipikul oleh perkerasan selama umur rencana. Beban dihitung dari volume lalu lintas pada tahun survei yang selanjutnya

diproyeksikan ke depan sepanjang umur rencana. Volume tahun pertama adalah volume lalu lintas sepanjang tahun pertama setelah perkerasan diperkirakan selesai dibangun atau direhabilitasi.

2. Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Faktor pertumbuhan lalu lintas berdasarkan data – data pertumbuhan series atau formulasi korelasi dengan faktor pertumbuhan lain yang berlaku (Direktorat Jenderal Bina Marga 2017). Jika data tidak tersedia maka tabel 2.3 dapat digunakan pada tahun 2015-2035 :

Tabel 2.3 Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas

	Jawa	Sumatera	Kalimantan	Rata-rata Indonesia
Arteri dan perkotaan	4,80	4,83	5,14	4,75
Kolektor rural	3,50	3,50	3,50	3,50
Jalan desa	1,00	1,00	1,00	1,00

Sumber : MDPJ 2017

Pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana dihitung dengan faktor pertumbuhan kumulatif (*Cumulative Growth Factor*):

$$R = \frac{(1 + 0,1 i)^{UR} - 1}{0,01 i} \quad (2.1)$$

Dengan pengertian :

R = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas komulatif

i = Laju pertumbuhan lalu lintas (%)

UR = umur rencana (tahun)

2.3.3 Lajur Rencana

Lajur rencana adalah salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan yang menampung lalu lintas kendaraan niaga (truk dan bus) paling besar. Beban lalu

lintas pada lajur rencana dinyatakan dalam kumulatif beban gandar standar (CESA) dengan memperhitungkan faktor distribusi arah (DD) dan faktor distribusi lajur kendaraan niaga (DL).

Jika data lalu lintas yang digunakan adalah data untuk satu arah, maka $DD = 1$. Jika data lalu lintas yang digunakan adalah data untuk dua arah $DD = 0,3 - 0,7$. Untuk perencanaan umumnya diambil $DD = 0,5$ kecuali pada kasus khusus dimana kendaraan berat cenderung menuju satu arah tertentu atau pada kasus dimana diperoleh data volume lalu lintas untuk masing-masing arah. Sedangkan DL digunakan untuk menunjukkan distribusi dari tiap kendaraan ke lajur rencana. Faktor distribusi lajur digunakan untuk menyesuaikan beban kumulatif (ESA) pada jalan dengan dua lajur atau lebih dalam satu arah. Faktor distribusi jalan ditunjukkan pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Faktor Distribusi Lajur (DL)

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

Sumber : MDPJ 2017

2.3.3.1 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 2.5.

Tabel 2.5 Jumlah Lajur Berdasarkan Lebar Perkerasan dan Koefisien Distribusi
(C) Kendaraan Niaga pada Lajur Rencana

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

(Sumber : MDPJ 2017)

2.3.4 Perkiraan Faktor Ekuivalen Beban (Vehicle Damage Faktor)

Beban lalu lintas yang dikonversi ke beban standar (ESA) dengan menggunakan Faktor Ekuivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*). Analisis struktur perkerasan dilakukan berdasarkan jumlah kumulatif ESA pada lajur rencana sepanjang umur rencana. Survei beban gandar harus dilakukan apabila memerlukan perhitungan beban lalu lintas yang akurat (Kementrian Pekerjaan Umum, 2017)

Namun jika survei beban gandar tidak mungkin dilakukan oleh perencana dan data survei beban gandar sebelumnya tidak tersedia, maka nilai VDF pada Tabel 3.4 dan Tabel 3.5 dapat digunakan untuk menghitung ESA.

Tabel 2.6 Nilai VDF masing – masing jenis kendaraan niaga

Jenis Kendaraan	Sumatera				Jawa				Kalimantan				Sulawesi				Bali, Nusa Tenggara, Maluku dan Papua			
	Beban Aktual		Normal		Beban Aktual		Normal		Beban Aktual		Normal		Beban Aktual		Normal		Beban Aktual		Normal	
	VDF ₄	VDF ₅	VDF ₄	VDF ₅	VDF ₄	VDF ₅	VDF ₄	VDF ₅	VDF ₄	VDF ₅	VDF ₄	VDF ₅	VDF ₄	VDF ₅	VDF ₄	VDF ₅	VDF ₄	VDF ₅	VDF ₄	VDF ₅
5B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
6A	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5
6B	4,5	7,4	3,4	4,6	5,3	9,2	4,0	5,1	4,8	8,5	3,4	4,7	4,9	9,0	2,9	4,0	3,0	4,0	2,5	3,0
7A1	10,1	18,4	5,4	7,4	8,2	14,4	4,7	6,4	9,9	18,3	4,1	5,3	7,2	11,4	4,9	6,7				
7A2	10,5	20,0	4,3	5,6	10,2	19,0	4,3	5,6	9,6	17,7	4,2	5,4	9,4	19,1	3,8	4,8				
7B1	-	-	-	-	11,8	18,2	9,4	13,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7B2	-	-	-	-	13,7	21,8	12,6	17,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7C1	15,9	29,5	7,0	9,6	11,0	19,8	7,4	9,7	11,7	20,4	7,0	10,2	13,2	25,5	6,5	8,8				
7C2A	19,8	39,0	6,1	8,1	17,7	33,0	7,6	10,2	8,2	14,7	4,0	5,2	20,2	42,0	6,6	8,5	-	-	-	-
7C2B	20,7	42,8	6,1	8,0	13,4	24,2	6,5	8,5	-	-	-	-	17,0	28,8	9,3	13,5	-	-	-	-
7C3	24,5	51,7	6,4	8,0	18,1	34,4	6,1	7,7	13,5	22,9	9,8	15,0	28,7	59,6	6,9	8,8	-	-	-	-

Tabel 2.7 Nilai VDF masing – masing jenis kendaraan niaga

Jenis Kendaraan		Uraian	Konfigurasi Sumbu	Muatan – muatan yang diangkut	Kelompok sumbu	Distribusi Tipikal (%)		VDF	
Klasifikasi lama	Alternatif					Semua Kendaraan Bermotor	Semua kendaraan bermotor kecuali sepeda moto	VDF pangkat 4	VDF pangkat 5
1	1	Sepeda motor	1.1		2	30,4			
2,3,4	2,3,4	Sedan/ Angkot / Pickup/Station wagon	1.1		2	51,7			
5a	5a	Bus kecil	1.2		2	3,5	5,00	0,3	0,2
5b	5b	Bus besar	1.2		2	0,1	0,20	1,0	1,0
6a.1	6a.1	Truk 2 sumbu – cargo ringan	1.1		muatan umum	2	4,6	6,60	0,3
6a.2	6a.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	5,50	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	3		5,60	7,6	11,2
7a2	9.2	Truk 3 sumbu -sedang	1.22	tanah, pasir, besi, semen	3			28,1	64,4
7a3	9.3	Truk 3 sumbu – berat	1.1.2		3		0,10	28,9	62,2
7b	10	Truk 2 sumbu dan trailer penarik 2 sumbu	1.2-2.2		4		0,70	36,9	90,4
7c1	11	Truk 4 sumbu - trailer	1.2-22		4		0,50	13,6	24,0
7c2.1	12	Truk 5 sumbu - trailer	1.2-22		5		1,00	19,0	33,2
7c2.2	13	Truk 5 sumbu - trailer	1.2-222		5			30,3	69,7
7c3	14	Truk 6 sumbu - trailer	1.22-222		6		0,50	41,6	93,7

2.3.5 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas merupakan beban kendaraan yang dilimpahkan ke perkerasan jalan melalui kontak antara roda kendaraan dengan lapis permukaan perkerasan jalan secara dinamis dan berulang selama masa pelayanan jalan. Beban kendaraan yang dilimpahkan melalui roda kendaraan yang terjadi berulang selama masa pelayanan sebagai akibat repetisi kendaraan yang melintasi jalan tersebut. Beban lalu lintas ini akan berpengaruh pada hasil perencanaan konstruksi struktur perkerasan jalan dan kekokohan struktur pelayanan jalan selama masa pelayanan.

Pada perencanaan perkerasan lentur beban lalu lintas akan dihitung beban sumbu standar kumulatif atau Cumulative Equivalent Single Axle Load (CESA). 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, pada persamaan berikut :

$$ESA = (\sum \text{jenis kendaraan LHR} \times \text{VDF}) \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (2.2)$$

Keterangan :

ESA = Kumulatif lintasan sumbu standar ekivalen (*equivalent standard axle*)

LHR = Lintas harian rata – rata tiap jenis kendaraan niaga (satuan kendaraan per hari)

VDF = Faktor Ekivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*) tiap jenis kendaraan niaga

DD = Faktor distribusi arah.

DL = Faktor distribusi lajur (Tabel 3.3)

CESA = Kumulatif beban sumbu standar ekivalen selama umur rencana

R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas

2.3.6 Desain Struktur Perkerasan Lentur

Pemilihan jenis perkerasan akan bervariasi berdasarkan volume lalu lintas, umur rencana dan kondisi pondasi jalan. Batasan pada Tabel 2.8 tidak mutlak, perencana harus mempertimbangkan biaya terendah selama umur rencana, keterbatasan dan kepraktisan pelaksanaan. Pemilihan alternatif desain berdasarkan manual ini harus didasarkan pada *discounted lifecycle cost* terendah dan dengan melihat nilai CESA4 yang dihasilkan (Kementerian Pekerjaan Umum 2017).

Tabel 2.8 Pemilihan Jenis Perkerasan

Struktur Perkerasan	Bagan Desain	ESA (juta) dalam 20 tahun (Pangkat 4 kecuali ditentukan lain)				
		0 – 0,5	0,1 - 4	>4 - 10	>10 - 30	>30-200
Perkerasan kaku dengan lalu lintas berat (di atas tanah dengan CBR \geq 2,5%)	4	-	-	2	2	2
Perkerasan dengan lalu lintas rendah daerah pedesaan dan perkotaan	4A	-	1, 2	-	-	-
AC WC modifikasi atau SMA modifikasi dengan CTB (ESA Pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-		2	2

Struktur Perkerasan	Bagan Desain	ESA (juta) dalam 20 tahun (Pangkat 4 kecuali ditentukan lain)				
		0 – 0,5	0,1 - 4	>4 - 10	>10 - 30	>30-200
AC tebal \geq 100 mm lapis fondasi berbutir (ESA pangkat 5)	3B		-	1, 2	2	2
AC atau HRS tipis diatas lapis fondasi berbutir	3A		1,2	-		
Burda atau Burtu dengan LPA kelas A atau batuan asli	5		3	-		
Lapis Fondasi <i>Soil Cement</i>	6		1	-	-	-
Perkerasan tanpa penutup (Japat, jalan kerikil)	7		-	-	-	-

Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga, 2017

Catatan:

Tingkat kesulitan:

1. Kontraktor kecil – medium;
2. Kontraktor besar dengan sumber daya yang memadai;
3. Membutuhkan keahlian dan tenaga ahli khusus
4. Kontraktor spesialis Burtu / Burda.

Setelah menentukan jenis perkerasan maka selanjutnya dapat menentukan tebal perkerasan sesuai ketentuan dengan menggunakan nilai $CESA_5$. Untuk menentukan tebal perkerasan dapat dilihat pada Tabel 2.9, Tabel 2.10 dan Tabel 2.11. Pada Tabel 2.12 tebal lapisan pondasi agregat kelas A dapat disesuaikan dengan nilai CBR.

Tabel 2.9 Bagan Desain - 3. Desain Perkerasan Lentur Opsi Biaya Minimum

	F1	F2	F3	F4	F5
Repetisi beban sumbu kumulatif 20 tahun pada lajur rencana ($10^6 CESA_5$)	>10 - 30	>30 - 50	>50 - 100	>100 - 200	>200 - 500
Jenis permukaan berpengikat	AC	AC			
Jenis lapis Fondasi	<i>Cement Treated Base (CTB)</i>				
AC WC	40	40	40	50	50
AC BC	60	60	60	60	60
AC BC atau AC Base	75	100	125	160	220
CTB	150	150	150	150	150
Fondasi Agregat Kelas A	150	150	150	150	150

Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga, 2017

Tabel 2.10 Bagan Desain - 3A. Desain Perkerasan Lentur dengan HRS

Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana ($10^6 CESA_5$)	$FF1 < 0,5$	$0,5 \leq FF2 \leq 4,0$
Jenis permukaan	HRS atau Penetrasi makadam	HRS
Struktur perkerasan	Tebal Lapisan (mm)	
HRS WC	50	30
HRS Base	-	35
LFA Kelas A	150	250

LFA Kelas A atau LFA Kelas B atau kerikil alam atau lapis distabilisasi dengan CBR >10%	150	125
---	-----	-----

Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga, 2017

Tabel 2.11 Bagan Desain - 3B. Desain Perkerasan Lentur – Aspal

	FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8	FFF9
Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (10^6 CESA ₅)	<2	≥2-4	>4-7	>7-10	>10-20	>20-30	>30-50	>50-100	>100-200
	Tebal Lapis Perkerasan								
AC WC	40	40	40	40	40	40	40	40	40
AC BC	60	60	60	60	60	60	60	60	60
AC Base	0	70	80	105	145	160	180	210	245
LPA Kelas A	400	300	300	300	300	300	300	300	300

Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga, 2017

2.3.7 Desain Fondasi

Desain pondasi jalan adalah desain perbaikan tanah dasar dan lapis penopang (*capping*), *micro pilling* (cerucuk), drainase *vertical*, pra-pembebanan dan berbagai penangan lain yang diperlukan untuk membentuk perletakan pendukung struktur perkerasan lentur, baik untuk kondisi tanah biasa maupun tanah lainnya yang lazim ditemui di Indonesia (MDPJ, 2017)

Tiga faktor penting di dalam desain perkerasan adalah lalu lintas, tanah dasar dan pengaruh air. Selain itu, pada kasus perkerasan yang harus dibangun di kawasan dengan tanah bermasalah seperti gambut dan tanah lunak, karakteristik tanah bersangkutan merupakan faktor yang sangat penting karena analisis tanah dasar biasa tidak dapat menghasilkan perkerasan dengan kinerja yang diharapkan. Umur rencana pondasi jalan untuk semua perkerasan baru maupun pelebaran digunakan minimum 40 tahun.

1. Pondasi jalan tidak dapat ditingkatkan selama umur pelayanannya kecuali dengan cara rekonstruksi menyeluruh
2. Perkerasan lentur dengan desain fondasi di bawah standar mungkin memerlukan perkuatan dengan lapisan aspal tambahan berulang kali selama masa pelayanannya sehingga biaya total perkerasan menjadi lebih mahal dibandingkan dengan perkerasan yang didesain dengan baik
3. Perkerasan kaku di atas tanah lunak dengan desain fondasi di bawah standar cenderung mengalami keretakan dini yang dalam kasus terburuk mungkin memerlukan penggantian pelat beton

Tabel 2.12 menunjukkan tebal minimum lapis penopang untuk mencapai CBR desain 6% yang digunakan untuk pengembangan Katalog Desain tebal perkerasan. Apabila lapis penopang akan digunakan untuk kendaraan konstruksi mungkin diperlukan lapis penopang yang lebih tebal.

Tabel 2.12 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 ESA5)			Stabilasi semen
			<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 ≤ 200mm tebal gembur)	Tidak diperlukan perbaikan			300
5	SG5		-	-	100	
4	SG4		100	150	200	
3	SG3		150	200	300	
2,5	SG2.5		175	250	350	

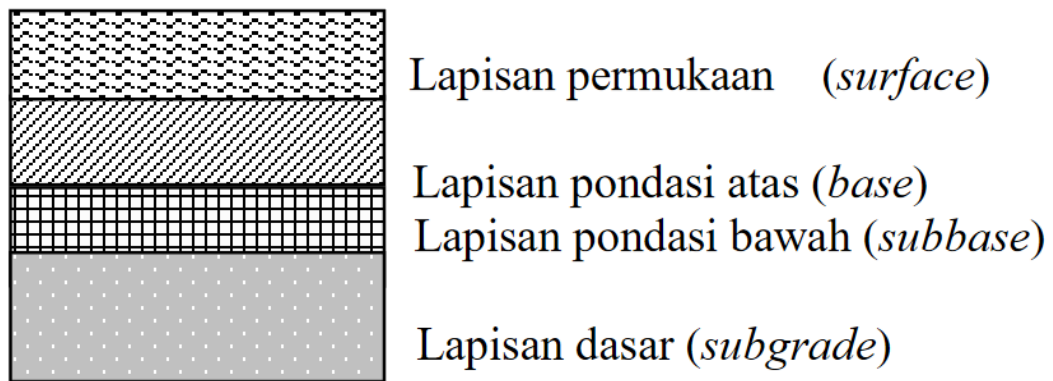
Tanah ekspansif (potensi pemuaian > 5%)			400	500	600	Berlaku ketentuan yang sama dengan fondasi jalan perkerasan lentur
Perkerasan di atas tanah lunak	SG1	Lapis penopang	1000	1100	1200	
		Atau lapis penopang dan geogrid	650	750	850	
Tanah gambut dengan HRS atau DBST untuk perkerasan jalan raya minor (nilai minimum - ketentuan lain berlaku)		Lapis penopang berbutir	1000	1250	1500	

Sumber : MDPJ 2017

2.3.8 Komponen Perkerasan Lentur

Adapun komponen-komponen struktur dari perkerasan lentur antara lain:

- Lapisan permukaan (*surface course*)
- Lapisan pondasi atas (*base course*)
- Lapisan pondasi bawah (*sub base course*)
- Lapisan tanah dasar (*subgrade*)



Gambar 2.1 Komponen Struktur Peverasan Lentur

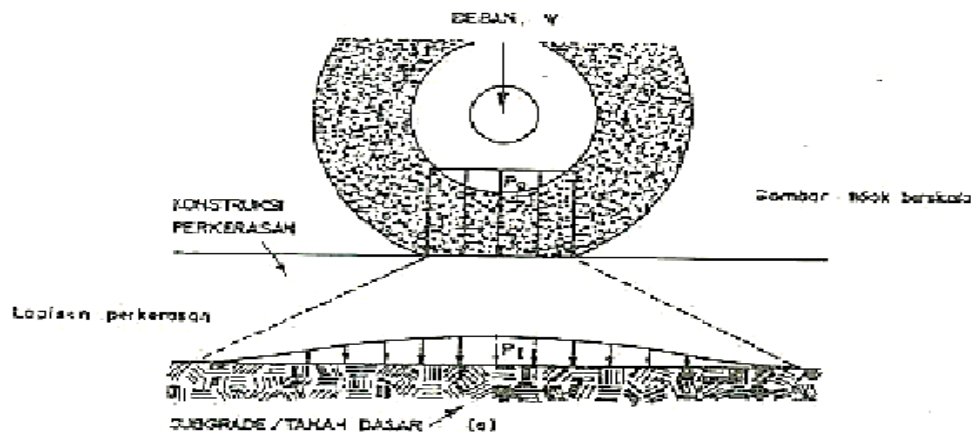
2.3.8.1 *Subgrade* (Lapisan Pondasi Tanah Dasar)

Subgrade berfungsi sebagai pondasi struktur perkerasan. Lapisan tanah dasar juga dapat terdiri dari lapisan bahan yang dipilih, dipadatkan dengan baik sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan. Mungkin perlu untuk merawat material tanah dasar untuk mencapai sifat kekuatan tertentu yang diperlukan untuk jenis perkerasan yang sedang dibangun. Tanah dasar berfungsi sebagai penyebaran beban, drainase bawah permukaan tanah dan permukaan jalan selama konstruksi.

2.3.8.2 *Subbase Course* (Lapisan pondasi bawah)

Subbase terletak tepat diatas tanah dasar, dimana komponen subbase terdiri dari material dengan kualitas unggul umumnya digunakan untuk konstruksi tanah dasar. Adapun fungsi dari *subbase* adalah sebagai bagian dari konstruksi perkerasan

yang mendukung dan menyebarkan beban lalu lintas, mencegah tanah dasar masuk ke dalam pondasi dan sebagai lapis pertama supaya pekerjaan perkerasan berjalan lancar.



Gambar 2.2 Penyebaran Beban Roda Pada Lapisan Perkerasan

Keterangan :

Pada Gambar 2.2 terlihat bahwa beban kendaraan dilimpahkan ke perkerasan jalan melalui bidang kontak roda berupa beban terbagi rata P_0 . Beban tersebut diterima oleh lapisan permukaan dan disebarkan ke tanah dasar menjadi P_1 yang lebih kecil dari daya dukung tanah dasar.

2.3.8.3 Base Course (Lapisan pondasi atas)

Base terletak tepat diatas *subbase*, dan tepat diletakkan di atas *subgrade* apabila *subbase* dirasa tidak perlu digunakan. *Base* biasanya terdiri dari material granular seperti batu hancur, kerikil dan pasir. Spesifikasi untuk material *base* mencakup persyaratan yang lebih ketat terutama berkenaan dengan plastisitas, gradasi dan kekuatannya. Fungsi dari lapisan ini antara lain sebagai lapisan perkerasan yang menahan beban lalu lintas dan sebagai perletakan terhadap lapis permukaan.

2.3.8.4 Surface (Lapisan Permukaan)

Surface adalah jalan atas dari perkerasan jalan dan dibangun dengan segera diatas base. *Surface* biasanya terdiri dari campuran agregat mineral dan bahan aspal. Lapisan ini harus mampu menahan tekanan langsung yang diakibatkan oleh beban lalu lintas yang tinggi, menahan kekuatan abrasif beban lalu lintas, memberikan ketahanan selip permukaan antara roda dan permukaan jalan, dan mencegah masuknya air permukaan akibat hujan kedalam lapisan dibawahnya. Penggunaan bahan aspal diperlukan agar lapisan dapat bersifat kedap air, disamping itu bahan aspal sendiri memberikan bantuan tegangan tarik, yang berarti mempertinggi daya dukung lapisan terhadap beban roda lalu lintas.

2.4 Perencanaan Perkerasan Kaku

Dalam perencanaan perkerasan kaku menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 (MDPJ 2017) yang dikeluarkan Direktorat Jendral Bina Marga. Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 merupakan pelengkap dari Pedoman Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen Pd T-14-2003. Metode perencanaan perkerasan kaku didasarkan pada :

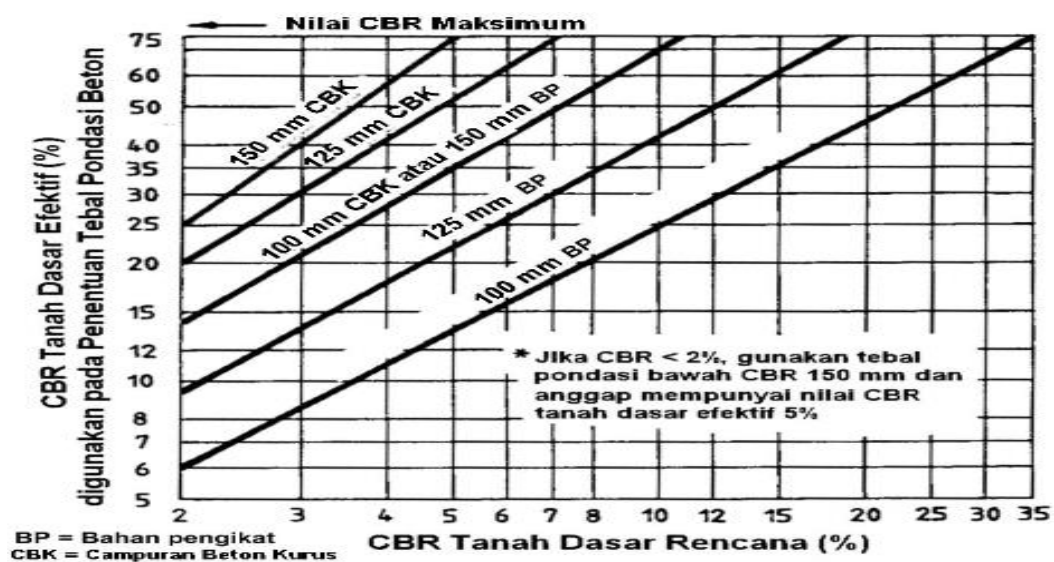
1. Perkiraan lalu-lintas dan komposisinya selama umur rencana.
2. Kekuatan tanah dasar yang dinyatakan dengan CBR.
3. Kekuatan beton yang digunakan
4. Jenis perkerasan

2.4.1 Tanah Dasar dan Pondasi Bawah

2.4.1.1 Tanah Dasar

Lapis tanah dasar harus dibentuk sesuai dengan profil desain dan penampang melintang perkerasan, dan harus dipadatkan pada 100% kepadatan kering ringan

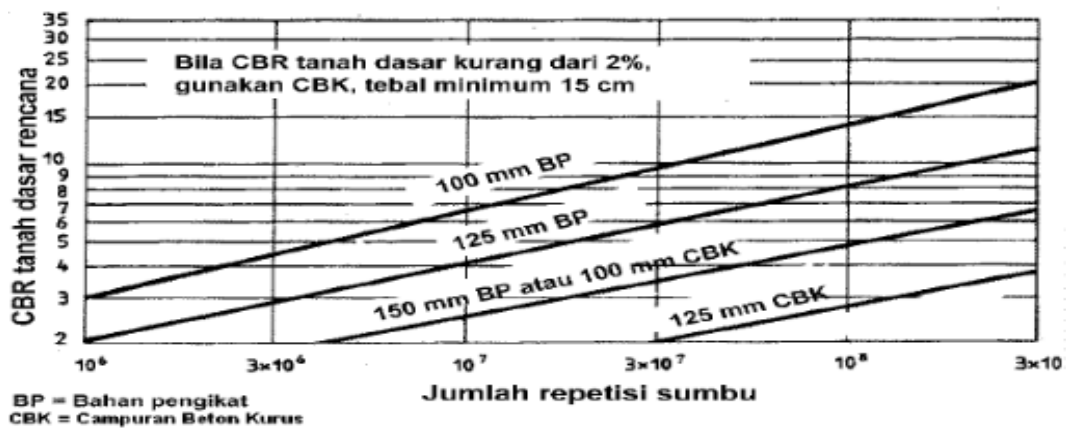
pada kedalaman 30% dan harus memenuhi CBR desain. Dalam Pd T-14-2003 daya dukung tanah dasar ditentukan dengan pengujian CBR insitu sesuai dengan SNI 03-1731-1989 atau CBR laboratorium sesuai dengan SNI 03-1744-1989. Apabila tanah dasar mempunyai nilai CBR lebih kecil dari 2% maka harus dipasang pondasi bawah yang terbuat dari beton kurus (*Lean-Mix Concrete*) setebal 15 cm yang dianggap mempunyai nilai CBR tanah dasar efektif 5%. Grafik CBR tanah dasar efektif yang digunakan pada penentuan tebal pondasi beton dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut



Gambar 2.3 CBR Tanah Dasar Efektif dan Tebal Pondasi Bawah

2.4.1.2 Pondasi Bawah

Menurut Pd T-14-2003 “bahan pondasi bawah dapat berupa bahan berbutir, stabilisasi atau dengan beton kurus giling padat, dan campuran beton kurus. Lapis pondasi bawah sendiri menurut pedoman tersebut perlu diperlebar sampai 60 cm diluar tepi perkerasan beton semen. Untuk ketebalan sendiri, pedoman tersebut mensyaratkan tebal lapisan minimum sebesar 10 cm”. Tebal lapis pondasi minimum yang disarankan dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 2.4 Tebal Pondasi Bawah Minimum untuk Perkerasan Beton Semen

2.4.2 Lalu Lintas

Lalu lintas merupakan elemen penting dalam perencanaan jalan, karena kapasitas dan konstruksi struktur perkerasan jalan yang direncanakan tergantung pada lalu lintas yang akan melewati jalan yang direncanakan tersebut. Data lalu lintas didapat dari survei lalu lintas yang bisa dilakukan dengan cara manual (dengan menggunakan tenaga surveyor) maupun cara mekanik/elektronik (dengan bantuan peralatan mekanik ataupun elektronik).

1. Volume Lalu Lintas
2. Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Seperti dijelaskan pada Subbab Perencanaan Perkerasan Lentur perhitungan pertumbuhan lalu lintas dapat dilihat pada Persamaan 2.3.2 diatas

2.4.3 Lajur Rencana

Seperti dijelaskan pada Subbab Perencanaan Perkerasan Lentur lajur rencana adalah salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan yang menampung lalu lintas kendaraan niaga (truk dan bus) paling besar. Untuk jalan dua arah, faktor distribusi

arah (DD) umumnya diambil 0,50 kecuali pada lokasi-lokasi yang jumlah kendaraan niaga cenderung lebih tinggi pada suatu arah tertentu. Faktor distribusi lajur (DL) ditunjukkan pada Tabel 2.4

2.4.4 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas merupakan beban kendaraan yang dilimpahkan ke perkerasan jalan melalui kontak antara roda kendaraan dengan lapis permukaan perkerasan jalan secara dinamis dan berulang selama masa pelayanan jalan. Beban kendaraan yang dilimpahkan melalui roda kendaraan yang terjadi berulang selama masa pelayanan sebagai akibat repetisi kendaraan yang melintasi jalan tersebut. Beban lalu lintas ini akan berpengaruh pada hasil perencanaan konstruksi struktur perkerasan jalan dan kekokohan struktur pelayanan jalan selama masa pelayanan (MDPJ, 2017).

Berdasarkan pedoman desain perkerasan kaku (Pd T-14-2003), beban lalu lintas desain didasarkan pada distribusi kelompok sumbu kendaraan niaga (*heavy vehicle axle group*, HVAG) dan bukan pada nilai CESA. Jumlah sumbu kendaraan niaga selama umur rencana dihitung dengan Persamaan berikut.

$$JSKN = JSKNH \times 365 \times R \times DD \times DL \quad (2.3)$$

Keterangan :

JSKN = Jumlah total sumbu kendaraan niaga selama umur rencana

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

R = Faktor pertumbuhan lalu lintas

DD = Faktor distribusi arah

DL = Faktor distribusi lajur kendaraan niaga

2.4.5 Faktor Keamanan Beban

Pada penentuan beban rencana, beban sumbu dikalikan dengan faktor keamanan beban (FKB). Faktor keamanan beban ini digunakan berkaitan adanya berbagai tingkat realibilitas perencanaan seperti terlihat pada Tabel 2.13

Tabel 2.13 Faktor Keamanan Beban (FKB)

No	Penggunaan	Nilai FKB
1	Jalan bebas hambatan utama (major freeway) dan jalan berlajur banyak, yang aliran lalu lintasnya tidak terhambat serta volume kendaraan niaga yang tinggi. Bila menggunakan data lalu-lintas dari hasil survai beban (<i>weight- in-motion</i>) dan adanya kemungkinan route alternatif, maka nilai faktor keamanan beban dapat dikurangi menjadi 1,15.	1,2
2	Jalan bebas hambatan (<i>freeway</i>) dan jalan arteri dengan volume kendaraan niaga menengah	1,1
3	Jalan dengan volume kendaraan niaga rendah.	1,0

Sumber : MDPJ 2017

2.4.6 Sambungan

Sambungan pada perkerasan beton semen ditujukan untuk membatasi tegangan dan pengendalian retak yang disebabkan oleh penyusutan dan pengaruh lenting serta beban lalu-lintas, memudahkan pelaksanaan, mengakomodasi gerakan pelat. Sambungan pada perkerasan jalan beton ada batang pengikat (*Tie Bars*) yang diletakkan pada sambungan memanjang (*longitudinal joint*). Sementara itu pada sambungan melintang (*transversal joint*) diletakkan ruji atau dowel

1. Sambungan memanjang dengan batang pengikat (*tie bars*)

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

$$A_t = 204 \times b \times h \quad (2.4)$$

$$l = (38,3 \times \phi) + 75 \quad (2.5)$$

Dengan pengertian :

A_t = Luas penampang tulangan per meter panjang sambungan (mm²).

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

h = Tebal pelat (m).

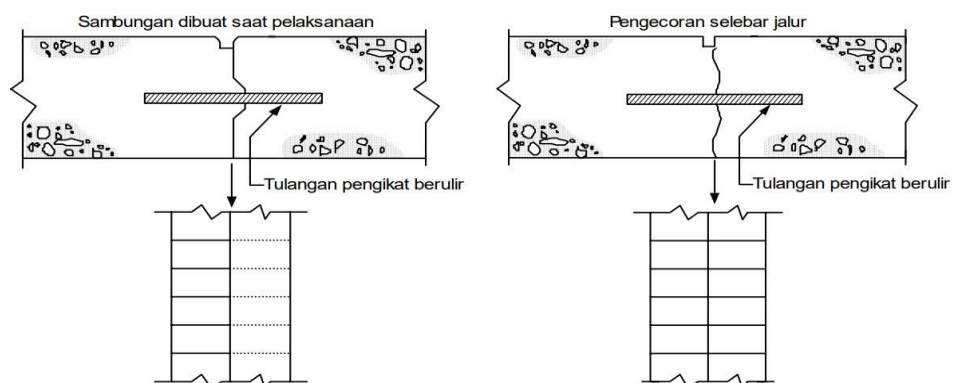
L = Panjang batang pengikat (mm).

ϕ = Diameter batang pengikat yang dipilih (mm).

Tie bar berfungsi untuk mengikat pelat agar tidak bergerak horizontal.

Berbentuk ulir atau *deformed* dan ukurannya kecil, dapat dilihat pada

Gambar 2.6



Gambar 2.5 Tipikal sambungan memanjang

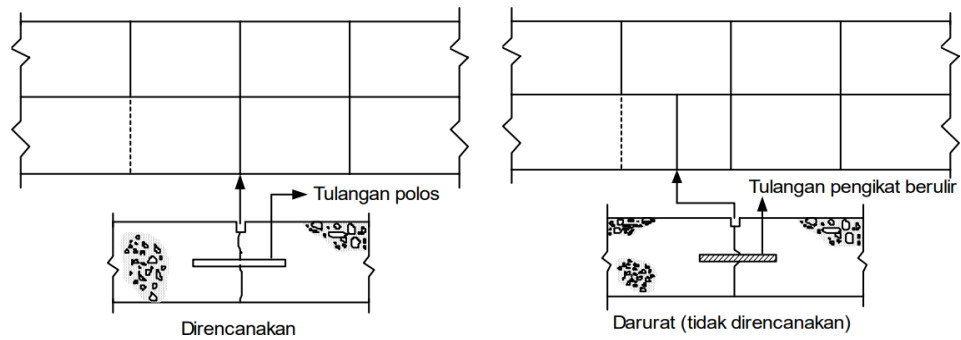
2. Sambungan susut melintang dengan ruji (*Dowel*)

Sambungan susut melintang dengan ruji (*dowel*) 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. 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. Diameter ruji tergantung dengan tebal pelat beton sebagaimana pada Tabel 2.14 berikut

Tabel 2.14 Diameter Ruji

No	Tebal pelat beton, h (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 : MDPJ 2017



Gambar 2.6 Sambungan Pelaksanaan yang Direncanakan dan yang Tidak Direncanakan untuk Pengecoran per Lajur

2.4.7 Prosedur Desain Tebal Perkerasan Kaku

Prosedur desain tebal perkerasan beton semen didasarkan atas dua model kerusakan yaitu retak fatik (lelah) tarik lentur pada pelat dan 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.

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”. Setelah itu dicari nilai JSKN menggunakan Persamaan 2.7

Setelah JSKN didapat maka kemudian perlu dicari jumlah repetisi sumbu yang terjadi. Jumlah repetisi sumbu yang terjadi diperoleh dari penjumlahan masing-masing repetisi sesuai konfigurasi beban dan sumbu kendaraan. Perhitungan repetisi sumbu diperoleh dari persamaan berikut.

$$\text{Proporsi beban} = \frac{\text{sumbu tiap beban sumbu}}{\text{sumbu total semua beban pada setiap jenis sumbu}} \quad (2.6)$$

$$\text{Proporsi sumbu} = \frac{\text{jumlah sumbu tiap beban sumbu}}{\text{JSKNH}} \quad (2.7)$$

$$\text{Repetisi yang terjadi} = \text{Proporsi Beban} \times \text{Proporsi Sumbu} \times \text{JSKN Rencana} \quad (2.8)$$

Selanjutnya menentukan tebal perkerasan taksiran dengan menggunakan Tabel 2.15 dan Tabel 2.16 dengan melihat nilai JSKN.

Tabel 2.15 Bagan Desain 4. Perkerasan Kaku Untuk Jalan Dengan Beban Lalu Lintas Tinggi

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	Ya				
Struktur Perkerasan (mm)					
Tebal pelat beton	265	275	285	295	305
Lapis pondasi LMC	100				
Lapis drainase (agregat A)	150				

Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga, 2017

Tabel 2.16 Bagan Desain-4A. Perkerasan Kaku Untuk Jalan Dengan Beban Lalu Lintas Rendah

	Tanah Dasar			
	Tanah Lunak dengan Lapis Penopang		Dipadatkan normal	
Bahu pelat beton (<i>tied shoulder</i>)	Ya	Tidak	Ya	Tidak
Tebal Pelat Beton				
Akses terbatas hanya mobil penumpang dan motor	160	175	135	150
Dapat diakses oleh truk	180	200	160	175
Tulangan distribusi retak	Ya		Ya jika daya dukung fondasi tidak seragam	
Dowel	Tidak dibutuhkan			
LMC	Tidak dibutuhkan			
Lapis Fondasi Kelas A (ukuran butir nominal maksimum 30 mm)	125 mm			
Jarak sambungan melintang	4 m			

Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga, 2017

Langkah selanjutnya yakni menentukan CBR tanah dasar efektif yang dapat diperoleh dari Gambar 2.3 Selanjutnya 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% (Mutaher, 2017)

Setelah tebal taksiran diperoleh maka selanjutnya dilakukan analisis fatik dan erosi. Berdasarkan Pd-T-14-2003 untuk analisis fatik dan erosi perlu dicari terlebih dahulu tegangan ekivalen serta faktor erosi sesuai dengan kategori sumbu kendaraannya yakni STRT, STRG dan STDRG. Nilai tegangan ekivalen dan faktor erosi diperoleh dari Lampiran 4 dengan memasukkan nilai tebal perkerasan dan CBR tanah dasar efektif

Setelah tegangan ekivalen dan faktor erosi sesuai konfigurasi beban dan sumbu kendaraan niaga tersebut diketahui, maka perlu dicari Faktor Rasio Tegangan (FRT) sesuai masing-masing konfigurasi sumbu kendaraan tersebut. Untuk menghitung FRT maka digunakan Persamaan 2.9 berikut ini

$$FRT = TE/f_{cf} \quad (2.9)$$

dengan :

FRT = Faktor Rasio Tegangan

TE = Tegangan Ekivalen

f_{cf} = kuat tarik lentur beton pada umur 28 hari

Kuat tarik lentur beton pada umur 28 hari sendiri ditentukan dengan Persamaan 2.10 berikut.

$$f_{cf} = K \times (f_c')^{0,5} \quad (2.10)$$

dengan :

f_c' = Kuat tekan beton karakteristik 28 hari (Mpa)

f_{cf} = Kuat tarik lentur beton 28 hari (MPa)

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

Analisis fatik dan erosi dalam hal ini diterjemahkan sebagai persentasi kerusakan yang diperoleh dari Persamaan 2.11 berikut

$$\text{Persentase kerusakan}_i = (\text{Repetisi yang terjadi}_i \times 100) : \text{repetisi ijin}_i \quad (2.11)$$

dengan i adalah jenis konfigurasi beban dan sumbu kendaraan

Selanjutnya dalam menentukan repetisi ijin diperlukan input beban per roda pada kelompok sumbu kendaraan atau beban rencana dan nilai FRT. Beban rencana per roda diperoleh dari hasil perkalian antara beban sumbu dengan jumlah roda dalam satu sumbu tersebut dan faktor keamanan beban. Setelah mengetahui beban rencana sesuai jenis konfigurasi sumbu kendaraan maka nilai repetisi ijin dapat diperoleh dari nomogram analisis fatik dan beban repetisi ijin tanpa bahu beton . Pemilihan struktur perkerasan ditentukan oleh volume lalu lintas, umur rencana dan kondisi fondasi jalan. Dalam pemilihan ini pula perencana harus mempertimbangkan biaya terendah selama umur rencana, keterbatasan dan kepraktisan pelaksanaan. Adapun pemilihan struktur pekerasan desain perkerasan kaku dalam metode ini ditunjukkan pada Tabel 2.15 dan Tabel 2.16.

2.4.8 Komponen Perkerasan Kaku

2.4.8.1 Tanah Dasar

Sifat, daya dukung, dan keseragaman tanah dasar mempengaruhi keawetan dan kekuatan pelat beton.

2.4.8.2 Lapis Pondasi Bawah

Lapisan ini berfungsi sebagai pengendali kembang susut tanah dasar, mencecah intrusi dan pemompaan pada sambungan, retakan dan tepi plat, memberi dukungan yang mantap dan seragam pada pelat, serta sebagai perkerasan jalan selama masa konstruksi. Tebal minimum lapis pondasi bawah adalah 10 cm sangat disarankan dibangun pada bagian jalan.

2.4.8.3 Lapis Pondasi Beton

Karena keruntuhan perkerasan akibat repetisi beban, maka parameter kekuatan beton harus dinyatakan dalam nilai kuat tarik uji 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)

2.5 Analisis Biaya Siklus Hidup

Pekerjaan proyek konstruksi jalan memerlukan biaya investasi untuk pembangunan awal yang besar, selain itu sudah semestinya biaya tidak hanya diukur dari biaya pembangunan awal saja, tetapi juga biaya rutin yang dikeluarkan setiap tahunnya selama siklus hidup.

Analisis biaya siklus hidup adalah teknik dalam melakukan evaluasi ekonomi terhadap pilihan alternatif investasi jangka panjang, yang digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam pengambilan keputusan berinvestasi. Dimana biaya pemeliharaan selama masa umur layanan dengan mencari nilai *future* -nya , kemudian di *present*-kan kembali. Penggunaan *future worth* menggunakan tingkat inflasi dan present digunakan BI Rate. Maka biaya siklus hidup yaitu penjumlahan dari biaya siklus hidup dan biaya konstruksi awal (*initial cost*).

Secara umum biaya siklus hidup memiliki dua fase utama yaitu akuisisi (perolehan barang) dan penggunaan. Selama fase akuisisi, dikeluarkan biaya yang tidak berulang, dan biaya itu menjadi biaya pertama atau biaya konstruksi. Selama fase penggunaan, timbul biaya yang berulang, dan biaya tersebut adalah biaya rutin/tahunan. Biaya siklus hidup (*life-cycle cost*) adalah semua biaya, baik yang dikeluarkan secara berulang maupun tidak berulang, yang terjadi selama siklus hidup

2.5.1 Biaya Konstruksi

Kegiatan estimasi adalah salah satu proses utama dalam proyek konstruksi untuk mengetahui besar dana yang harus disediakan untuk sebuah bangunan. Pada umumnya, biaya yang dibutuhkan dalam sebuah proyek konstruksi berjumlah besar. Ketidaktepatan yang terjadi dalam penyediaannya akan berakibat kurang baik pada pihak-pihak yang terlibat di dalamnya (Ervianto, 2005).

Estimasi Rencana Anggaran Biaya (RAB) merupakan salah satu proses utama dalam pekerjaan proyek konstruksi untuk mengetahui biaya yang dibutuhkan untuk sebuah proyek. Apabila dalam penyediaannya tidak akurat dan efisien, maka akan berdampak buruk bagi yang terlibat.

Manfaat Rencana Anggaran Biaya (RAB):

1. Untuk perkiraan besarnya biaya yang diperlukan
2. Untuk menentukan Metode yang digunakan
3. Untuk menentukan mutu material dan alat yang digunakan.

Anggaran biaya suatu bangunan atau proyek merupakan perhitungan banyaknya biaya yang diperlukan untuk bahan dan upah tenaga kerja berdasarkan

analisis, serta biaya-biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan pekerjaan. Biaya atau anggaran itu sendiri merupakan jumlah dari masing-masing hasil perkalian volume dengan harga satuan pekerjaan yang bersangkutan, disimpulkan bahwa rencana anggaran biaya dari suatu pekerjaan terlihat dalam Persamaan 2.17 berikut.

$$\text{RAB} = \Sigma (\text{VOLUME} \times \text{HARGA SATUAN PEKERJAAN}) \quad (2.17)$$

Harga satuan bahan dan upah tenaga kerja disetiap daerah berbeda-beda. Sehingga dalam menentukan perhitungan dan penyusunan anggaran biaya suatu pekerjaan harus berpedoman pada harga satuan bahan dan upah tenaga kerja dipasaran dan lokasi pekerjaan. Dalam memperkirakan anggaran biaya terlebih dahulu harus memahami proses konstruksi secara menyeluruh termasuk jenis dan kebutuhan alat, karena faktor tersebut dapat mempengaruhi biaya konstruksi. Selain faktor-faktor tersebut, ada faktor lain yang mempengaruhi dalam pembuatan anggaran biaya yaitu

1. Produktivitas tenaga kerja
2. Ketersediaan material
3. Ketersediaan peralatan
4. Cuaca
5. Jenis kontrak
6. Masalah kualitas
7. Etika
8. Sistem pengendalian

9. Kemampuan manajemen

Perhitungan biaya konstruksi dihitung dengan merujuk spesifikasi umum pekerjaan konstruksi jalan dalam Pedoman Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Bidang Bina Marga yang menjadi lampiran dalam Permen PU-PR No. 28 Tahun 2016. Spesifikasi umum tersebut terdiri atas 10 divisi. Ke sepuluh divisi tersebut adalah

1. Divisi 1 – Umum
2. Divisi 2 – Drainase
3. Divisi 3 - Pekerjaan Tanah
4. Divisi 4 - Pelebaran Perkerasan dan Bahu Jalan
5. Divisi 5 - Perkerasan Berbutir dan Perkerasan Beton Semen
6. Divisi 6 - Perkerasan Aspal
7. Divisi 7 – Struktur
8. Divisi 8 - Pengembalian Kondisi dan Pekerjaan Minor
9. Divisi 9 - Pekerjaan Harian
10. Divisi 10 - Pekerjaan Pemeliharaan Rutin

Perhitungan AHSP memerlukan harga satuan pekerja, pengadaan material dan pengadaan alat.

2.5.2 Biaya Rutin/ Biaya Tahunan

Waktu setelah sebuah proyek selesai dibangun merupakan waktu awal dari umur proyek sesuai dengan umur yang direncanakan pada waktu detail desain. Pada waktu itu pemanfaatan proyek mulai dilaksanakan. Selama pemanfaatan, proyek memerlukan biaya sampai dengan umur proyek tersebut selesai, biaya

tersebut yang harus dipikul oleh pemilik proyek. Pada penelitian ini biaya rutin mencakup pada biaya perawatan dan biaya rehabilitasi.

Kegiatan perawatan merupakan tindakan atau usaha yang dilakukan secara rutin dengan tujuan mempertahankan umur layanan sebelum mengalami kerusakan yang berarti. Jadi biaya perawatan adalah biaya yang dikeluarkan secara rutin untuk membiayai kegiatan perawatan. Sebelum menghitung biaya perawatan terlebih dahulu menentukan strategi perawatan yang akan dilakukan.

Strategi perawatan yang dimaksud adalah menentukan pekerjaan apa saja yang akan dimasukkan ke dalam perawatan perkerasan lentur maupun perkerasan kaku. Selain menentukan pekerjaan apa saja yang akan dilaksanakan, strategi perawatan juga menentukan kapan akan dilaksanakan perawatan tersebut. Setelah menentukan pekerjaan untuk perawatan kemudian bisa dihitung biayanya dengan cara menentukan volume dan harga satuan pekerjaannya.

Kegiatan rehabilitasi merupakan tindakan atau usaha yang dilakukan untuk meningkatkan kemampuan kondisi jalan dengan harapan kondisi jalan dapat kembali umur layannya. Jadi biaya rehabilitasi adalah biaya yang dikeluarkan untuk membiayai kegiatan rehabilitasi. Sebelum menghitung biaya rehabilitasi terlebih dahulu menentukan strategi rehabilitasi yang akan dilakukan. Strategi rehabilitasi yang dimaksud adalah menentukan pekerjaan apa saja yang akan dimasukkan ke dalam rehabilitasi perkerasan lentur maupun perkerasan kaku. Selain menentukan pekerjaan apa saja yang akan dilaksanakan, strategi rehabilitasi juga menentukan kapan akan dilaksanakan rehabilitasi tersebut. Setelah menentukan pekerjaan untuk rehabilitasi kemudian bisa dihitung biayanya dengan cara menentukan volume dan harga satuan pekerjaannya. Setelah perhitungan biaya perawatan dan biaya

rehabilitasi selesai maka sebelum digabungkan ke dalam biaya siklus hidup harus dikonversikan ke dalam nilai sekarang (*present value*)

2.5.3 Analisis Harga Satuan Pekerjaan

Harga satuan pekerjaan adalah jumlah harga bahan dan upah tenaga kerja berdasarkan perhitungan analisis. Harga satuan bahan dan upah yang digunakan adalah harga satuan dilokasi pekerjaan untuk waktu tertentu. Secara umum dapat disimpulkan sebagai berikut:

$$\text{HSP} = \text{H.S. Bahan} + \text{H.S. Upah} \quad (2.12)$$

2.5.4 Analisa Harga Satuan Upah

Analisa harga satuan upah adalah menghitung banyaknya tenaga yang diperlukan, serta besarnya biaya yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan tersebut. Kebutuhan tenaga kerja adalah besarnya jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan untuk suatu volume pekerjaan tertentu yang dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\sum \text{Tenaga Kerja} = \text{Volume Pekerjaan} \times \text{Koefisien analisa tenaga kerja} \quad (2.13)$$

2.5.5 Analisis Harga Satuan Bahan

Analisa harga satuan bahan adalah menghitung banyaknya/volume masing-masing bahan,serta besarnya biaya yang di butuhkan. Sedangkan indeks bahan yang akan diperlukan untuk menghasilkan suatu volume pekerjaan yang akan dikerjakan. Kebutuhan bahan/material ialah besarnya jumlah bahan yang dibutuhkan untuk menyelesaikan bagian pekerjaan dalam satu kesatuan pekerjaan. Kebutuhan bahan dapat dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$\sum \text{Bahan} = \text{Volume Pekerjaan} \times \text{Koefisien Analisa Bahan} \quad (2.14)$$

2.6 Time Value of Money

Uang dapat memberi hasil pada tingkat suku bunga tertentu melalui investasinya pada suatu periode waktu. satu dolar yang diterima suatu waktu nilainya tidak sebesar satu dolar ditangan saat ini. Hubungan antara bunga dan waktu menghasilkan konsep nilai-waktu uang (*time value of money*). Uang memiliki nilai waktu karena uang mempunyai daya laba (*earning power*) dan daya beli (*purchasing power*) (Fabrycky, 1991).

Menurut Pujawan (2003), nilai uang senantiasa berubah dengan berjalannya waktu. Untuk melakukan suatu ekivalensi nilai uang, kita perlu mengetahui 3 hal, yaitu:

- a. Jumlah yang dipinjam atau diinvestasikan
- b. Periode waktu peminjaman atau investasi.
- c. Tingkat bunga yang dikenakan

2.6.1 Metode Nilai *Future Value*

Future value adalah suatu estimasi yang memperkirakan nilai dana saat ini di masa depan. Perhitungan perkiraan besaran dana tersebut dilakukan berdasarkan suku bunga serta tingkat pertumbuhan khusus lainnya. Istilah lain menyebutkan bahwa *future value* adalah nilai di masa depan yang dapat diprediksi dengan mudah berdasarkan tingkat pertumbuhan inflasi. Hal tersebut dapat digunakan sebagai taksiran untuk memperhitungkan nilai dana kepemilikan di masa mendatang.

$$FV = PV (1 + i)^n \quad (2.15)$$

dengan:

$FV = \text{Future Value}$ (dalam Rp.)

$PV = \text{Present Value}$ (dalam Rp.)

i = tingkat suku inflasi (%)

n = jumlah tahun

2.6.1.1 Inflasi

Inflasi pada dasarnya didefinisikan sebagai waktu terjadinya kenaikan harga-harga barang dan jasa, atau faktor-faktor produksi secara umum (Pujawan, 2003). Dengan adanya inflasi maka daya beli uang akan semakin rendah dari waktu ke waktu.

Pengaruh yang disebabkan oleh pergerakan inflasi pada sebuah proyek adalah pergerakan naiknya harga material bangunan dan jasa. Inflasi bisa mempengaruhi secara merata terhadap semua desain tapi biasanya akan lebih terasa pada desain yang mempunyai rasio antara biaya masa depan dengan biaya awal yang terbesar.

2.6.2 Metode Nilai *Present Worth Method*

Pada metode ini semua aliran kas dikonversikan menjadi nilai sekarang (P) dan dijumlahkan sehingga P yang diperoleh mencerminkan aliran kas yang terjadi selama horizon perencanaan (Pujawan, 2003).

$$PV = FV \times \frac{1}{(1 + i)^n} \quad (2.16)$$

dengan:

PV = *Present Value* (dalam Rp.)

FV = *Future Value* (dalam Rp.)

i = tingkat suku bunga Bank Indonesia (BI-Rate) (%)

n = jumlah tahun

2.6.2.1 BI 7-Day Reverse Repo Rate

BI *7-Day Repo Rate* adalah suku bunga referensi kebijakan moneter yang selalu ditetapkan setiap bulannya dalam Rapat Dewan Gubernur. Suku bunga acuan di Indonesia ini dapat berbeda setiap bulannya dengan melihat kondisi perekonomian negara. Ketika terjadi inflasi, Bank Indonesia akan menaikkan suku bunga dengan tujuan agar masyarakat akan lebih sering menabung, sehingga jumlah yang beredar akan berkurang. Jika tingkat inflasi mengalami kenaikan, maka nilai BI *7-Day Repo Rate* juga akan naik. Begitu pula sebaliknya, saat inflasi turun maka nilai BI *7-Day Repo Rate* juga akan ikut turun.