

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Penelitian yang dilakukan oleh Ni Made Megi Suwari (2012) Judul **Analisis Perbandingan Struktur dan Biaya Konstruksi Perkerasan Kaku dan Perkerasan Lentur (Studi Kasus EBL-01 Tohpati-Kusamba)** Ruas jalan Bypass Tohpati-Kusamba merupakan jalan arteri primer yang mempunyai peranan strategis sebagai salah satu jalan penghubung Pulau Jawa-Bali-Provinsi NTB. Dengan mempertimbangkan volume lalu lintas yang cukup tinggi hendaknya konstruksi perkerasan jalan yang digunakan haruslah memadai untuk umur rencana yang disesuaikan dengan fungsi jalan tersebut. Ada dua jenis konstruksi perkerasan jalan, yakni konstruksi perkerasan kaku dan konstruksi perkerasan lentur. Kedua jenis perkerasan ini memiliki beberapa kekurangan dan kelebihan, baik dari segi konstruksi maupun dari segi biaya pembangunan dan pemeliharaannya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis tebal perkerasan dan perbandingan biaya dari kedua perkerasan tersebut. Analisis tebal perkerasan lentur menggunakan metode Bina Marga dengan data LHR (Lalu lintas Harian Rata-rata) tahun 2009, Nilai CBR (California Bering Ratio) atau kondisi tanah dasar yakni 5%, pertumbuhan lalu lintas 2% per tahun, umur rencana (30 tahun) dan faktor regional, koef.distribusi kendaraan (C), angka ekuivalen (E), nilai LEP, LEA, LET, LER, IP dan ITP, sedangkan untuk analisis tebal pelat perkerasan kaku menggunakan Metode Departement Pekerjaan Umum

yang berdasarkan LHR pada tahun pembukaan, JKN, konf.beban sumbu, mutu beton k-450. Dari hasil analisis didapat gambaran perbandingan besaran biaya konstruksi dan perawatan pada kedua jenis konstruksi perkerasan jalan tersebut. Hasil analisis menunjukkan bahwa dari segi konstruksi perkerasan berdasarkan umur rencana 30 tahun, perkerasan kaku memiliki ketebalan 46,5 cm meliputi 10 cm untuk paian pondasi bawah, 12,5 cm lapisan pondasi atas, dan 24 cm untuk lapisan permukaan. Dan perkerasan lentur memiliki ketebalan 102 cm meliputi 4 cm untuk lapis permukaan AC-WC, 10 cm untuk lapisan permukaan AC-BC, 25 cm untuk lapisan pondasi atas, 63 cm untuk pondasi bawah . Dari segi biaya, biaya permulaan untuk perkerasan lentur Rp 21.929.434.512 dan untuk perkerasan kaku Rp 34.687.299.700. Dan biaya keseluruhan antara biaya permulaan dan biaya pemeliharaan untuk perkerasan lentur Rp 34.717238.865,47 dan perkerasan kaku Rp 46.484.299.113,10.

Penelitian yang dilakukan oleh Ester lasmasari (2010) berjudul **Analisis Value Engineering Rencana Pembangunan Jalan Tol Babatan - Tegineneng Provinsi Lampung** Value Engineering adalah suatu penghematan yang sistematis untuk memperoleh hasil yang maksimal dari setiap biaya yang dikeluarkan.tahapan dalam Value Engineering meliputi fase informasi yang terdiri dari breakdown, cost model dan analisis fungsi, fase spekulasi, fase analisis yang terdiri dari metode zero -one dan matrik evaluasi, fase rekomendasi dan fase pelaporan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji rencana biaya perkerasan pembangunan jalan tol Bakauheni – Terbanggi Besar ruas Babatan – Tegineneng,

mengetahui alternatif penggunaan tenaga kerja, teknik pelaksanaan dan waktu pelaksanaan dari desain struktur yang di gunakan dalam menganalisis atau rekayasa nilai (value engineering), mengetahui berapa besarnya nilai cost saving yang terjadi dalam perencanaan biaya total proyek setelah dilakukan analisis value Engineering ,tersedianya suatu pmbanding rencana biaya yang lebih efisien bagi pemerintah untuk menghemat biaya pembangunan jalan tol..Pada penelitian analisis Value Engineering Rencana pembangunan jalan – tol Babatan - tegineneng dipilih item perkerasan karena item ini mempunyai bobot biaya yang besar yaitu 50,61% dari biaya keseluruhan proyek keseluruhan. Analisis yang dilakukan adalah membandingkan biaya pekerjaan rencana yaitu menggunakan perkerasan lentur dengan biaya menggunakan perkerasan kaku dan gabungan 30% lentur dan 70% kaku yang sesuai dengan syarat pembangunan perkerasan jalan tol. Kriteria pembandingan yang digunakan adalah biaya, waktu dan jumlah tenaga kerja. Dari analisis diperoleh bahwa perkerasan kaku memiliki nilai optimal dengan biaya sebesar Rp.446.054.000.000,00 dan jumlah total pekerja 595 orang hal ini memberikan penhematan sebesar Rp.21.981.000.000,00 dari pada desain rencana dengan biaya Rp. 468.035.000.000,00 dan jumlah total pekerja 309 orang. Desain perkerasan gabungan menghasilkan biaya penghematan sebesar Rp.589.000.000,00 dari biaya perkerasan sebesar Rp.467.446.000.000,00 dengan total pekerja 881 pekerja. Analisis value engineering juga di lakukan pada desain optimal perkerasan kaku dengan melakukan kombinasi ppeubahan jumlah tenaga kerja dan jam kerja perhari meliputi pengurangan jam kerja jumlah tenaga kerja tetap, penambahan jam kerja jumlah tenaga kerja tetap, pengurangan jumlah

tenaga kerja jam kerja tetap, penambahan jumlah tenaga kerja jam kerja tetap, pengurangan jam kerja penambahan jumlah tenaga kerja, penambahan jam kerja penambahan jumlah tenaga kerja, pengurangan jumlah tenaga kerja pengurangan jam kerja, penambahan jam kerja pengurangan jumlah tenaga kerja. Penambahan jam kerja penambahan tenaga kerja memberikan nilai optimal dengan biaya total Rp.443.634.000.000,00 dan jumlah total pekerja 655 orang sehingga menghasilkan penghematan sebesar Rp.24.401.000.000,00 dari biaya rencana.

Penelitian yang dilakukan oleh Teguh Budi Santoso (2004) berjudul **“Kajian Soil Cement Sebagai Pengganti Lapis Pondasi Agregat Ditinjau Dari Aspek Biaya Di Kabupaten Kutai Timur”**. Yaitu mengkaji lebih dalam tentang Soil Cement Base – mulai dari perencanaan, pelaksanaan, sampai pemeliharaan – serta membandingkan biaya konstruksi antara penggunaan soil cement base dengan lapis pondasi agregat. Dengan adanya otonomi daerah yang mendorong pertumbuhan ekonomi yang semakin pesat di Kabupaten Kutai Timur yang pada akhirnya menuntut tersedianya sarana dan prasarana transportasi yang memadai.

Penelitian ini bertujuan untuk (1) Mengkaji teorema soil cement base, (2) Menganalisa pelaksanaan soil cement base secara umum, dan (3) Menganalisa perhitungan biaya konstruksi soil cement dengan membandingkan biaya konstruksi lapis pondasi agregat.

Kesimpulan dan manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah (1) Menyajikan job mix formula soil cement yang dipergunakan sebagai acuan pelaksanaan konstruksi, (2) Mengetahui perbandingan biaya antara soil cement base dengan lapis pondasi agregat, khususnya untuk pembangunan-pembangunan

jalan di Kabupaten Kutai Timur, serta (3) Diharapkan buku ini dapat digunakan sebagai referensi bagi unsur pelaksana proyek.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Pengertian Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan adalah bagian dari jalur lalu lintas, yang bila kita perhatikan secara struktural pada penampang melintang jalan, merupakan penampang struktur dalam kedudukan yang paling sentral dalam suatu badan jalan. Lalu lintas langsung terkonsentrasi pada bagian ini, dan boleh dikatakan merupakan urat nadi dari suatu konstruksi jalan. Apapun jenis perkerasan lalu lintas, dia harus dapat memfasilitasi sejumlah pergerakan lalu lintas, apakah berupa jasa angkutan manusia, atau jasa angkutan barang berupa seluruh komoditas yang diijinkan untuk berlalu lalang (Hamirhan Saodang, 2005).

Tanah saja biasanya tidak cukup dan menahan deformasi akibat beban roda berulang, untuk itu perlu adanya lapisan tambahan yang terletak antara tanah dan roda atau lapisan paling atas dari beban jalan. Lapisan tambahan ini dibuat dari bahan khusus yang mempunyai kualitas yang lebih baik dan dapat menyebarkan beban roda yang lebih luas di atas permukaan tanah, sehingga tegangan yang terjadi karena beban lalu lintas menjadi lebih kecil dari tegangan ijin tanah. Bahan ini selanjutnya disebut bahan lapis perkerasan. (Sukirman,1992)

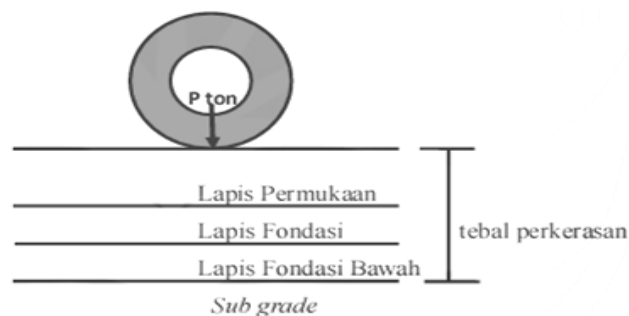
Jika perkerasan jalan dalam kondisi baik maka arus lalu lintas akan berjalan dengan lancar, demikian sebaliknya kalau perkerasan jalan rusak, lalu lintas akan sangat terganggu. Perkerasan jalan merupakan lapisan perkerasan yang

terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, yang berfungsi memberikan pelayanan kepada sarana transportasi, dan selama masa pelayanannya diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti.

2.2.2. Jenis-Jenis Perkerasan pada Jalan Raya

1. Perkerasan lentur (flexible pavement)

Perkerasan lentur (flexible pavement) adalah perkerasan fleksibel dengan bahan terdiri dari bahan ikat (berupa aspal, tanah liat) dan batu. Perkerasan ini umumnya terdiri atas 3 lapis atau lebih. Urut-urutan lapisan adalah lapis permukaan, lapis pondasi atas, lapis pondasi bawah dan sub grade.



Gambar 2.1. Lapis Flexible Pavement

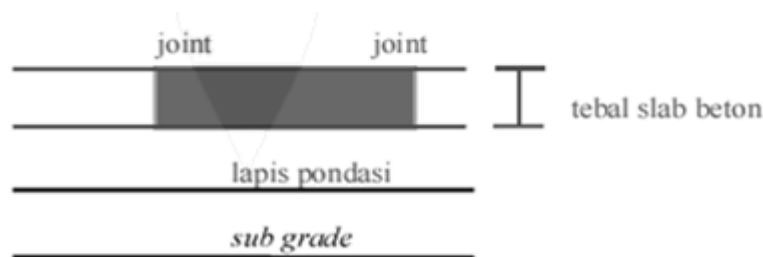
Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, SKBI-2.3.26.1987

Apabila beban roda yang terjadi pada permukaan jalan berupa P ton, maka beban ini diteruskan ke lapisan bawahnya dengan sistem penyebaran tekanan, sehingga semakin ke bawah/dalam tekanan yang dirasakan akan semakin kecil. (Suryadharma dan Susanto, 1999)

2. Perkerasan kaku (rigid pavement)

Perkerasan kaku (rigid pavement) adalah perkerasan tegar/kaku/rigid dengan bahan perkerasan yang terdiri atas bahan ikat (semen portland, tanah liat) dengan

batuan. Bahan ikat semen portland digunakan untuk lapis permukaan yang terdiri atas campuran batu dan semen (beton) yang disebut slab beton.-



Gambar 2.2. Lapis Rigid Pavement

Sumber : Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, PdT-14-2003

Karena beton akan segera mengeras setelah dicor, dan pembuatan beton tidak dapat menerus, maka pada perkerasan ini terdapat sambungan-sambungan beton atau joint. Pada perkerasan ini juga slab beton akan ikut memikul beban roda, sehingga kualitas beton sangat menentukan kualitas pada rigid pavement. (Suryadharma dan Susanto, 1999)

3. Perkerasan komposit (composite pavement)

Perkerasan komposit (composite pavement) ini merupakan gabungan antara perkerasan kaku (rigid pavement) dan perkerasan lentur (flexible pavement). (Suryadharma dan Susanto, 1999)

2.2.3. Beban Sumbu Kendaraan

Efek dari beban dari beban kendaraan yang merusak perkerasan jalan tergantung pada berat sumbu kendaraan. Namun pengaruhnya tidak proporsional terhadap berat. Sumbu dengan beban 8200 kg mempunyai efek merusak 100 kali lebih besar dari pada sumbu dengan beban 2700 kg. sumbu dengan beban 11800

kg merusak empat kali lebih besar dari pada sumbu dengan beban 8200 kg. sehingga penambahan sedikit beban sumbu kendaraan dapat mengakibatkan efek merusak yang jauh lebih besar. (Wignal dkk, 2003) Konstruksi perkerasan jalan menerima beban lalu lintas yang dilimpahkan melalui roda-roda kendaraan. Besarnya beban yang dilimpahkan tersebut tergantung dari berat total kendaraan, konfigurasi sumbu, bidang kontak antara roda dan perkerasan, dan kecepatan kendaraan. Dengan demikian efek dari masing-masing kendaraan terhadap kerusakan yang ditimbulkan tidaklah sama. Oleh karena itu perlu adanya beban standar sehingga semua beban lainnya dapat diekivalenkan ke beban tersebut. Beban standar merupakan beban sumbu tunggal beroda ganda seberat 18 kips (8,16 ton). Semua beban kendaraan lain dengan beban sumbu berbeda diekivalenkan ke beban sumbu standar dengan menggunakan angka ekivalen beban standar. (Sukirman, 1992)

2.2.4. Penyebab Kerusakan Perkerasan Jalan

Kerusakan jalan menindikasikan kondisi struktural dan fungsional jalan yang sudah tidak mampu memberikan pelayanan yang optimal terhadap pengguna jalan, seperti ketidaknyamanan dan ketidakamanan pengguna jalan mengemudikan kendaraan di atas permukaan jalan yang bergelombang dan licin. Pada umumnya kerusakan pada konstruksi perkerasan jalan dapat disebabkan oleh hal-hal sebagai berikut.

1. Lalu lintas, yang dapat berupa peningkatan beban dan repetisi beban. Makin banyak beban berulang yang terjadi, makin besar tingkat kerusakan jalan,

2. Air, yang dapat berasal dari air hujan, sistem drainase jalan yang tidak baik, dan naiknya air akibat sifat kapilaritas,
3. Material konstruksi perkerasan, dalam hal ini dapat disebabkan oleh sifat material itu sendiri atau oleh sistem pengolahan bahan yang tidak baik, Iklim dan cuaca, indonesia beriklim tropis dimana suhu udara dan curah hujan umumnya tinggi, yang dapat merupakan salah satu penyebab kerusakan jalan,
4. Kondisi tanah dasar yang tidak stabil, kemungkinan disebabkan oleh sistim pelaksanaan yang kurang baik, atau dapat juga disebabkan oleh sifat tanah dasarnya yang kurang baik,
5. Proses pemadatan lapisan perkerasan diatas tanah dasar kurang baik. Umumnya kerusakan-kerusakan yang timbul itu tidak disebabkan oleh satu faktor saja, tetapi dapat merupakan gabungan dari penyebab yang saling kait mengait. (Sukirman,1992)

2.2.5. Kerusakan Jalan Akibat Beban Overloading

Kerusakan jalan mengindikasikan kondisi struktural dan fungsional jalan yang sudah tidak mampu memberikan pelayanan yang optimal terhadap pengguna jalan, seperti ketidaknyamanan dan ketidakamanan pengguna jalan mengemudikan kendaraan di atas permukaan jalan yang bergelombang dan licin.

Analisis kerusakan jalan akibat overloading menimbulkan konsekuensi terhadap biaya kerusakan jalan (damage factor cost) dan biaya akibat pengurangan umur pelayanan jalan (deficit design life cost). Kerusakan pada perkerasan jalan

disebabkan antara lain karena beban lalu lintas berulang yang berlebihan (overload), panas/suhu udara, air hujan, serta mutu awal produk jalan yang jelek. Oleh sebab itu disamping direncanakan secara tepat jalan harus dipelihara dengan baik agar dapat melayani pertumbuhan lalu lintas dalam umur rencana. Pemeliharaan jalan rutin maupun berkala perlu dilakukan untuk mempertahankan keamanan dan kenyamanan jalan bagi pengguna dan menjaga daya tahan atau keawetan sampai umur rencana. (Suwardo & Sugiharto, 2004).

Beberapa faktor penyebab kerusakan jalan:

- a. Lalu lintas kendaraan yang dapat berupa peningkatan beban dan repetisi beban. Makin banyak beban berulang yang terjadi, makin besar tingkat kerusakan jalan. Kerusakan terjadi jika daya dukung perkerasan lebih kecil dari beban lalu lintas.
- b. Air, yang berasal dari air hujan dan naiknya air tanah akibat sifat kapilaritas. Makin buruk penanganan sistem drainase, makin besar peluang air untuk merusak konstruksi jalan.
- c. Material konstruksi perkerasan, makin banyak kesalahan dalam pemilihan dan perencanaan material konstruksi maka makin mempercepat kerusakan jalan.
- d. Kondisi tanah dasar yang tidak stabil, kemungkinan disebabkan oleh sistem pelaksanaan yang kurang baik atau sifat asli tanah dasarnya memang kurang baik.
- e. Iklim dan cuaca, Indonesia beriklim tropis dimana temperatur udara rata-rata 32°C yang memberikan dampak terhadap keamanan aspal yang akhirnya

berdampak terhadap jalan keropos serta curah hujan yang tinggi yang akan masuk ke lubang-lubang udara (*voids*) perkerasan jalan.

- f. Proses pemadatan perkerasan di atas tanah dasar yang kurang baik.

Umumnya kerusakan yang timbul tidak disebabkan oleh satu faktor saja, tetapi merupakan gabungan penyebab yang saling mengait, sebagai contoh, retak pinggir pada awalnya disebabkan beban lalu lintas parkir/berhenti serta pemadatan waktu pelaksanaan yang kurang sempurna.

Dengan terjadinya retak-retak tersebut, memungkinkan air meresap masuk ke lapisan di bawahnya yang melemahkan ikatan antara aspal dan agregat sehingga akan memperluas retak-retak, yang akhirnya menimbulkan pelepasan batuan (*distorsi*). Untuk mengevaluasi kerusakan jalan perlu ditentukan jenis kerusakan (*distress type*) dan penyebabnya, tingkat kerusakan (*distress severity*) dan jumlah kerusakan (*distress amount*). Beberapa studi memang menunjukkan bahwa kerusakan struktural jalan tidak semua disebabkan beban *overload*. Faktor perencanaan, pengawasan, pelaksanaan dan lingkungan juga memberikan kontribusi kerusakan. Tetapi beberapa sumber seperti Yoder (1975) menyatakan beban *overload* memberikan kontribusi 90% terhadap kerusakan struktural. Beberapa penelitian kerusakan jalan di Lintas Timur Sumatera (1995) menunjukkan 60% kerusakan disebabkan beban *overload*.

Mengacu kepada UU Jalan No. 38 tahun 2004 dan UU Lalulintas nomor 22 tahun 2009 serta kemampuan dana pemerintah, kapasitas konstruksi jalan yang mampu disediakan adalah MST (Muatan Sumbu Terberat) > 10 ton mencapai 13

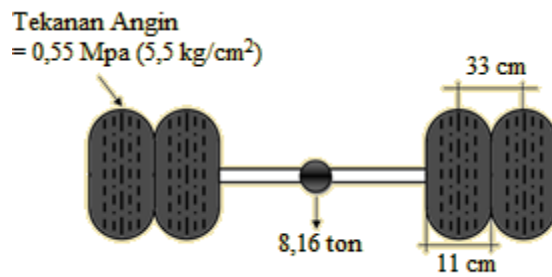
ton untuk jalan kelas I, MST 10 ton untuk jalan kelas II dan MST 8 ton untuk jalan kelas III. MST yang disediakan ini pada umumnya lebih rendah dari kenyataan MST yang ada di lapangan, sehingga terjadi pelanggaran (*overload*). Penyimpangan beban lalu lintas terjadi jika kendaraan berat (dalam hal ini truk atau tronton) mengangkut muatan melebihi daya angkut yang diijinkan.

Dampak yang timbul akibat penyimpangan beban tersebut adalah:

1. Angka ekivalen bertambah besar.
2. Biaya operasi kendaraan bertambah besar.
3. Percepatan kendaraan berkurang.
4. Tahanan gelinding pada kendaraan bertambah besar.

2.2.6. Angka Ekivalen Beban Sumbu

Konstruksi perkerasan jalan menerima beban lalu lintas yang dilimpahkan dari roda-roda kendaraan. Besarannya beban yang dilimpahkan beban tersebut tergantung dari berat total berat kendaraan, konfigurasi sumbu, bidang kontak antara roda dan perkerasan, kecepatan kendaraan, dan lain-lain. Sehingga efek tiap kendaraan terhadap kerusakan berbeda-beda oleh karena itu perlu adanya beban standar sehingga semua beban lainnya dapat disertakan dengan beban standar tersebut yang merupakan beban sumbu tunggal beroda ganda seberat 18.000 lbs (8,16 ton).



Gambar 2.4. Sumbu Standar 18.000 lbs (18,6 ton)

BINA MARGA memberikan rumus ekivalen beban sumbu sebagai berikut :

$$E \text{ sumbu tunggal} = \left(\frac{\text{beban sumbu tunggal (kg)}}{8160} \right)^4 \dots\dots\dots (2.1)$$

$$E \text{ sumbu ganda} = \left(\frac{\text{beban sumbu ganda (kg)}}{8160} \right)^4 \times 0,086 \dots\dots\dots (2.2)$$

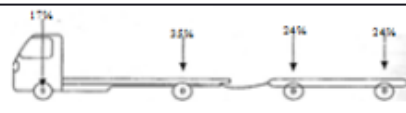
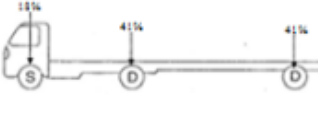
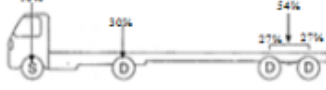
2.2.7. Angka Ekivalen Kendaraan

Berat kendaraan dilimpahkan ke perkerasan jalan melalui roda kendaraan yang terletak di ujung-ujung sumbu kendaraan. Setiap jenis kendaraan mempunyai konfigurasi sumbu yang berbeda-beda. Sumbu depan merupakan sumbu tunggal roda tunggal, sedangkan sumbu belakang dapat berupa sumbu tunggal ataupun sumbu ganda. Dengan demikian setiap jenis kendaraan akan mempunyai angka ekivalen yang merupakan jumlah angka ekivalen dari sumbu depan dan sumbu belakang. Beban oleh masing-masing sumbu dipengaruhi oleh letak titik kendaraan yang bervariasi sesuai dengan muatan dari kendaraan tersebut.

Menurut Bina Marga :

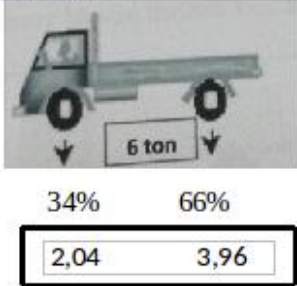
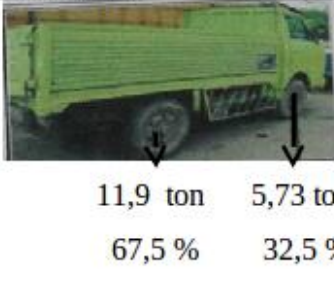
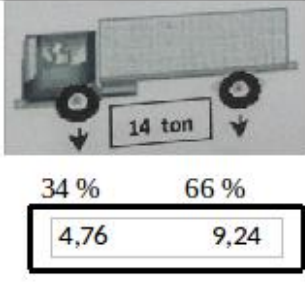
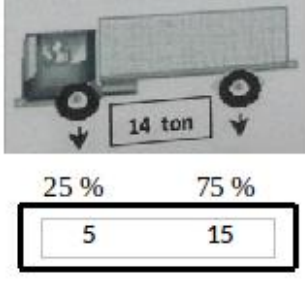
$$E_{\text{truk kosong}} (E_{\text{truk}}) = E_{\text{sumbu depan}} + E_{\text{sumbu belakang}} \dots\dots\dots (2.3)$$

Tabel 2.1. Konfigurasi Roda Kendaraan dan Angka Ekuivalen 8,16

Konfigurasi Sumbu & Tipe	Berat Kosong (ton)	Beban Muatan Maksimum (ton)	Berat Total Maksimum (ton)	AE 8,16 ton (=E) Muatan Kosong	AE 8,16 ton (=E) Muatan Maksimum	Keterangan : Roda tunggal pada ujung sumbu Roda ganda pada ujung sumbu
1.1 MP	1,5	0,5	2,0	0,0001	0,0004	
1.2 BUS	3	6	9	0,0037	0,3006	
1.2L Truck	2,3	6	8,3	0,0013	0,2174	
1.2H Truck	4,2	14	18,2	0,0143	5,0264	
1.22 Truck	5	20	25	0,0044	2,7416	
1.2+2. 2 Trailer	6,4	25	31,4	0,0085	4,9283	
1.2-2	6,2	20	26,2	0,0192	6,1179	
1.2-22 Trailer	10	32	42	0,0327	10,183	

(Sumber : Departemen Perguruan Tinggi Swasta, 1997)

Beberapa ilustrasi kendaraan dengan muatan lebih dan perhitungan beban perkerasan jalan yang ditemukan di lapangan disajikan dalam gambar berikut :

Jenis Kendaraan	Normal	Modifikasi
STRT	 34% 66% 2,04 3,96	 11,9 ton 5,73 ton 67,5 % 32,5 %
STRG	 34 % 66 % 4,76 9,24	 21,1 ton 7,03 ton 75,1 % 24,9 %
SDRG	 25 % 75 % 5 15	 19,8 ton 5,5 ton 78,26 % 21,74 %

Gambar 2.5. Ilustrasi Beban Overload Kendaraan Truk Modifikasi

(Sumber: Hasil Penelitian Tugas Akhir Peggy Palasethena, 2010)

Kerusakan jalan akibat beban muatan lebih selain menyebabkan tambahan biaya (*additional cost*) terhadap biaya penanganan kerusakan, juga menyebabkan tambahan biaya operasional kendaraan itu sendiri.

Menurut “Petunjuk Perencanaan Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen” Departemen Pekerjaan Umum, SKBI-2.3.26.1987

Tabel 2.2. Kerusakan akibat sumbu Tungga

BERAT SUMBU (TON)	ANGKA EKIVALEN	KELEBIHAN BEBAN (%)	KERUSAKAN (%)
1	0,0002	-	0,02
2	0,0036	-	0,36
3	0,0183	-	1,83
4	0,0577	-	5,77
5	0,0141	-	14
6	0,2923	-	29
7	0,5415	-	54
8	0,9238	-	92
8,16	1	0	100
9	1,4798	10,29	147
10	2,2555	22,55	225
11	3,3023	34,80	330
12	4,67	47,06	467
13	6,4419	59,31	644
14	8,6647	71,57	866
15	11,4184	83,82	1.141
16	14,7815	96,08	1.478
17	18,838	108,33	1.883
18	23,6771	120,59	2.367
19	29,3937	132,84	2.939
20	36,0877	145,10	3.608

Apabila suatu jalan raya telah direncanakan untuk dilalui oleh kendaraan berat truk dengan beban total maksimum 12 ton umur rencana 10 tahun tetapi pada kenyataan di lapangan truk tersebut mengangkut muatan lebih 10 ton menjadi 18 ton.

Perbandingan kerusakan yang terjadi adalah :

$$\frac{E1}{E2} = \frac{\left\{ \frac{0,34 (12000)}{8160} \right\}^4 + \left\{ \frac{0,66 (12000)}{8160} \right\}^4}{\left\{ \frac{0,34 (23000)}{8160} \right\}^4 + \left\{ \frac{0,66 (23000)}{8160} \right\}^4}$$

$$\frac{E1}{E2} = \frac{1,03}{2,70} = \frac{1}{2,62}$$

Kalau beban 12 ton (MST 8,16 T) merusak 1 kali maka beban 23 ton telah merusak 262%. Kalau semula direncanakan 10 thn, maka akibat beban lebih 10 ton mengakibatkan jalan raya hanya tahan $10/2,62 = 3,82$ thn, kehilangan umur rencana 6,18 thn

2.2.8. Karakteristik Daya Dukung Tanah Dasar (DCP Test)

Hasil-hasil pengujian DCP hanya dapat digunakan secara langsung untuk memperkirakan nilai CBR bila saat pengujian kadar air tanah mendekati kadar air maksimum. Karena tidak selalu memungkinkan untuk merencanakan program pengujian selama musim hujan, maka untuk menentukan nilai CBR sebaiknya digunakan hasil uji CBR laboratorium rendaman dari contoh lapangan. Kecuali untuk tanah dengan kondisi berikut:

- a) Tanah rawa jenuh yang mempunyai sifat sulit untuk dipadatkan di lapangan. Untuk kasus ini CBR hasil laboratorium tidak relevan untuk digunakan. Pengukuran dengan DCP harus digunakan untuk mendapatkan nilai CBR.
- b) Lapisan lunak yang terletak lebih dari 200 mm di bawah muka tanah dasar desain. Kondisi ini sering terjadi pada daerah aluvial kering musiman. Kondisi ini harus diidentifikasi dengan pengujian DCP dan harus diperhitungkan dalam penentuan desain.

Data defleksi dapat juga digunakan untuk menentukan modulus tanah dasar, misalnya dengan menggunakan data LWD (light weight deflectometer), yang dianalisis baik dengan metode AASHTO atau metode desain mekanistik back calculation. Apabila digunakan data defleksi maupun DCP untuk kondisi tanah yang tidak jenuh, maka diperlukan perhitungan koreksi untuk variasi kelembaban musiman. Apabila tidak tersedia data, dan kelas jalan relatif rendah maka dapat digunakan faktor koreksi sebagai berikut :

1,3 (untuk defleksi), dan 0,7 (untuk CBR dari uji DCP).

Pendekatan yang membutuhkan pengukuran lapangan paling tidak selama musim hujan dan kering untuk menurunkan faktor koreksi dari hasil pengukuran berbagai musim tersebut. Pendekatan umum untuk desain pondasi dilakukan secara konservatif yaitu pada umumnya mengasumsikan kondisi basah dalam kepadatan sesuai spesifikasi.

2.2.9. Penentuan Segmen Seragam

Panjang rencana jalan harus dibagi dalam segmen – segmen yang seragam:

a) Apabila data yang cukup valid tersedia (minimal 8 data pengujian per segmen yang dianggap seragam), kumpulan data CBR segmen tersebut harus mempunyai koefisien variasi maksimum 25% (standar deviasi/nilai rata-rata) dan nilai tanah dasar karakteristik ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\text{CBR Karakteristik} = \text{CBR rata}^2 - 1.3 \times \text{standar deviasi}$$

b) Bila data tidak cukup tersedia, penentuan segmen seragam dilakukan melalui gabungan data DCP dan penilaian visual.

Nilai CBR karakteristik adalah nilai minimum dari:

- data CBR laboratorium rendaman 4 hari, atau
- data DCP, atau
- Nilai CBR asumsi yang ditentukan dari Chart Desain 1.

Jika tanah dasar langsung diatas tanah asli jenuh atau menjadi jenuh selama pelaksanaan dan tidak dapat dikeringkan sampai cukup untuk dapat dilakukan pemadatan secara mekanis, maka:

- Nilai CBR laboratorium tidak boleh digunakan untuk desain;
- Pondasi jalan harus termasuk lapisan penopang;
- Harus disiapkan separator geotekstil diantara tanah asli dan lapis penopang;

Bila dilakukan desain secara mekanistik, lapis penopang (capping layer) dianggap mempunyai Modulus Resilien 30 mpa (CBR 3%) dan tanah asli di bawah lapis penopang tersebut harus diperhitungkan mempunyai nilai modulus resilien 20 mpa. Geotekstil harus dipasang di bawah lapis penopang (capping layer) langsung

pada tanah yang jenuh. Penggunaan geotekstil/geogrid dapat digunakan bila terbukti mengakibatkan penghematan biaya atau keuntungan lain.

Untuk memeriksa desain dengan pedoman desain Pd T-01-2002-B dan Pd T-14-2003, maka dibutuhkan data CBR. Jika solusi desain pondasi membutuhkan beberapa lapisan (perbaikan tanah dasar, lapis penopang, dan tanah dasar), maka untuk CBR tanah dasar ditentukan sebagai CBR ekuivalen sebagai :

$$\text{CBR ekuivalen} = \left\{ \sum h \text{CBR}^{0,333} \right\} / \sum h \Bigg\}^3$$

Dimana h = tinggi lapisan.

(tidak dapat digunakan untuk tanah aluvial berkepadatan rendah atau jenuh dan tanah gambut)

		LHRT <2000				LHRT ≥2000			
Zona Iklim		II, III, dan IV		I, II, III, dan IV		II, III, dan IV		I, II, III, dan IV	
Posisi		galian, dan timbunan tanpa drainase sempurna dantimbunan dengan FSL < 1000 mm diatas muka tanah asli		galian di zona iklim 1 Semua timbunan dengan drainase sempurna dan FSL > 1000 mm di atas tanah asli		galian, dan timbunan tanpa drainase sempurna dantimbunan dengan FSL < 1000 mm diatas muka tanah asli		galian di zona iklim 1 Semua limbunan dengan drainase sempurna dan FSL > 1000 mm di atas tanah asli	
Posisi muka air tanah rencana (Tabel 13)		Dibawah standar desain minimum	standar desain minimum	≥1200 mm di bawah formasi		Dibawah standar desain minimum	standar desain minimum	≥1200 mm di bawah formasi	
Jenis Tanah	PI	CBR Perkiraan (%)							
Lempung gemuk	50 - 70	2	2	2	2	2	2	2	2
Lempung lanauan	40	2.5	2.7	3	2.5	2.6	3		
	30	3	3.3	4	3.5	3.6	4		
Lempung pasir	20	4	4.3	5	4.5	4.8	5.5		
	10	4	4.3	5	4.5	5	6		
Lanau		1	1.3	2	1	1.3	2		
Tanah berbutir		Gunakan CBR Laboratorium (%)							

Timbunan / konstruksi kotak : mengacu pada sub bab 10.3.
FSL : finished surface level (sampai dengan bagian teratas perkerasan)
Formasi : bagian terbawah tanah dasar

Gambar 2.6. Chart Desain Perkiraan Nilai CBR Tanah Dasar

(Sumber Manual Desain Perkerasan Jalan Dijen Bina Marga No.22.2/KPTS/2012)

CBR Tanah Dasar Chart 1 atau tanah dasar 100% MDD, dipadatkan rendaman 4 hari	Kelas Kekuatan Tanah Dasar	Prosedur desain pondasi	Deskripsi struktur pondasi (4)	Ialu lintas lajur desain umur rencana 40 tahun (juta CESA ₂)		
				< 2	2 - 4	> 4
				Tebal peningkatan tanah dasar minimum		
≥ 6	SG6	A	Perbaikan tanah dasar meliputi bahan stabilisasi kapur atau timbunan pilihan (pemadatan berlapis ≤200 mm tebal lepas)	Tidak perlu peningkatan		
5	SG5					
4	SG4			100	150	200
3	SG3			150	200	300
2.5	SG2.5			175	250	350
Tanah ekspansif (potential swell > 5%)		AE		400	500	600
≥ 1.5 (DCP insitu)	SG 1.5	AG ⁸	Geogrid + timbunan pilihan	400	500	600
< 1.5 ⁽¹⁾ (DCP insitu)	SG1 aluvial jenuh Tipikal CBR awal ≤ 1,5% di bawah lapis permukaan keras ⁽²⁾	B	Lapis penopang/ capping ⁽³⁾	1000	1100	1200
			Atau lapis penopang dan geogrid ⁽²⁾	650	750	850
Perkerasan lentur pada tanah aluvial kering ⁽⁶⁾		C1	Perbaikan tanah dasar atau timbunan dengan rendaman CBR ≥ 5 dalam 3 lapis ⁽⁵⁾	400	500	600
Perkerasan kaku pada tanah ad akel kepadatan rendah kering ⁽⁶⁾		C2	Perbaikan tanah dasar atau timbunan dengan CBR rendaman CBR ≥ 5 dengan tebal per lapis < 300 mm ⁽⁵⁾	1000	1100	1200
tanah gambut dengan HRS atau perkerasan DBST		D	Lapis penopang berbutir ⁽²⁾	1000	1250	1500

(1) Nilai insitu CBR rendaman tidak dapat dilaksanakan.

(2) Lihat tulisan untuk kasus aluvial kering (Metode C).

(3) Diatas lapis penopang agar ditambahkan lapis timbunan pilihan dengan mengacu ad kelas kekuatan tanah dasar SG 2,5.

(4) Ketentuan tambahan mungkin berlaku, perencanaan harus mempertimbangkan semua isu kritis.

(5) Stabilisasi kapur/material timbunan biasa bisa digunakan.

(6) Ditanda oleh kepadatan rendah dan CBR insitu rendaman rendah di bawah daerah yang dipadatkan.

(7) Jika didalam gambar rencana tidak terdapat desain, solusi desain pondasi agar mengikuti ketentuan dalam Spesifikasi Umum.

(8) Solusi AG dapat diaplikasikan hanya jika lapis yang dipilih dapat dipadatkan, jika tidak gunakan solusi B.

Gambar 2.7. Chart Desain Solusi Desain Jalan Minimum

(Sumber Manual Desain Perkerasan Jalan Dijen Bina Marga No.22.2/KPTS/2012)

2.2.10. Penelitian landutan atau Benkelman Beam Test

Penelitian Lendutan Jalan dengan Benkelman Beam bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai lendutan balik dari konstruksi perkerasan aspal yang ada. Metode ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pengujian perkerasan jalan yaitu mengukur gerakan vertikal pada permukaan lapis jalan dengan cara mengatur pemberian beban roda yang diakibatkan oleh beban tertentu dengan tujuan untuk memperoleh data di lapangan yang akan bermanfaat bagi penilaian struktur peramalan performance perkerasan dan perencanaan overlay. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam survei ini adalah :

1. Truck Fuso

Truck yang digunakan harus mempunyai dua gandar. Disamping juga harus mampu bergerak dengan aman dan tangguh pada jalan yang menanjak serta

jalan bergelombang yang akan dialami selama Survei, dengan membawa beban tidak kurang dari 8,2 ton pada gandar belakang dengan tekanan roda 80 Psi. Sebelum pelaksanaan survei dilakukan penimbangan terhadap beban truk. Pengukuran beban gandar belakang harus dilakukan dengan menggunakan jembatan timbang atau dengan alat lain yang telah terbukti dapat dipakai untuk pengukuran beban gandar.

2. Rambu Peringatan

Rambu peringatan dipergunakan untuk mengantisipasi munculnya permasalahan lalu lintas saat pelaksanaan survei. Selain itu perlu disediakan personil untuk mengatur lalu lintas yang terganggu akibat pelaksanaan survei.

3. Interval Pengambilan Data

Pemeriksaan lendutan balik dilakukan dengan interval pemeriksaan maksimal setiap 200 m dengan variasi acak antara roda kiri dan kanan serta lajur kiri dan lajur kanan sepanjang ruas jalan beraspal yang telah ditetapkan

Survei perkerasan jalan bertujuan untuk mengetahui nilai struktural yang sudah ada. Untuk perkerasan jalan aspal yang masih utuh, pengukuran nilai sisa perkerasan dilakukan dengan mengukur lendutan balik dengan alat Benkelmen Beam.

2.2.11. Struktur dan jenis perkerasan kaku atau beton semen

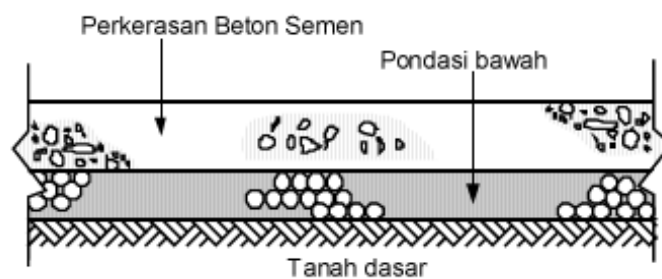
Perkerasan beton semen dibedakan ke dalam 4 jenis :

- Perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan
- Perkerasan beton semen bersambung dengan tulangan

- Perkerasan beton semen menerus dengan tulangan
- Perkerasan beton semen pra-tegang

Jenis perkerasan beton semen pra-tegang tidak dibahas dalam pedoman ini.

Perkerasan beton semen adalah struktur yang terdiri atas pelat beton semen yang bersambung (tidak menerus) tanpa atau dengan tulangan, atau menerus dengan tulangan, terletak di atas lapis pondasi bawah atau tanah dasar, tanpa atau dengan lapis permukaan beraspal. Struktur perkerasan beton semen secara tipikal sebagaimana terlihat pada Gambar.



Gambar 2.8. Tipikal struktur perkerasan beton semen

(Sumber: Pedoman perencanaan perkerasan jalan beton semen Pd-T-14-2003)

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

- Mengendalikan pengaruh kembang susut tanah dasar.

- Mencegah intrusi dan pemompaan pada sambungan, retakan dan tepi-tepi pelat.
- Memberikan dukungan yang mantap dan seragam pada pelat.
- Sebagai perkerasan lantai kerja selama pelaksanaan.

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

2.2.12. Fungsi Lapisan Perkerasan Kaku

Dapat diuraikan bahwa fungsi dari lapisan pondasi atau pondasi bawah adalah :

1. Menyediakan lapisan yang seragam, stabil dan permanen
2. Menaikkan harga Modulus Reaksi Tanah Dasar (Modulus of Sub-grade Reaction = k), menjadi Modulus Reaksi Komposit (Modulus of Composite Reaction)
3. Melindungi gejala pumping butir-butiran halus tanah pada daerah sambungan, retakan dan ujung samping perkerasan
4. Mengurangi terjadinya keretakan pada pelat beton
5. Menyediakan lantai kerja

Pumping adalah proses keluarnya air dan butiran-butiran tanah dasar atau pondasi bawah melalui sambungan dan retakan atau pada bagian pinggir perkerasan, akibat lendutan atau gerakan vertikal pelat karena beban lalu lintas, setelah adanya air bebas yang terakumulasi dibawah pelat.

Lapisan perkerasan beton dapat diklasifikasikan atas 2 tipe sebagai berikut:

1. Perkerasan beton dengan tulangan dowel dan tie bar
2. Perkerasan beton bertulang menerus terdiri dari prosentase besi yang relatif cukup banyak dan tidak ada siar kecuali untuk keperluan pelaksanaan konstruksi dan beberapa siar muai.

Perbedaan utama antara perkerasan kaku dan perkerasan lentur bisa dilihat pada table 2.3. dibawah ini :

Tabel 2.3. Perbedaan Utama Perkerasan Kaku dan Perkerasan Lentur

No.	Uraian	Perkerasan Lentur	Perkerasan Kaku
1.	Bahan Pengikat	Aspal	Semen
2.	Repetisi beban	Timbul <i>rutting</i> (lendutan pada jalur roda)	Timbul retak-retak pada permukaan
3.	Penurunan tanah dasar	Jalan bergelombang (mengikuti tanah dasar)	Bersifat sebagai balok di atas perletakan
4.	Perubahan temperatur	Modulus kekakuan berubah, timbul tegangan dalam yang kecil	Modulus kekakuan tidak berubah timbul tegangan dalam yang besar

(Sumber: Pedoman perencanaan perkerasan jalan beton semen Pd-T-14-2003)

2.2.13. Susunan Perkerasan Kaku (Rigid Pavement)

Perkerasan kaku terdiri dari pelat beton semen portland dan lapisan pondasi (bisa juga tidak ada) diatas tanah dasar. Perkerasan beton yang kaku dan memiliki modulus elastisitas yang tinggi, akan mendistribusikan beban terhadap

bidang area tanah yang cukup luas, sehingga bagian terbesar dari kapasitas struktur perkerasan diperoleh dari slab beton sendiri. Hal ini berbeda dengan perkerasan lentur dimana kekuatan perkerasan diperoleh dari lapisan lapisan tebal pondasi bawah, pondasi dan lapisan permukaan.

- Lapisan.atas.
- Lapisan.Pondasi.atas.
- Lapisan.pondasi.bawah.
- Subgrade.
- Lapisan.antara.

Karena yang paling penting adalah mengetahui kapasitas struktur yang menanggung beban, maka faktor yang paling diperhatikan dalam perancangan perkerasan kaku adalah kekuatan beton itu sendiri. Adanya beragam kekuatan dari tanah dasar dan atau pondasi hanya berpengaruh kecil terhadap kapasitas struktural perkerasannya (tebal pelat beton), tetapi untuk desain badan jalan (tanah dasar) perlu kajian geoteknik tersendiri jika ditemukan klasifikasi tanah yang masuk kategori tidak baik sebagai tanah dasar.

Lapisan pondasi atau kadang-kadang dianggap sebagai lapisan pondasi bawah jika digunakan dibawah perkerasan beton karena beberapa pertimbangan yaitu untuk kendali terhadap terjadinya pumping, kendali terhadap sistem drainase (drainase bawah perkerasan), kendali terhadap kembang susut yang terjadi pada tanah dasar, untuk mempercepat pekerjaan konstruksi, serta menjaga kerataan dasar dari pelat beton.

2.2.14. Keuntungan dan kerugian flexible pavement dengan Rigid Pavement

Pemilihan penggunaan jenis perkerasan kaku dibandingkan dengan perkerasan lentur berdasarkan keuntungan dan kerugian masing-masing jenis perkerasan tersebut. Perbedaan antara perkerasan kaku dengan perkerasan lentur dapat dilihat pada table 4.2 berikut :

Tabel 2.4. Perbedaan Perkerasan Lentur dan Perkerasan Kaku

No.	Perkerasan kaku	Perkerasan Lentur
1	Kebanyakan digunakan hanya pada jalan kelas tinggi, serta pada perkerasan lapangan terbang. (-)	Dapat digunakan untuk semua tingkat volume lalu lintas. (+)
2	Job mix lebih mudah dikendalikan kualitasnya. Modulus Elastisitas antara lapis pondasi permukaan dan pondasi sangat berbeda. (+)	Kendali kualitas untuk job mix lebih rumit. (-)
3	Dapat lebih bertahan terhadap kondisi drainasi yang lebih buruk. (+)	Sulit bertahan terhadap kondisi drainase yang buruk. (-)
4	Umur rencana dapat mencapai 20 tahun. (+)	Umur rencana relatif pendek : 5 – 10 tahun. (-)
5	Jika terjadi kerusakan maka kerusakan tersebut cepat dan dalam waktu singkat. (-)	Kerusakan tidak merambat ke bagian konstruksi yang lain, kecuali jika perkerasan terendam air. (+)
6	Indeks pelayanan tetap baik hampir selama umur rencana, terutama jika <i>transverse joint</i> dikerjakan dan dipelihara dengan baik. (+)	Indeks pelayanan yang terbaik hanya pada saat selesai pelaksanaan konstruksi, setelah itu berkurang seiring dengan waktu dan frekuensi beban lalu lintasnya. (-)
7	Pada umumnya biaya awal konstruksi tinggi. Tetapi biaya awal hampir sama untuk jenis konstruksi jalan berkualitas tinggi dan tidak tertutup kemungkinan bisa lebih rendah. (-)	Pada umumnya biaya awal konstruksi rendah, terutama untuk jalan lokal dengan volume lalu lintas rendah. (+)
8	Biaya pemeliharaan relative tidak ada. (+)	Biaya pemeliharaan yang dikeluarkan, mencapai lebih kurang dua kali lebih besar dari pada perkerasan kaku. (-)
9	Agak sulit untuk menetapkan saat yang tepat untuk melakukan pelapisan ulang. (-)	Pelapisan ulang dapat dilaksanakan pada semua tingkat ketebalan perkerasan yang diperlukan, dan lebih mudah menentukan perkiraan pelapisan ulang. (+)
10	Kekuatan konstruksi perkerasan kaku lenih ditentukan	Kekuatan konstruksi perkerasan

	oleh kekuatan pelat beton sendiri (tanah dasar tidak begitu menentukan). (+)	lentur ditentukan oleh tebal setiap lapisan dan daya dukung tanah dasar. (-)
11	Tebal konstruksi perkerasan kaku adalah tebal pelat beton tidak termasuk pondasi. (-)	Tebal konstruksi perkerasan lentur adalah tebal seluruh lapisan yang ada diatas tanah dasar. (+)
12	Bila dibebani praktis tdk melentur (kecil). (-)	Bila dibebani melentur. Beban hilang, lenturan kembali. (+)

(Sumber: Pedoman perencanaan perkerasan jalan beton semen Pd-T-14-2003)

2.2.15. Penanganan Perkerasan Jalan

Menurut Kementerian Pekerjaan Umum (2013) salah satu kriteria desain yang baik adalah desain tersebut merupakan life cycle cost yang minimum. Untuk dapat memperoleh desain dengan life cycle cost minimum, ada banyak faktor yang perlu dipertimbangkan. Faktor-faktor penting yang perlu dipertimbangkan untuk memperoleh desain penanganan antara lain beban lalu lintas, nilai kerataan (IRI), kapasitas struktur perkerasan eksisting (yang diperoleh dari survei FWD atau BB) dan kerusakan.

Manual Desain Perkerasan Nomor 2013 menyediakan metode pemilihan jenis penanganan terbaik untuk perkerasan lentur dengan mempertimbangkan faktor-faktor dalam penentuan jenis penanganan. Tabel 2.5 berikut ini menyajikan pemilihan jenis penanganan untuk beban lalu lintas < 1 juta ESA nilai IRI, Kapasitas Struktur, dan kerusakan sebagai pemicu. Besaran nilai pemicu yang digunakan, dapat dilihat pada Tabel 2.6. Tabel 2.6. memberikan nilai pemicu untuk ketidak-rataan (nilai IRI), sedangkan Tabel 3 memberikan nilai pemicu lendutan (FWD dan BB).

Tabel 2.5 Pemilihan Jenis Penanganan Jalan pada Tahap Desain untuk perkerasan lentur Existing dan Beban Lalu lintas < Juta ESA

No.	Penanganan	Pemicu untuk setiap segmen yang seragam
1	Hanya pemeliharaan rutin preventif	IRI di bawah pemicu IRI 1, luas kerusakan serius <5% Terhadap total area
2	Penambahan berat (<i>Heavy Patching</i>)	Lendutan melebihi pemicu lendutan 2 atau permukaan rusak parah dan luas area dari seluruh segmen jalan yang membutuhkan <i>heavy patching</i> tidak lebih dari 30% total area (jika lebih besar lihat 5 atau 6)
3	Kupas dang anti material di area tertentu	Dibutuhkan jika elevasi harus sama dengan elevasi struktur atau kereb, dll, jika kondisi perkerasan eksisting memiliki alur cukup dalam dan retak cukup parah.
4	Lapis Tambah	Pemicu IRI 1 dilampaui.
5	Rekonstruksi	Lendutan Pemicu 2 dilampaui, tebal lapisan aspal < 10 cm, atau <i>heavy patching</i> lebih dari 30% total area, atau dinilai lebih dipilih atau lebih murah daripada daur ulang.
6	Daur Ulang	Lendutan diatas lendutan pemicu 2, lapisan aspal > 10 cm atau <i>heavy patching</i> lebih dari 30% total area.

Tabel 2.6. Pemicu Ketidak-rataan untuk Lapis tambah dan Rekonstruksi

Lalu lintas untuk 10 tahun (juta ESA /lajur)	Jenis Lapis Permukaan	Lendutan Pemicu untuk Lapis Tambah (Lendutan Pemicu 1)		Lendutan Pemicu untuk investigasi untuk Rekonstruksi atau Daur Ulang (Lendutan Pemicu 2)	
		Lendutan karakteristik Benkelman Beam (mm) ³	Kurva FWD d ₁ -d ₂ (mm)	Lendutan karakteristik Benkelman Beam (mm) ⁴	Kurva FWD d ₁ -d ₂ (mm)
<0,1	HRS	>2,3	Tidak digunakan	>3,0	Tidak digunakan
0,1 – 0,2	HRS	>2,1	0,63		
0,2 – 0,5	HRS	>2,0	0,48	>2,7	
0,5 - 1	HRS	>1,5	0,39	> 2,5	0,66
1-2	HRS	>1,3	0,31		0,54
2-3	AC	>1,25	0,28		0,46
2-5	AC	>1,2	0,23		0,39
5-7	AC	>1,15	0,21		0,35
7-10	AC	>1,1	0,19		0,31
10-30	AC	>0,95	0,13	1,35	0,180
30 - 50	AC / perkerasan kaku	>0,88	0,11	1,2	0,175
50 - 100	AC / perkerasan kaku	>0,8	0,091	1,0	0,170
100 - 200	AC / perkerasan kaku	>0,75	0,082	0,9	0,160

2.2.16. Perencanaan perkerasan jalan beton semen

Pedoman ini mencakup dasar-dasar ketentuan perencanaan perkerasan jalan, yaitu :

1. Analisis kekuatan tanah dasar dan lapis pondasi.
2. Perhitungan beban dan komposisi lalu-lintas.
3. Analisis kekuatan beton semen untuk perkerasan

Pedoman Perkerasan Beton semen ini menguraikan Prosedur Perencanaan Tebal Perkerasan dan contoh Perhitungan. Perkerasan beton semen pra-tegang tidak

termasuk di dalam buku ini. Prosedur ini tidak direkomendasikan untuk perencanaan tebal perkerasan di daerah permukiman dan kawasan industri.

Pedoman ini dimaksudkan untuk merencanakan perkerasan beton semen untuk jalan yang melayani lalu-lintas rencana lebih dari satu juta sumbu kendaraan niaga.

Metode perencanaan didasarkan pada :

- Perkiraan lalu-lintas dan komposisinya selama umur rencana.
- Kekuatan tanah dasar yang dinyatakan dengan CBR (%).
- Kekuatan beton yang digunakan
- Jenis bahu jalan.
- Jenis perkerasan.
- Jenis penyaluran beban.

2.2.16.1. Persyaratan teknis

2.2.16.1.1. Tanah dasar

Daya dukung tanah dasar ditentukan dengan pengujian CBR insitu sesuai dengan SNI 03- 1731-1989 atau CBR laboratorium sesuai dengan SNI 03- 1744-1989, masing-masing untuk perencanaan tebal perkerasan lama dan perkerasan jalan baru. Apabila tanah dasar mempunyai nilai CBR lebih kecil dari 2 %, maka harus dipasang pondasi bawah yang terbuat dari beton kurus (Lean-Mix Concrete) setebal 15 cm yang dianggap mempunyai nilai CBR tanah dasar efektif 5 %.

2.2.16.1.2. Pondasi bawah

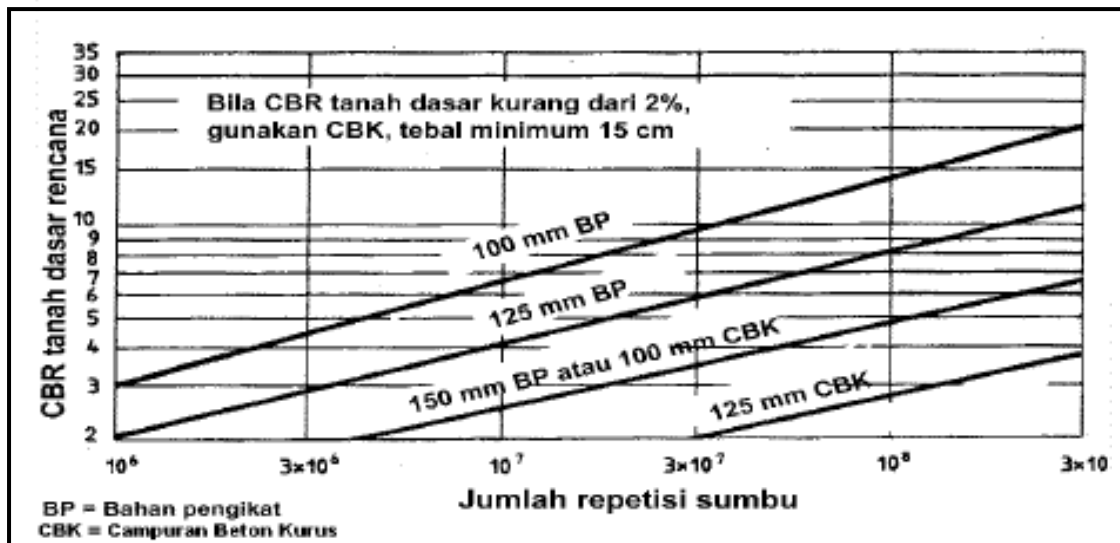
Bahan pondasi bawah dapat berupa :

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

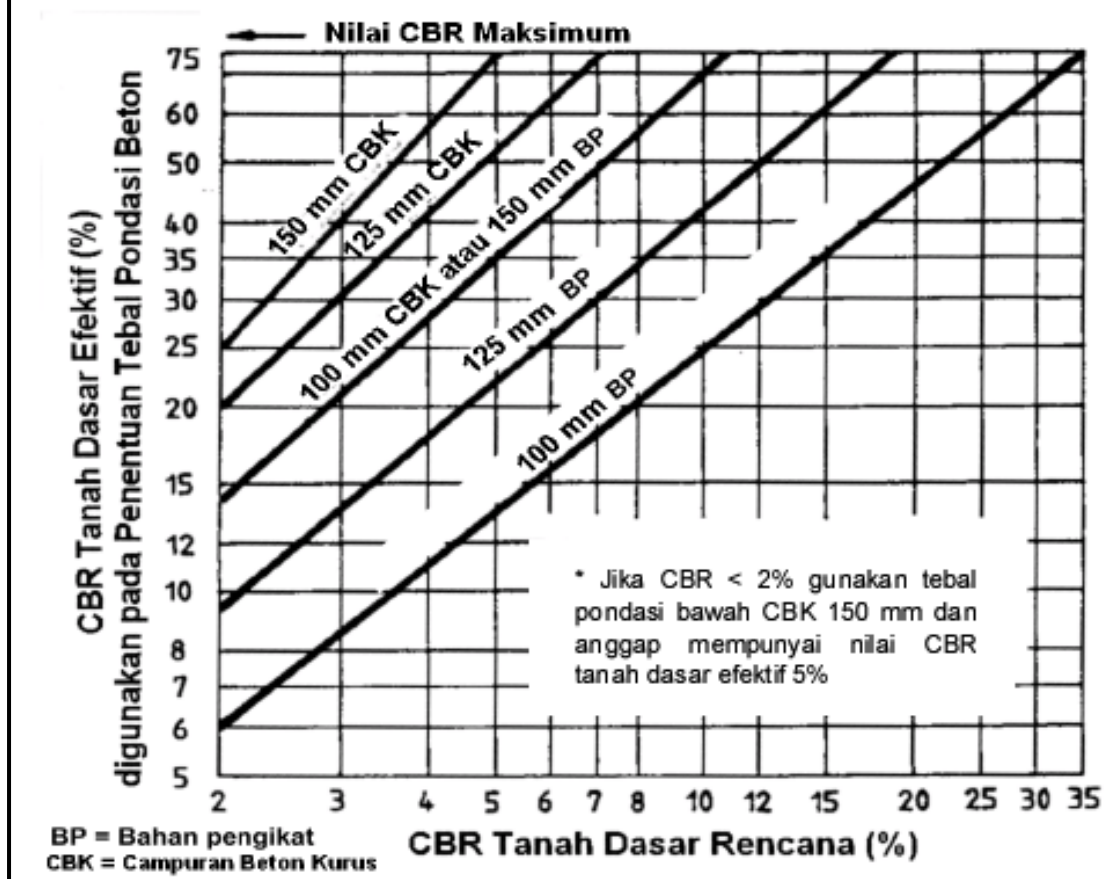
Lapis pondasi bawah perlu diperlebar sampai 60 cm diluar tepi perkerasan beton semen.

Untuk tanah ekspansif perlu pertimbangan khusus perihal jenis dan penentuan lebar lapisan pondasi dengan memperhitungkan tegangan pengembangan yang mungkin timbul. Pemasangan lapis pondasi dengan lebar sampai ke tepi luar lebar jalan merupakan salah satu cara untuk mereduksi perilaku tanah ekspansif.

Tebal lapisan pondasi minimum 10 cm yang paling sedikit mempunyai mutu sesuai dengan SNI No. 03-6388-2000 dan AASHTO M-155 serta SNI 03-1743-1989. Bila direncanakan perkerasan beton semen bersambung tanpa ruji, pondasi bawah harus menggunakan campuran beton kurus (CBK). Tebal lapis pondasi bawah minimum yang disarankan dapat dilihat pada Gambar 2.9. dan CBR tanah dasar efektif didapat dari Gambar 2.10.



Gambar 2.9. Tebal Pondasi minimum untuk perkerasan beton semen



Gambar 2.10. CBR tanah dasar efektif dan pondasi bawah

(Sumber: Pedoman perencanaan perkerasan jalan beton semen Pd-T-14-2003)

2.2.16.1.3. Beton semen

Kekuatan beton harus dinyatakan dalam nilai kuat tarik lentur (flexural strength) umur 28 hari, yang didapat dari hasil pengujian balok dengan pembebanan tiga titik (ASTM C-78) yang besarnya secara tipikal sekitar 3–5 MPa (30-50 kg/cm²).

Kuat tarik lentur beton yang diperkuat dengan bahan serat penguat seperti serat baja, aramit atau serat karbon, harus mencapai kuat tarik lentur 5–5,5 MPa (50-55 kg/cm²). Kekuatan rencana harus dinyatakan dengan kuat tarik lentur karakteristik yang dibulatkan hingga 0,25 MPa (2,5 kg/cm²) terdekat. Hubungan antara kuat tekan karakteristik dengan kuat tarik-lentur beton dapat didekati dengan rumus berikut :

$$f_{cf} = K (f_c^{1'})^{0,50} \text{ dalam Mpa atau } \dots\dots\dots (2.5)$$

$$f_{cf} = 3,13 K (f_c^{1'})^{0,50} \text{ dalam kg/cm}^2 \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan pengertian :

$f_c^{1'}$: kuat tekan beton karakteristik 28 hari (kg/cm²)

f_{cf} : kuat tarik lentur beton 28 hari (kg/cm²)

K : konstanta, 0,7 untuk agregat tidak dipecah dan 0,75 untuk agregat pecah.

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

$$f_{cf} = 1,37.f_{cs}, \text{ dalam MPa atau } \dots\dots\dots (2.7)$$

$$f_{cf} = 13,44.f_{cs}, \text{ dalam kg/cm}^2 \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan pengertian :

f_{cs} : kuat tarik belah beton 28 hari

Beton dapat diperkuat dengan serat baja (steel-fibre) untuk meningkatkan kuat tarik lenturnya dan mengendalikan retak pada pelat khususnya untuk bentuk tidak lazim. Serat baja dapat digunakan pada campuran beton, untuk jalan plaza tol, putaran dan perhentian bus. Panjang serat baja antara 15 mm dan 50 mm yang bagian ujungnya melebar sebagai angker dan/atau sekrup penguat untuk meningkatkan ikatan. Secara tipikal serat dengan panjang antara 15 dan 50 mm dapat ditambahkan ke dalam adukan beton, masing-masing sebanyak 75 dan 45 kg/m³. Semen yang akan digunakan untuk pekerjaan beton harus dipilih dan sesuai dengan lingkungan dimana perkerasan akan dilaksanakan.

2.2.16.1.3.1 Elemen Pelat Beton

Pelat beton terbuat dari beton semen mempunyai mutu tinggi, yang dicor diatas pondasi bawah. Elemen pelat beton dibuat dari bahan yang biasa dipergunakan untuk konstruksi beton, seperti diuraikan di bawah ini.

a. Semen

Semen yang digunakan merupakan jenis semen Portland.

b. Air

Air yang digunakan untuk mencampur, merawat atau pemakaian lain, harus bebas dari minyak, garam asam, alkali, gula, tumbuhan atau bahan lain yang merugikan hasil akhir.

c. Agregat

Sifat Agregat seperti pada Tabel 2.7 dan 2.8.

d. Campuran beton

Persyaratan sifat campuran beton, sesuai spesifikasi pada Table 2.3. Beton yang digunakan harus mempunyai kekuatan lentur beton minimum 45 kg/cm^2 .

Kekuatan struktur beton umumnya dinilai dari kekuatan nilai kuat tekan. Namun untuk struktur perkerasan kaku factor kekuatan ditentukan oleh parameter Nilai Kuat Tarik Lentur, karena pada pelat beton dengan perbandingan panjang dan lebar yang besar tekanan pada beton relatif kecil, sedangkan lenturan yang menyebabkan gaya tarik cukup besar.

Tabel 2.7. Sifat agregat beton

Sifat	Pengujian AASHTO	Batas maksimum yang diijinkan	
		Agregat halus	Agregat kasar
Kehilangan akibat abrasi pada 500 putaran dengan mesin Los Angeles.	T 96	—	40 %
Kehilangan akibat penentuan kualitas dengan Sodium Sulfat setelah 5 siklus.	T 104	10%	12 %
Persentase gumpalan tanah liat dan partikel yang dapat pecah dalam agregat.	T 112	0,50 %	0,25 %
Bahan-bahan yang lolos ayakan #200.	T 11	3 %	1 %

(Sumber : Hamirhan Saodang, 2005)

Tabel 2.8. Persyaratan gradasi agregat beton

Ukuran Ayakan		Persentase Berat Yang Lolos				
Standar (mm)	Inch (in)	Agregat Halus			Pilihan Agregat Kasar	
50	2	–	100	–	–	–
37	1,5	–	95-100	100	–	–
25	1	–	–	95-100	100	–
19	$\frac{3}{4}$	–	35-70	–	90-100	100
13	$\frac{1}{2}$	–	–	25-60	–	90-100
10	$\frac{3}{8}$	100	10-30	–	20-55	40-70
4,75	#4	95-100	0-5	0-10	0-10	0-15
2,36	#8	–	–	0-5	0-5	0-5
1,18	#16	45-80	–	–	–	–
0,30	#50	10-30	–	–	–	–
0,15	#100	2-10	–	–	–	–

(Sumber: Hamirhan Saodang, 2005)

e. Batang tulangan

Batang tulangan yang dipakai merupakan baja polos atau baja berulir dengan mutu BJTU-24. Diameter batang tulangan yang dipakai bervariasi tergantung beban kerja, namun umumnya adalah diameter 16 mm, 19 mm atau 25 mm, dengan masing-masing selimut beton yang dipakai 3,5 mm, 5 mm, 6 mm.

f. Bahan untuk pelindung

Pemeliharaan dan perbaikan beton selama dan setelah pelaksanaan. Jenis bahan yang digunakan *joint sealant*, *curing compound* dan *epoxy*. *Joint sealant* merupakan bahan pengisi siar atau alur pada sambungan dapat berupa bahan *silicone*, *acrylic*, *polyurethane*, *elastomer* dan lain-lain.

Tabel 2.9. Persyaratan sifat campuran beton

Mutu Beton	Kuat Tekan Karakteristik min. (kg/cm ²)				Slump (mm)	
	Benda Uji Kubus 15 x 15 x 15 cm		Benda Uji Silinder 15 cm x 30 cm		Digetarkan	Tidak Digetarkan
	7 hari	28 hari	7 hari	28 hari		
K600	390	600	325	500	20 – 50	–
K500	325	500	260	400	20 – 50	–
K400	285	400	240	330	20 – 50	–
K350	250	350	210	290	20 – 50	50 – 100
K300	215	300	180	250	20 – 50	50 – 100
K250	180	250	150	210	20 – 50	50 – 100
K225	150	225	125	190	20 – 50	50 – 100
K175	115	175	95	145	30 – 60	50 – 100
K150	105	150	90	125	30 – 60	50 – 100

(Sumber : Hamirhan Saodang, 2005)

2.2.16.1.3.2. Slump Beton

Parameter *slump* beton merupakan indikator dari keenceran beton. Secara tinjauan pelaksanaan angka *slump* menunjukkan kemudahan pengerjaan. Makin encer beton makin mudah untuk dikerjakan, tapi kental encernya campuran mempunyai batasan tertentu, sesuai dari tipe konstruksi. Terlalu kental beton akan mudah mengalami getas mudah hancur, jika terlalu encer beton akan mudah mengalir dan mempunyai kekuatan yang rendah. Umumnya variasi nilai *slump* adalah 2,5 – 10cm.

Beberapa faktor yang mempengaruhi nilai *slump* adalah :

1. Kesulitan pencapaian akibat rumitnya tulangan
2. Jarak waktu angkut dari *plant* ke lokasi kerja
3. Apakah diperlukan *concrete pump*
4. Apakah digunakan bahan *additive*
5. Jenis peralatan

Nilai *slump* beton untuk perkerasan ditetapkan sebesar minimum 2,5 cm dan maksimum 5 cm. Perhatikan terutama jarak tempuh, katakan jarak tempuh 1 jam bisa mengakibatkan penurunan tinggi *slump* 2,5 cm atau jarak tempuh 10 menit bisa menurunkan tinggi *slump* 0,5 cm.

2.2.16.1.3.3. Tulangan pada Perkerasan Kaku

Secara fisik ada dua jenis tulangan yaitu tulangan pada pelat beton untuk memperkuat pelat, dan tulangan sambungan untuk menyambung bagian-bagian

pelat yang sengaja diputus. Kedua jenis tulangan tersebut mempunyai bentuk, posisi dan fungsi yang berbeda.

Penulangan pada perkerasan kaku mempunyai tujuan utama:

- a. Mengendalikan lebar retakan, agar kekuatan pelat sesuai rencana
- b. Memungkinkan bertambah panjangnya pelat, yang berarti mengurangi sambungan melintang, jadi meningkatkan kenyamanan pengendara.
- c. Mengurangi biaya pemeliharaan.

2.2.16.1.3.4. Sambungan (*Joint*)

Sambungan melintang berfungsi untuk mengakomodir gerakan kembang susut, sedangkan sambungan memanjang berfungsi untuk mengakomodir gerakan melenting dari pelat beton, akibat perubahan temperatur terutama pada waktu siang dan malam hari.

Fungsi lain dari sambungan adalah mengendalikan atau lebih tepat dikatakan mengarahkan retak pada pelat beton akibat susut beton maupun melenting agar mengikuti bentuk maupun lokasi yang dikehendaki sesuai rancangan. Dengan pengendalian keretakan tersebut diharapkan retak akan terjadi pada lokasi yang teratur dan sudah disediakan yaitu pada posisi tulangan sambungan.

Pada sambungan melintang terdapat dua jenis sambungan yaitu sambungan susut dan sambungan pelaksanaan. Pada setiap celah sambungan harus diisi dengan *joint sealant* dari bahan khusus.

Jenis – jenis sambungan antara lain, yaitu :

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

Fungsi pemasangan memanjang adalah untuk mengendalikan terjadinya retak memanjang. Jarak antara sambungan memanjang sekitar 3-4 meter. Sambungan memanjang harus disertai tulangan dengan jenis batang ulir berdiameter 16 mm.

2. Sambungan Pelaksanaan Memanjang

Sambungan pelaksanaan memanjang umumnya dengan menggunakan gigi penguncian. Bentuk dan ukuran gigi pengunci dapat berbentuk trapesium atau setengah lingkaran.

3. Sambungan Susut Memanjang

Sambungan susut memanjang dapat dilakukan dengan salah satu cara dari dua metoda berikut, yaitu dengan melakukan penggergajian atau membentuk celah pada saat beton masih dalam kondisi plastis, dengan kedalaman $\frac{1}{3}$ dari tebal pelat.

4. Sambungan Susut dan Sambungan Pelaksanaan Melintang

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

5. Sambungan Susut Melintang

Jarak sambungan susut melintang untuk tipe perkerasan bersambung tanpa tulangan sekitar 4-5 meter, sedangkan untuk perkerasan bersambung dengan tulangan sejarak 8-15 meter. Untuk tipe perkerasan menerus dengan tulangan sesuai dengan kemampuan pelaksanaan.

Sambungan ini dilengkapi dengan batang ruji polos panjang 45 cm, jarak antar ruji 30 cm, lurus dan bebas dari tonjolan tajam yang akan mempengaruhi gerakan bebas pada saat pelat beton menyusut. Setengah panjang ruji polos harus dicat atau dilumuru dengan bahan anti lengket untuk menjamin tidak ada ikatan dengan beton.

6. Sambungan Pelaksanaan Melintang

Sambungan pelaksanaan melintang yang tidak dirancang sebelumnya, misalnya akibat darurat kerusakan alat dan lain-lain, harus menggunakan batang pengikat berulir. Sedang pada sambungan yang memang dirancang sebelumnya dapat menggunakan batang tulangan polos yang diletakkan di tengah pelat. Sambungan pelaksanaan tersebut diatas harus dilengkapi dengan batang pengikat berdiameter 16 mm, panjang 69 cm dan jarak 60 cm, untuk ketebalan pelat sampai 17 cm. Untuk tebal pelat > 17 cm ukuran batang pengikat berdiameter 20 mm, panjang 84 cm dan jarak 60 cm.

7. Sambungan Isolasi

Sambungan isolasi adalah sambungan yang memisahkan perkerasan dengan struktur lain misalnya *manhole* dari drainase, jembatan, tiang listrik, jalan lama, persimpangan dan lain-lain. Sambungan isolasi harus dilengkapi dengan bahan penutup setebal 5-7 mm dan sisanya diisi dengan bahan pengisi.

8. Penutup Sambungan

Penutup sambungan berfungsi untuk mencegah masuknya air, debu atau benda lain ke dalam sambungan yang dapat menyebabkan kerusakan berupa gompal dan atau pelat beton saling menekan keatas satu sama lain.

2.2.16.1.3.5. Sistem Penyalur Beban

a. Ruji (*Dowel*)

Batang ruji harus ditempatkan di tengah tebal pelat. Posisi ruji pada arah horizontal dan vertikal harus dijamin sejajar sumbu jalan dengan menggunakan perlengkapan atau dengan cara penempatan dengan mesin yang telah teruji.

b. Pelapis Ruji

Bagian batang ruji yang bisa bergerak bebas, harus dilapisi dengan bahan pencegah karat (korosi). Sesudah bahan pencegah korosi kering, maka bagian ini harus dilapisi dengan lapisan tipis pelumas (dengan cara penyapuan) segera sebelum ruji dipasang.

c. Pemasangan Perlengkapan Ruji

Perlengkapan pemasangan ruji (berupa rangkaian dudukan/*chair*) harus ditempatkan pada lapis pondasi bawah atau tanah dasar yang sudah disiapkan.

2.2.16.1.4. Lalu Lintas

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

Lalu-lintas harus dianalisis berdasarkan hasil perhitungan volume lalu-lintas dan konfigurasi sumbu, menggunakan data terakhir atau data 2 tahun terakhir.

Kendaraan yang ditinjau untuk perencanaan perkerasan beton semen adalah yang mempunyai berat total minimum 5 ton.

Konfigurasi sumbu untuk perencanaan terdiri atas 4 jenis kelompok sumbu sebagai berikut :

- Sumbu tunggal roda tunggal (STRT).
- Sumbu tunggal roda ganda (STRG).
- Sumbu tandem roda ganda (STdRG).
- Sumbu tridem roda ganda (STrRG).

2.2.16.1.4.1. 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 2.10

Tabel 2.10. Jumlah lajur berdasarkan lebar perkerasan dan koefisien distribusi (C) kendaraan niaga pada lajur rencana

Lebar perkerasan (Lp)	Jumlah Lajur (n1)	Koefisien	Distribusi
		1 Arah	2 Arah
$L_p < 5,50 \text{ m}$	1 lajur	1	1
$5,50 \text{ m} \leq L_p \leq 8,25 \text{ m}$	2 lajur	0,70	0,50
$8,25 \text{ m} \leq L_p \leq 11,25 \text{ m}$	3 lajur	0,50	0,475
$11,23 \text{ m} \leq L_p \leq 15,00 \text{ m}$	4 lajur	–	0,45
$15,00 \text{ m} \leq L_p \leq 18,75 \text{ m}$	5 lajur	–	0,425
$18,75 \text{ m} \leq L_p \leq 22,00 \text{ m}$	6 lajur	–	0,4

(Sumber: Pedoman perencanaan perkerasan jalan beton semen Pd-T-14-2003)

2.2.16.1.4.2. Umur Rencana

Umur rencana perkerasan jalan ditentukan atas pertimbangan klasifikasi fungsional jalan, pola lalu-lintas serta nilai ekonomi jalan yang bersangkutan, yang dapat ditentukan antara lain dengan metode Benefit Cost Ratio, Internal Rate of Return, kombinasi dari metode tersebut atau cara lain yang tidak terlepas dari pola pengembangan wilayah. Umumnya perkerasan beton semen dapat direncanakan dengan umur rencana (UR) 20 tahun sampai 40 tahun.

2.2.16.1.4.3. Pertumbuhan lalu-lintas

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

$$R = \frac{(1+i)^{UR} - 1}{i} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan pengertian :

R : Faktor pertumbuhan lalu lintas

i : Laju pertumbuhan lalu lintas per tahun dalam %.

UR : Umur rencana (tahun)

Faktor pertumbuhan lalu-lintas (R) dapat juga ditentukan berdasarkan Tabel 3

Tabel 2.11. Faktor pertumbuhan lalu lintas (R)

Umur rencana (Tahun)		Laju	Pertumbuhan	(i)	per tahun	(%)
	0	2	4	6	8	10
5	5	5,2	5,4	5,6	5,9	6,1
10	10	10,9	12	13,2	14,5	15,9
15	15	17,3	20	23,3	27,2	31,8

20	20	24,3	29,8	36,8	45,8	57,3
25	25	32	41,6	54,9	73,1	98,3
30	30	40,6	56,1	79,1	113,3	164,5
35	35	50	73,7	111,4	172,3	271
40	40	60,4	95	154,8	259,1	442,6

(Sumber: Pedoman perencanaan perkerasan jalan beton semen Pd-T-14-2003)

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

$$R = \frac{(1+i)^{UR}-1}{i} + (UR - UR_m)\{(1+i)^{UR_m} - 1\} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dengan pengertian :

R : Faktor pertumbuhan lalu lintas

i : Laju pertumbuhan lalu lintas per tahun dalam %.

UR_m : Waktu tertentu dalam tahun, sebelum UR selesai.

2.2.16.1.4.4. Lalu-lintas rencana

Lalu-lintas rencana adalah jumlah kumulatif sumbu kendaraan niaga pada lajur rencana selama umur rencana, meliputi proporsi sumbu serta distribusi beban pada setiap jenis sumbu kendaraan.

Beban pada suatu jenis sumbu secara tipikal dikelompokkan dalam interval 10 kN (1 ton) bila diambil dari survai beban.

Jumlah sumbu kendaraan niaga selama umur rencana dihitung dengan rumus berikut :

$$JKSN = JSKNH \times 365 \times R \times C \dots\dots\dots (2.11)$$

Dengan pengertian :

- JSKN : Jumlah total sumbu kendaraan niaga selama umur rencana .
- JSKNH : Jumlah total sumbu kendaraan niaga per hari pada saat jalan dibuka.
- R : Faktor pertumbuhan komulatif dari Rumus (5) atau Tabel 3 atau Rumus (6), yang besarnya tergantung dari pertumbuhan lalu lintas tahunan dan umur rencana.
- C : Koefisien distribusi kendaraan

2.2.16.1.4.5. 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 2.11.

Tabel 2.12. Faktor Keamanan Beban (F_{KB})

No.	Penggunaan	Nilai F_{KB}
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 survei beban (weight-in-motion) dan adanya kemungkinan route alternative, maka nilai faktor keamanan beban dapat dikurangi menjadi 1,15.	1,2
2	Jalan bebas hambatan (freeway) dan jalan arteri dengan volume kendaraan niaga menengah.	1,1
3	Jalan dengan volume kendaraan niaga rendah.	1,0

(Sumber: Pedoman perencanaan perkerasan jalan beton semen Pd-T-14-2003)

2.2.16.2. Prosedur perencanaan

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

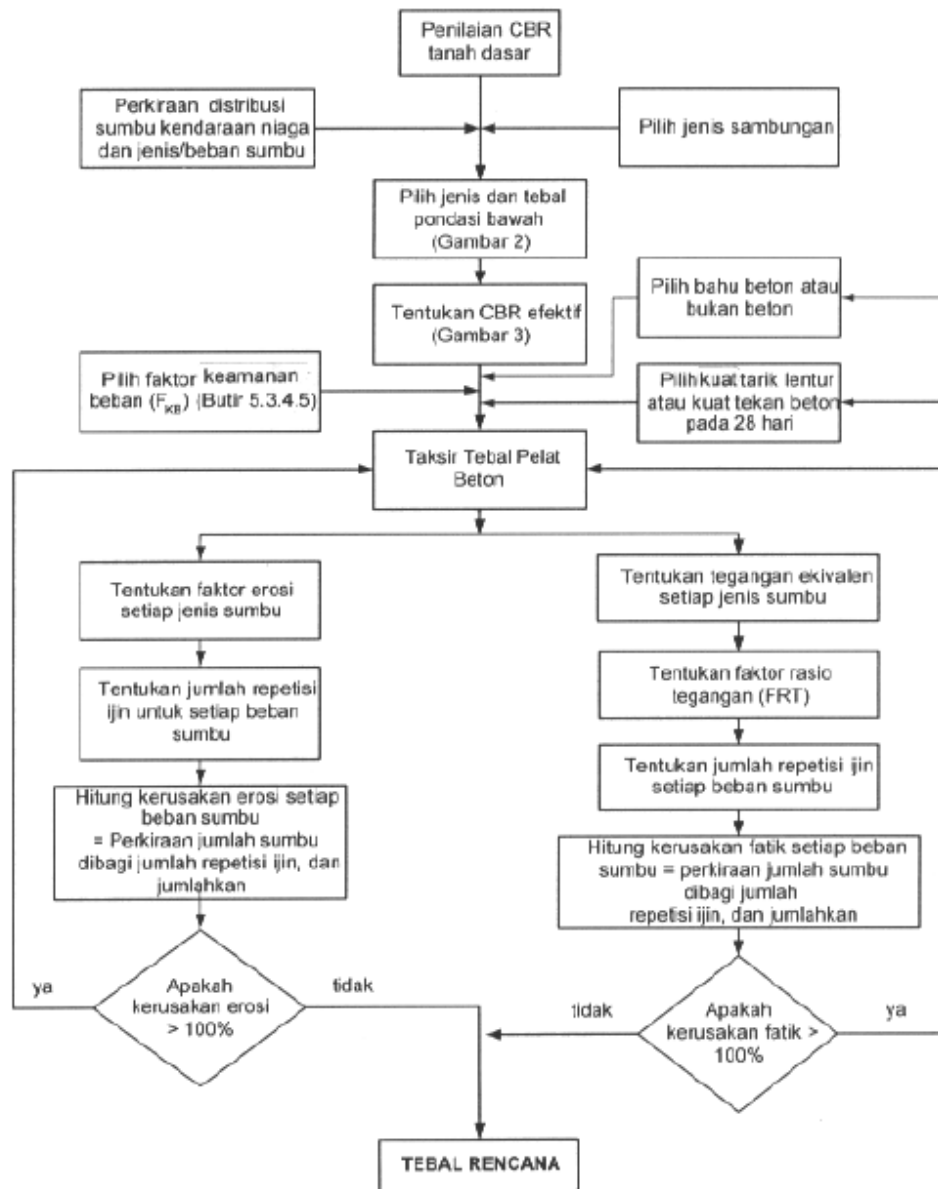
- 1) Retak fatik (lelah) tarik lentur pada pelat.
- 2) Erosi pada pondasi bawah atau tanah dasar yang diakibatkan oleh lendutan berulang pada sambungan dan tempat retak yang direncanakan.

Prosedur ini mempertimbangkan ada tidaknya ruji pada sambungan atau bahu beton. Perkerasan beton semen menerus dengan tulangan dianggap sebagai perkerasan bersambung yang dipasang ruji.

Data lalu-lintas yang diperlukan adalah jenis sumbu dan distribusi beban serta jumlah repetisi masing-masing jenis sumbu/kombinasi beban yang diperkirakan selama umur rencana.

2.2.16.2.1. Perencanaan Tebal Plat

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%. Langkah-langkah perencanaan tebal pelat diperlihatkan pada Gambar 2.11 dan Tabel 2.13.



Gambar 2.11. Sistem perencanaan perkerasan beton semen

Tabel 2.13. Langkah-langkah perencanaan tebal perkerasan beton semen

Langkah	Uraian Kegiatan
1	Pilih jenis perkerasan beton semen, bersambung tanpa ruji, bersambung dengan ruji, atau menerus dengan tulangan.
2	Tentukan apakah menggunakan batu beton atau bukan.

3	Tentukan jenis dan tebal pondasi bawah berdasarkan nilai CBR rencana dan perkiraan jumlah sumbu kendaraan niaga selama umur rencana sesuai dengan Gambar 2.
4	Tentukan CBR efektif berdasarkan nilai CBR rencana dan pondasi bawah yang dipilih sesuai dengan Gambar 3.
5	Pilih kuat tarik lentur atau kuat tekan beton pada umur 28 hari (f_{cf}).
6	Pilih faktor keamanan beban lalu lintas (F_{KB})
7	Taksir tebal pelat beton (taksiran awal dengan tebal berdasarkan pengalaman atau menggunakan contoh yang tersedia atau dapat menggunakan Gambar 24 sampai dengan Gambar 31.
8	Tentukan tegangan ekuivalen (TE) dan faktor erosi (FE) untuk STRT dari Tabel 8 atau Tabel 9.
9	Tentukan faktor rasio tegangan (FRT) dengan membagi tegangan ekuivalen (TE) oleh kuat tarik-lentur (f_d).
10	Untuk setiap rentang beban kelompok sumbu tersebut, tentukan beban per roda dan kalikan dengan faktor keamanan beban (F_{KB}) untuk menentukan beban rencana per roda. Jika beban rencanan per roda ≥ 65 kN (6,5 ton), anggap dan gunakan nilai tersebut sebagai batas tertinggi pada Gambar 19 sampai Gambar 21.
11	Dengan faktor rasio tegangan (FRT) dan beban rencanan, tentukan jumlah repetisi ijin untuk fatik dari Gambar 19, yang diulai dari beban roda tertinggi dari jenis sumbu STRT tersebut.
12	Hitung persentase dari repetisi fatik yang direncanakan terhadap jumlah repetisi ijin.
13	Dengan menggunakan faktor erosi (FE), ditentukan jumlah repetisi ijin untuk erosi, dari Gambar 20 atau 21.
14	Hitung persentase dari repetisi erosi yang direncanakan terhadap jumlah repetisi ijin.
15	Ulangi langkah 11 sampai dengan 14 untuk setiap beban per roda pada sumbu tersebut sampai jumlah repetisi beban ijin yang terbaca pada Gambar 19 dan Gambar 20 atau Gambar 21 yang masing-masing mencapai 10 juta dan 100 juta repetisi.
16	Hitung jumlah total fatik dengan menjumlahkan persentase fatik dari

	setiap beban roda pada STRT tersebut. Dengan cara yang sama hitung jumlah total erosi dari setiap beban roda pada STRT tersebut.
17	Ulangi langkah 8 sampai dengan langkah 16 untuk setiap jenis kelompok sumbu lainnya.
18	Hitung jumlah total kerusakan akibat fatik dan jumlah total kerusakan akibat erosi untuk seluruh jenis kelompok sumbu.
19	Ulangi langkah 7 sampai dengan langkah 18 hingga diperoleh ketebalan tertipis yang menghasilkan total kerusakan akibat fatik dan atau erosi $\leq 100\%$. Tebal tersebut sebagai tebal perkerasan beton semen yang direncanakan.

(Sumber: Pedoman perencanaan perkerasan jalan beton semen Pd-T-14-2003)

2.2.16.2.2. Perencanaan Tulangan

Tujuan utama penulangan untuk :

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

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

2.2.16.2.2.1. Perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan

Pada perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan, ada kemungkinan penulangan perlu dipasang guna mengendalikan retak. Bagian-bagian pelat yang

diperkirakan akan mengalami retak akibat konsentrasi tegangan yang tidak dapat dihindari dengan pengaturan pola sambungan, maka pelat harus diberi tulangan.

Penerapan tulangan umumnya dilaksanakan pada :

- a) Pelat dengan bentuk tak lazim (odd-shaped slabs), Pelat disebut tidak lazim bila perbandingan antara panjang dengan lebar lebih besar dari 1,25, atau bila pola sambungan pada pelat tidak benar-benar berbentuk bujur sangkar atau empat persegi panjang.
- b) Pelat dengan sambungan tidak sejalur (mismatched joints).
- c) Pelat berlubang (pits or structures).

2.2.16.2.2.2. Perkerasan beton semen bersambung dengan tulangan

Luas penampang tulangan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$A_s = \frac{\mu.L.M.g.h}{2.f_s} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dengan pengertian:

A_s : luas penampang tulangan baja (mm²/m lebar pelat)

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

g : gravitasi (m/detik²).

h : tebal pelat beton (m)

L : jarak antara sambungan yang tidak diikat dan/atau tepi bebas pelat (m)

M : berat per satuan volume pelat (kg/m³)

μ : koefisien gesek antara pelat beton dan pondasi bawah

Luas penampang tulangan berbentuk anyaman empat persegi panjang dan bujur sangkar ditunjukkan pada Tabel 2.15.

Tabel 2.14. Ukuran dan berat tulangan polos anyaman las

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

(Sumber: Pedoman perencanaan perkerasan jalan beton semen Pd-T-14-2003)

2.2.16.2.2.3. Perencanaan Lapis Tambah

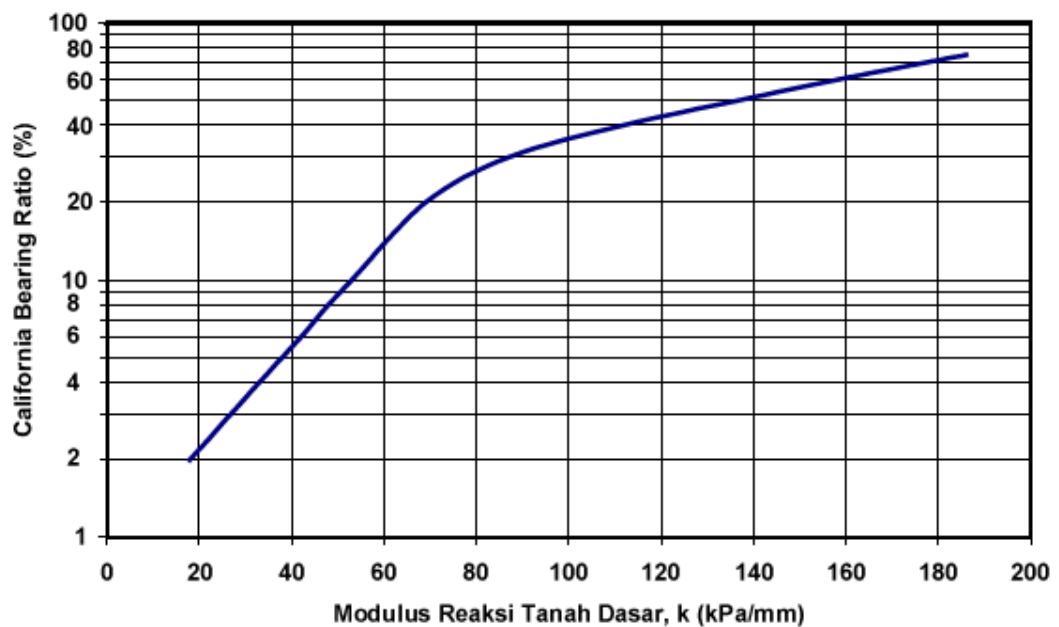
Pelapisan tambahan pada perkerasan beton semen dibedakan atas :

- Pelapisan tambahan perkerasan beton semen di atas perkerasan lentur.
- Pelapisan tambahan perkerasan beton semen di atas perkerasan beton semen.
- Pelapisan tambahan perkerasan lentur di atas perkerasan beton semen.

2.2.16.2.2.3.1. Pelapisan tambahan perkerasan beton semen di atas perkerasan beton aspal

Tebal lapis tambahan perkerasan beton semen di atas perkerasan lentur dihitung dengan cara yang sama seperti perhitungan tebal pelat beton semen pada perencanaan baru yang telah diuraikan sebelumnya.

Modulus reaksi perkerasan lama (k) diperoleh dengan melakukan pengujian pembebanan pelat (plate bearing test) menurut AASHTO T.222-81 di atas permukaan perkerasan lama yang selanjutnya dikorelasikan terhadap nilai CBR menurut Gambar 2.12. Bila nilai k lebih besar dari 140 kPa/mm (14 kg/cm³), maka nilai k dianggap sama dengan 140 kPa/mm (14 kg/cm³) dengan nilai CBR 50%.



Gambar 2.12. Hubungan antara CBR dan Modulud Reaksi Tanah Dasar

(Sumber: Pedoman perencanaan perkerasan jalan beton semen Pd-T-14-2003)

Tabel 2.15. Faktor konversi lapis perkerasan lama untuk perencanaan lapis tambahan menggunakan perkerasan beton aspal

Klasifikasi Bahan	Deskripsi Bahan	Faktor Konversi (Fk)
I	Tanah dasar asli, tanah dasar perbaikan dengan bahan berbutir, atau stabilisasi kapur	0
II	Lapis pondasi atau pondasi bawah yang terdiri dari bahan berbutir bergradasi baik, keras mengandung bahan halus bersifat plastis, dengan CBR ≥ 20 . Fk = 0,2 untuk PI (Plastisitas Indeks) ≤ 6 , dan 0,1 untuk PI > 6 .	0,1-0,2
III	Lapis pondasi atau pondasi bawah yang distabilisasi semen atau kapur dengan PI ≤ 10	0,2-0,3
IV	a. Lapis permukaan atau lapis pondasi dengan bahan pengikat aspal emulsi atau aspal cair yang telah retak menyeluruh, pelepasan butir, penurunan mutu agregat, pengaluran pada jejak roda, dan penurunan stabilitas.	0,3-0,5
	b. Perkerasan beton semen (termasuk perkerasan yang telah ditutup lapis peraspalan) yang telah patah-patah menjadi potongan-potongan dengan berukuran $\leq 0,6$ m dalam arah dimensi maksimal. Fk = 0,5 apabila digunakan lapis pondasi bawah, dan 0,3 apabila pelat langsung diatas tanah dasar.	0,3-0,5
V	a. Lapis permukaan dan lapis pondasi beton aspal, yang telah menunjukkan pola retak yang jelas.	0,5-0,7
	b. Lapis permukaan dan lapis pondasi, dengan bahan pengikat aspal emulsi atau aspal cair, yang telah menunjukkan retak halus, pelepasan butir atau penurunan mutu agregat, dan alur kecil pada jejak roda tapi masih mantap.	0,5-0,7
	c. Perkerasan beton semen (termasuk perkerasan yang telah ditutup peraspalan) yang telah retak dan tidak rata dan tidak bisa ditutup secara baik. Potongan-potongan pelat berukuran sekitar 1 sampai 4 m ² , dan telah diperbaiki.	0,5-0,7
VI	a. Lapis permukaan dan lapis pondasi beton aspal yang telah menunjukkan retak halus dengan pola setempat-setempat dan alur kecil pada jejak roda tapi masih mantap.	0,7-0,9
	b. Lapis permukaan dan lapis pondasi dengan bahan pengikat aspal emulsi atau aspal cair yang masih mantap, secara umum belum retak, tidak menunjukkan kegemukan (bleeding), dan terjadi alur kecil pada jejak roda.	0,7-0,9
	c. Perkerasan beton semen (termasuk perkerasan yang telah ditutup lapis peraspalan) yang masih mantap dan telah ditutup (undersealed), telah retak-retak tapi tidak terdapat potongan-potongan pelat yang berukuran lebih kecil dari 1 m ²	0,7-0,9
VII	a. Lapis permukaan dan lapis pondasi beton aspal, secara umum belum retak, dan terdapat alur kecil pada jejak roda.	0,9-1,0
	b. Perkerasan beton semen yang masih mantap, sudah ditutup (undersealed) dan umumnya belum retak	0,9-1,0
	c. Lapis pondasi beton semen, dibawah lapis permukaan beraspal, yang masih mantap, tidak terjadi pamping (pumping) dan memberikan retak refleksi yang kecil pada permukaan	0,9-1,0

(Sumber: Pedoman perencanaan perkerasan jalan beton semen Pd-T-14-2003)

2.2.17. Agregat Sebagai Lapis Pondasi Perkerasan Jalan

2.2.17.1. Pengertian Lapis Pondasi Agregat

Sebelum soil cement diperkenalkan, hampir semua struktur pembangunan jalan, konstruksi lapisan pondasi perkerasan jalan selalu menggunakan agregat sebagai material utama. Pada pembangunan jalan di Indonesia pada umumnya, lapis pondasi menggunakan agregat yang dibagi menjadi 2 lapisan yaitu lapis pondasi bawah (sub-base coarse) menggunakan Agregat Kelas B dan lapis pondasi atas (base coarse) menggunakan Agregat Kelas A.

Lapis Pondasi Bawah (Sub-Base Coarse) adalah suatu lapisan perkerasan jalan yang terletak antara lapis pondasi (Base) dan tanahy dasar (Sub Grade) bertujuan untuk mendukung lapis perkerasan jalan di atasnya. Beberapa lapis pondasi bawah yang dikenal dan biasa dilaksanakan pada konstruksi perkerasan jalan adalah (Buku “**Metode Pelaksanaan Jalan**”, dalam *Sertifikasi ahli Jalan dan Jembatan, Badan Sertifikasi Asosiasi Jakarta, 2000*) :

1. Batu belah dengan balas pasir.
2. Sirtu yang mengandung sedikit tanah.
3. Tanah pasir.
4. Laston bawah.

Masih dalam buku yang sama pula, Lapis Pondasi Atas adalah lapisan perkerasan jalan yang terletak di atas lapisan pondasi bawah (sub base) dan di bawah lapis penutup perkerasan (surface course), berfungsi mendukung lapis perkerasan penutup dan beban roda yang bekerja di atasnya serta menyebarkan

(menyalurkan) beban-beban yang diterimanya kepada lapis pondasi bawah. Jenis-jenis pondasi atas yang lazim digunakan pada pekerjaan konstruksi jalan adalah :

1. Menggunakan material telford.
2. Menggunakan material agregat.
3. Menggunakan material stabilisasi semen (soil cement base).
4. Menggunakan asphalt treated base (ATB).

Silvia Sukirman dalam bukunya ***Perkerasan Lentur Jalan Raya*** menulis, bahwa fungsi lapisan pondasi atas antara lain :

- bagian perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan beban ke lapisan di bawahnya.
- lapisan peresapan untuk lapisan pondasi bawah.
- bantalan terhadap lapisan permukaan.

Sedangkan lapisan di bawahnya atau disebut lapisan pondasi bawah berfungsi sebagai :

- untuk penyebaran beban roda ke tanah dasar.
- mengurangi tebal lapisan di atasnya yang lebih mahal.
- lapis peresapan, agar air tanah tidak berkumpul di pondasi.
- lapisan untuk mencegah partikel-partikel halus dari tanah dasar naik ke lapis pondasi atas.

2.2.17.2. Sifat Agregat

Sifat dan kualitas agregat menentukan kemampuannya dalam memikul beban lalu lintas. Agregat dengan kualitas dan sifat yang baik dibutuhkan untuk

lapisan permukaan yang langsung memikul beban lalu lintas dan menyebarkan ke lapisan di bawahnya. Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan dapat dikelompokkan menjadi 3 kelompok (Highway *Materials, McGraw-Hill Book Company, 1971*) yaitu :

1. Kekuatan dan keawetan (strength and durability) lapisan perkerasan dipengaruhi oleh :
 - gradasi.
 - ukuran maksimum.
 - kadar lempung.
 - kekerasan dan ketahanan.
 - bentuk butir.
 - tekstur permukaan.
2. Kemampuan dilapisi aspal dengan baik, dipengaruhi oleh :
 - porositas.
 - kemungkinan basah.
 - jenis agregat.
3. Kemudahan dalam pelaksanaan dan menghasilkan lapisan yang nyaman dan aman, dipengaruhi oleh :
 - tahanan geser (skid resistance)
 - campuran yang memberikan kemudahan dalam pelaksanaan (bituminous mix workability)

2.2.18. Analisa Biaya Pelaksanaan

Maksud dan tujuan penduan harga satuan suatu pekerjaan (analisa biaya per item pekerjaan) adalah untuk menyamakan konsep dasar pembuatannya **EE** (Engineer's Estimate) bagi unsur Perencanaan dan konsep dasar pembuatan **OE** (Owner's Estimate) bagi unsur Pelaksana, serta guna mendukung penyiapan EE dan OE tersebut agar lebih akurat pada proses perencanaan, pra kontrak maupun pada saat kaji ulang perencanaan (technical – justification) saat proses pelaksanaan konstruksi (Buku “*Panduan Analisa Harga Satuan*”), diterbitkan oleh Departemen Pekerjaan Umum, tahun 1987). Adapun yang menjadi tujuan penyusunan OE adalah untuk mendapatkan perkiraan harga pekerjaan Jasa Pemborongan dalam arti :

1. Perkiraan harga tersebut menjamin pelaksanaan pekerjaan akan memenuhi persyaratan dan secara teknis dapat dipertanggung jawabkan
2. Perhitungan harga yang disusun dapat dipertanggung jawabkan
3. Perhitungan harga tersebut merupakan alternatif terendah yang memenuhi syarat-syarat sebagaimana dimaksud dalam butir 1 dan 2 di atas
4. Perkiraan harga merupakan acuan dalam penentuan pemenang lelang atau penentuan harga pemilihan langsung pada pengadaan jasa pemborongan

Didalam perhitungan biaya konstruksi dari suatu item pekerjaan harus memperhitungkan :

1. Analisa teknis, yaitu rincian perhitungan komponen tenaga kerja, bahan dan peralatan yang diperlukan untuk melaksanakan suatu jenis pekerjaan tertentu sesuai dengan metode pelaksanaan dan spesifikasi teknis tertentu.

2. Metode kerja, yaitu suatu uraian mengenai tahapan, tata cara kerja, tenaga, bahan, dan peralatan yang akan digunakan untuk memenuhi syarat-syarat pelaksanaan yang ditentukan dalam dokumen lelang.

2.2.18.1. Biaya Peralatan

1. Masukan / input

Masukan yang diperlukan dalam perhitungan harga sewa alat (biaya sewa alat per satuan waktu) antara lain :

- a. Asumsi, alat diperhitungkan sebagai alat baru dan biaya pemeliharaan (maintenance) adalah minimum.
- b. Kapasitas alat.
- c. Umur ekonomis alat (economic life years), adalah umur alat dalam tahun yang lamanya tergantung tingkat penggunaan dan standar dari pabrik pembuatnya.
- d. Jam kerja alat per tahun, adalah jumlah jam kerja alat dalam satu tahun.
- e. Harga pokok alat, adalah harga pembelian alat setempat.
- f. Nilai sisa alat (salvage value) yaitu nilai / harga dari peralatan yang bersangkutan setelah umur ekonomisnya berakhir. Biasanya ini diambil 10% dari inisial cost (harga pokok alat setempat).
- g. Tingkat suku bunga pinjaman, merupakan tingkat suku bunga baik untuk investasi yang berlaku pada tahun pembelian alat yang bersangkutan.
- h. Tenaga mesin, merupakan kapasitas mesin penggerak dalam ukuran horse power (HP).

- i. Harga satuan operator dan mekanik.
- j. Harga satuan bahan bakar dan minyak pelumas.

2. Proses / perhitungan.

Proses perhitungan terdiri dari biaya pasti (Initial Cost atau Capital Cost) dan biaya operasional dan pemeliharaan.

A. Biaya pasti.

Biaya pasti (pengembalian modal dan bunga) setiap tahun dihitung sebagai berikut :

$$G = \frac{(B - C) \times D + F}{W}, \text{ dimana :} \dots\dots\dots(2.13)$$

G = Biaya Pasti per jam.

B = Harga alat setempat.

- Bila pengadaan alat tidak melalui dealer, yang dimaksud harga setempat adalah harga dari CIF ditambah handling cost (biaya masuk, biaya incliring sewa gudang, ongkos angkut, dan lain-lain) sampai ke gudang pembeli.
- Bila membeli setempat artinya lewat dealer/agen adalah harga sampai ke gudang pembeli.

C = Nilai sisa (salvage value) yaitu nilai/harga dari peralatan yang bersangkutan setelah umur ekonomisnya berakhir.

Biasanya nilai ini diambil 10% dari initial cost (harga pokok alat setempat).

D = Faktor angsuran/pengembalian modal

$$= \frac{i \times (1+i)^A}{(1+i)^A - 1} \dots\dots\dots (2.14)$$

A = Umur ekonomis peralatan (economic life years) dalam tahun yang lamanya tergantung dari tingkat penggunaan dan standar dari pabrik pembuatnya.

F = Biaya asuransi, pajak dan lain-lain per tahun, besarnya nilai ini biasanya diambil sebesar 2 per mil dari initial cost atau 2 persen dari nilai sisa alat. (0,0002 x B, atau 0,02 x C).

W = Jumlah jam kerja alat dalam satu tahun.

- Bagi peralatan bertugas berat (memungkinkan bekerja secara terus menerus sepanjang tahun) dianggap bekerja 8 jam/hari dalam 250 hari/tahun maka :

$$W = 8 \times 250 \times 1 = 2000 \text{ jam/tahun.}$$

- Bagi peralatan yang bertugas sedang dianggap bekerja 8 jam/hari dan 200 hari/tahun maka :

$$W = 8 \times 200 \times 1 = 1600 \text{ jam/tahun.}$$

- Bagi peralatan yang bertugas ringan dianggap bekerja 8 jam/hari dan 150 hari/tahun maka :

$$W = 8 \times 150 \times 1 = 1200 \text{ jam/tahun.}$$

B. Biaya operasi dan pemeliharaan.

a. *Biaya operasi dan pemeliharaan cara teoritis.*

Besarnya biaya operasi dan pemeliharaan tiap-tiap unit peralatan yang dipergunakan dihitung sebagai berikut :

a.1 Biaya bahan bakar dan biaya perawatan, meliputi :

- Biaya bahan bakar (H).

Kebutuhan bahan bakar tiap jam diambil dari manual peralatan yang bersangkutan. Kebutuhan bahan bakar merupakan kebutuhan bahan bakar untuk mesin penggeraknya berikut bahan bakar yang digunakan untuk proses produksi (misalnya AMP termasuk bahan bakar untuk pemanasan dan pengeringan agregat).

- Pelumas (L).

Bahan pelumas yang meliputi bahan pelumas mesin, pelumas hidrolik, pelumas transmisi, pelumas power steering, dan lain sebagainya.

Kebutuhan pelumas per jam dapat dihitung berdasarkan kebutuhan jumlah oli yang dibutuhkan dibagi beberapa jam oli tersebut harus diganti (sesuai dengan jenis oli dan manual dari peralatan yang bersangkutan).

- Biaya perawatan / workshop (J).

Biaya perawatan meliputi biaya penggantian saringan pelumas, saringan/filter udara dan lain sebagainya.

a.2 Biaya perbaikan / spareparts (K).

- Biaya penggantian ban.

- Biaya penggantian bagian-bagian yang aus (bukan spare part) seperti konveyor belt, saringan agregat untuk stone crusher/AMP, dan lain sebagainya.
- Penggantian baterai/accu.
- Perbaikan alat.

a.3 Biaya Operator (M).

Upah di dalam biaya operasi biasanya dibedakan antara upah untuk operator, driver dan upah pembantu operator. Adapun besarnya upah untuk operator/driver dan pembantunya tersebut diperhitungkan sesuai dengan “besar perhitungan upah kerja” dimana upah operator dan pembantunya per jam diperhitungkan upah 1 jam kerja efektif.

b. *Biaya operasi dan pemeliharaan cara pendekatan.*

Mengingat banyak ragamnya peralatan dari berbagai merk yang akan dipergunakan, estimator akan mengalami kesulitan apabila diperhitungkan biaya operasi dan pemeliharaan menggunakan manual tiap-tiap alat yang bersangkutan. Untuk memudahkan perhitungan biaya operasi dan pemeliharaan suatu peralatan dapat digunakan rumus-rumus pendekatan yang berlaku untuk seluruh macam peralatan.

Karena rumus ini sifatnya pendekatan, maka apabila rumus tersebut ditetapkan untuk menghitung biaya operasi dan pemeliharaan satu macam peralatan hasilnya akan kurang akurat.

Namun kalau dipergunakan untuk menghitung seluruh peralatan hasilnya masih dalam batas-batas kewajaran.

Rumus-rumus perhitungan pendekatan biaya operasi dan pemeliharaan tersebut adalah sebagai berikut :

b.1 Biaya bahan bakar (H).

Besarnya bahan bakar yang digunakan untuk mesin penggerak adalah tergantung dari besarnya kapasitas mesin yang biasa diukur dengan HP (horse power).

$$H = (12,50 \text{ s/d } 17,50) \% \times \text{HP} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana :

H = Besarnya bahan bakar yang digunakan dalam 1 jam dalam 1 liter.

HP = Kapasitas mesin penggerak dalam horse power.

12,50% = untuk alat yang bertugas ringan.

17,50% = untuk alat yang bertugas berat.

b.2 Biaya pelumas (L).

Besarnya pelumas (seluruh pemakaian pelumas termasuk grease) yang digunakan untuk alat yang bersangkutan dihitung berdasarkan kapasitas mesin yang diukur dengan HP.

$$L = (1 \text{ s/d } 2) \% \times \text{HP} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana :

L = besarnya pemakaian pelumas dalam 1 jam dalam 1

liter.

HP = kapasitas mesin penggerak dalam horse power.

1% = untuk peralatan sederhana.

2% = untuk peralatan cukup kompleks.

b.3 Biaya perbaikan dan perawatan (K).

Untuk menghitung biaya spare part, ban, accu dan perbaikan alat dan lain sebagainya yang berkaitan dengan perbaikan dalam per jam kerja dipakai pendekatan :

$$K = (12,50 \text{ s/d } 17,50) \% \times \frac{B}{W} \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana :

B = Harga pokok alat.

W = Jumlah jam kerja dalam 1 tahun.

12,50% = untuk alat yang bertugas ringan.

12,50% = untuk alat yang bertugas berat.

3. Keluaran / output.

Keluaran adalah harga satuan dasar alat yang meliputi biaya pasti, biaya operasi dan pemeliharaan, serta biaya operatornya.

Keluaran harga satuan dasar alat ini selanjutnya merupakan masukan (input) untuk proses analisa harga satuan pekerjaan.

2.2.18.2. Tenaga Kerja

1. Hari orang standar (Standard Man day).

Yang dimaksud dengan pekerja standar di sini adalah pekerja terampil yang biasa mengerjakan satu macam pekerjaan seperti pekerja galian, pekerja pengaspalan, pekerja pemasangan batu, pekerja las dan lain sebagainya.

Dalam sistem pengupahan digunakan satu satuan upah berupa orang hari standar (standard man day) yang disingkat dengan OH atau MD, yaitu sama dengan upah pekerjaan dalam 1 hari kerja (8 jam kerja termasuk 1 jam istirahat).

2. Jam orang standar (Standard Man Hour).

Didalam standar hari orang yang dimaksud satu hari kerja adalah 8 jam terdiri dari 7 jam kerja (efektif) dan 1 jam istirahat. Apabila perhitungan upah dinyatakan dengan jam orang, maka jam orang dihitung sebagai berikut :

$$\text{Upah jam orang} = \frac{\text{Upah orang hari}}{7 \text{ jam kerja}} \dots\dots\dots (2.18)$$

3. Resume.

Resume yang diperoleh adalah berupa Harga Satuan Dasar Tenaga Kerja. Perhitungan harga dasar peralatan seperti ditunjukkan dalam lampiran untuk peralatan-peralatan yang akan digunakan dalam operasional proyek.

**2.2.19. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor : 13 /Prt/M/2011
Tentang Tata Cara Pemeliharaan Dan Penilikan Jalan**

2.2.19.1. Rencana Umum Pemeliharaan Jalan

Pasal 3

- 1) Penyelenggara jalan wajib menyusun rencana pemeliharaan jalan.
- 2) Rencana umum pemeliharaan jalan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) meliputi:
 - a. sistem informasi;
 - b. sistem manajemen aset; dan
 - c. rencana penanganan pemeliharaan jalan.

Pasal 4

- 1) Sistem informasi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 ayat (2) huruf a meliputi kegiatan pengumpulan, pengolahan, dan pemeliharaan data untuk menghasilkan informasi dan rekomendasi penanganan pemeliharaan jalan.
- 2) Data sebagaimana dimaksud pada ayat (1) meliputi data inventarisasi jalan dan data kondisi jalan.

Pasal 5

- 1) Sistem manajemen aset sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 ayat (2) huruf b meliputi kegiatan penatausahaan dan pemanfaatan bagianbagian jalan, leger jalan, serta preservasi aset jalan.

- 2) Preservasi aset jalan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) merupakan kegiatan pemeliharaan jalan yang dapat diikuti dengan rekonstruksi pada bagian-bagian jalan yang terencana antara lain akibat bencana alam.
- 3) Pemeliharaan jalan sebagaimana dimaksud pada ayat (2) meliputi pemeliharaan rutin, pemeliharaan berkala, dan rehabilitasi jalan termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapan jalannya.
- 4) Pemeliharaan perlengkapan jalan meliputi perlengkapan jalan yang berkaitan langsung dengan pengguna jalan dan yang berkaitan tidak langsung dengan pengguna jalan.
- 5) Pemeliharaan perlengkapan jalan sebagaimana dimaksud pada ayat (4) yang berkaitan langsung dengan pengguna jalan merupakan kewenangan dari penyelenggara lalu lintas dan angkutan jalan, apabila akan ditangani oleh penyelenggara jalan harus dikoordinasikan terlebih dahulu dengan penyelenggara lalu lintas dan angkutan jalan sebelum dimasukkan ke dalam rencana penanganan pemeliharaan jalan.
- 7) Rekonstruksi jalan sebagaimana dimaksud pada ayat (2) meliputi kegiatan peningkatan struktur jalan termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapan jalannya, tanpa peningkatan kapasitas.
- 8) Kegiatan penatausahaan, pemanfaatan bagian-bagian jalan, dan leger jalan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dilaksanakan berdasarkan ketentuan peraturan perundangan.

Pasal 6

- 1) Rencana Penanganan pemeliharaan jalan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 ayat (2) huruf c. mencakup rencana pemeliharaan terhadap jalur dan/atau lajur lalu lintas, bahu jalan, bangunan pelengkap dan perlengkapan jalan, serta lahan pada Rumaja dan Rumija.
- 2) Penanganan pemeliharaan jalan dilakukan secara preventif dan reaktif.
- 3) Penanganan pemeliharaan jalan yang dilakukan secara preventif sebagaimana yang dimaksud pada ayat (2) bertujuan untuk membatasi jenis, tingkat, sebaran kerusakan, dan menunda kerusakan lebih lanjut, serta mengurangi jumlah kegiatan pemeliharaan rutin, melindungi perkerasan dari pengaruh beban dan lingkungan, dan mempertahankan kondisi jalan dalam tingkatan baik dan sedang sesuai dengan rencana.
- 4) Penanganan pemeliharaan jalan yang dilakukan secara reaktif sebagaimana dimaksud pada ayat (2) bertujuan untuk memperbaiki setiap kerusakan yang telah terjadi pada perkerasan jalan di luar kemampuan pengamatan.
- 5) Penanganan pemeliharaan jalan dilakukan secara reaktif sebagaimana dimaksud pada ayat (4) dimaksudkan untuk mengembalikan ke kondisi sesuai dengan rencana.
- 6) Rencana pemeliharaan terhadap jalur dan/atau lajur lalu lintas sebagaimana dimaksud pada ayat (1) meliputi pemeliharaan jalan dengan perkerasan dan tanpa perkerasan.

- 7) Pemeliharaan jalan dengan perkerasan sebagaimana dimaksud pada ayat (6) terdiri atas:
- a. jalan dengan perkerasan berpenutup; dan
 - b. jalan dengan perkerasan tanpa penutup.
- 8) Pemeliharaan jalan dengan perkerasan berpenutup sebagaimana dimaksud pada ayat (6) merupakan pemeliharaan jalan berlapis perkerasan agregat permukaan yang berikat seperti antara lain dengan aspal, semen.
- 9) Pemeliharaan jalan tanpa perkerasan sebagaimana dimaksud pada ayat (6) merupakan pemeliharaan terhadap jalan kerikil/tanah yang dipadatkan sesuai rencana sebagai tanah dasar (subgrade).
- 10) Penanganan pemeliharaan jalan tanpa perkerasan sebagaimana dimaksud pada ayat (6) mencakup kelancaran sistem drainase badan jalan dan saluran air, ketepatan dalam pemilihan jenis material permukaan, pekerjaan pembentukan kembali permukaan, serta pembersihan dan pengendalian tumbuhan agar kondisi badan jalan tetap stabil.
- 11) Penanganan pemeliharaan bahu jalan meliputi kegiatan pembersihan, pemadatan, perataan, dan pembentukan bahu jalan.
- 12) Kegiatan penanganan pemeliharaan jalan yang akan dilaksanakan pada setiap tahun dituangkan ke dalam dokumen rencana penanganan jalan sesuai dengan persyaratan teknis rencana penangananan pemeliharaan jalan yang diatur dalam lampiran Peraturan Menteri ini.

Pasal 7

- 1) Rencana Penanganan pemeliharaan bangunan pelengkap jalan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 5 ayat (3) mencakup rencana pemeliharaan bagian-bagian bangunan pelengkap jalan.
- 2) Penanganan pemeliharaan aliran sungai atau drainase, tanah timbunan, bangunan bawah dan bangunan atas di dekat/pada bangunan pelengkap jalan dilakukan secara preventif dan/atau reaktif sesuai dengan kemampuan teknologi pengamatan dan sumber daya yang tersedia.
- 3) Penanganan pemeliharaan bangunan pelengkap jalan dilakukan secara preventif sebagaimana dimaksud pada ayat (2) bertujuan untuk membatasi jenis, tingkat, dan sebaran kerusakan, mengurangi jumlah kegiatan pemeliharaan rutin, melindungi bangunan pelengkap jalan dari pengaruh beban dan lingkungan, serta menunda kerusakan lebih lanjut sehingga tetap pada kondisi mantap sesuai dengan rencana.
- 4) Penanganan pemeliharaan bangunan pelengkap jalan dilakukan secara reaktif sebagaimana dimaksud pada ayat (2) bertujuan untuk memperbaiki setiap kerusakan yang telah terjadi di luar kemampuan pengamatan.
- 5) Penanganan pemeliharaan bangunan pelengkap jalan dilakukan secara reaktif sebagaimana dimaksud pada ayat (2) dimaksudkan untuk mengembalikan ke kondisi sesuai dengan rencana.
- 6) Penanganan pemeliharaan bangunan pelengkap jalan secara reaktif sebagaimana dimaksud pada ayat (2) berupa penanganan komponen

jembatan, terowongan, ponton, lintas atas, lintas bawah, tembok penahan, gorong-gorong yang telah mengalami kerusakan berdasarkan Nilai Kondisi (NK).

- 7) Kegiatan penanganan pemeliharaan bangunan pelengkap jalan yang akan dilaksanakan pada setiap tahun dituangkan dalam dokumen rencana penanganan bangunan pelengkap jalan.

Pasal 8

- 1) Rencana penanganan pemeliharaan jalan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 ayat (2) huruf c meliputi informasi tentang sumber dana, cara pemilihan penyedia jasa, nomor dan nama ruas, jenis penanganan, besaran biaya, waktu pelaksanaan, sistem pengadaan, dan penanggung jawab kegiatan.
- 2) Penyelenggara jalan wajib mempublikasikan rencana penanganan pemeliharaan jalan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) melalui media cetak, media elektronik, atau situs resmi penyelenggara jalan paling lambat akhir bulan Januari tahun berjalan.

2.2.19.2. Pemrograman Pemeliharaan Jalan

Pasal 12

- 1) Pemrograman pemeliharaan jalan mencakup penetapan lokasi, waktu penanganan dan jenis penanganan yang tepat.
- 2) Pemrograman pemeliharaan jalan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) meliputi kegiatan menentukan ruas/segmen ruas jalan yang masuk

dalam penanganan pekerjaan pemeliharaan rutin, pemeliharaan berkala, rehabilitasi, dan rekonstruksi.

- 3) Pemrograman pemeliharaan bangunan pelengkap dan perlengkapan jalan sebagaimana dimaksud dalam pasal 1 ayat (3) dan (4) meliputi kegiatan menentukan lokasi Bangunan Pelengkap dan perlengkapan tersebut yang masuk dalam penanganan pekerjaan pemeliharaan rutin, pemeliharaan berkala, rehabilitasi, dan rekonstruksi Bangunan Pelengkap jalan dan perlengkapan jalan.
- 4) Pemrograman pemeliharaan jalan termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya sebagaimana dimaksud pada ayat (3) dilakukan dengan melaksanakan survei untuk menentukan prioritas penanganan, jenis pekerjaan, perkiraan volume pekerjaan, harga satuan pekerjaan serta rencana biaya penanganan.
- 5) Pemrograman pemeliharaan jalan termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya sebagaimana dimaksud pada ayat (3) dilakukan oleh penyelenggara jalan untuk menentukan jenis-jenis pekerjaan yang akan dilaksanakan berdasarkan batasan biaya yang disetujui, jadwal pelaksanaan, jadwal pengadaan, monitoring dan evaluasi.
- 6) Pemrograman pemeliharaan jalan termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya sebagaimana yang dimaksud pada ayat (3) dilakukan oleh petugas atau penyedia jasa yang ditunjuk penyelenggara jalan.

2.2.19.3. Pembiayaan Pemeliharaan Jalan

Pasal 13

- 1) Rencana pembiayaan pemeliharaan jalan atas hasil pemrograman sebagaimana dimaksud dalam Pasal 12 didasarkan pada pertimbangan sosial ekonomi, potensi, dan kemampuan penyelenggaraan jalan di wilayah/daerah sesuai status jalannya serta prioritas penanganannya.
- 2) Prioritas pembiayaan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dilakukan berdasarkan analisis ekonomis yang diatur dalam suatu system manajemen jalan yang obyektif.
- 3) Sistem manajemen jalan yang obyektif sebagaimana dimaksud pada ayat (2) harus disiapkan dan dioperasikan secara berkelanjutan oleh masing-masing penyelenggara jalan dengan pembinaan dan pengawasan umum oleh Menteri.

Pasal 14

- 1) Pembiayaan kegiatan pemeliharaan jalan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 6, Pasal 7, Pasal 9, dan Pasal 10 untuk status jalan nasional dibebankan pada Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara (APBN).
- 2) Pembiayaan kegiatan pemeliharaan jalan sebagaimana dimaksud dalam dalam Pasal 6, Pasal 7, Pasal 9, dan Pasal 10 untuk status jalan provinsi dibebankan pada Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah provinsi (APBD/P).

- 3) Pembiayaan kegiatan pemeliharaan jalan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 6, Pasal 7, Pasal 9, dan Pasal 10 untuk status jalan kabupaten/kota dan jalan desa dibebankan pada Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah Kabupaten/Kota (APBD Kab/Kota).

2.2.19.4. Perencanaan Teknis Pemeliharaan Jalan

Pasal 15

- 1) Kegiatan pemeliharaan rutin jalan dilakukan pada ruas jalan/bagian ruas jalan dan bangunan pelengkap dengan kriteria sebagai berikut:
 - a. ruas jalan dengan kondisi baik dan sedang atau disebut jalan mantap;
 - b. bangunan pelengkap jalan yang mempunyai kondisi baik sekali dan baik.
- 2) Pemeliharaan berkala jalan dilakukan pada ruas jalan/bagian ruas jalan dan bangunan pelengkap dengan kriteria sebagai berikut:
 - a. ruas Jalan yang karena pengaruh cuaca atau karena repetisi beban lalu lintas sudah mengalami kerusakan yang lebih luas maka perlu dilakukan pencegahan dengan cara melakukan pelaburan, pelapisan tipis, penggantian dowel, pengisian celah/retak, peremajaan/joint.
 - b. ruas jalan yang sesuai umur rencana pada interval waktu tertentu sudah waktunya untuk dikembalikan ke kondisi pelayanan tertentu dengan cara dilapis ulang;

- c. ruas jalan dengan nilai kekesatan permukaan jalan (skid resistance) kurang dari 0,33 (nol koma tiga puluh tiga);
 - d. ruas jalan dengan kondisi rusak ringan;
 - e. bangunan pelengkap jalan yang telah berumur paling rendah 3 (tiga) tahun sejak dilakukan pembangunan, penggantian atau pemeliharaan berkala; dan/atau
 - f. bangunan pelengkap yang mempunyai kondisi sedang.
- 3) Rehabilitasi jalan dilakukan pada ruas jalan/bagian ruas jalan dan bangunan pelengkap dengan kriteria sebagai berikut:
- a. ruas jalan yang semula ditangani melalui program pemeliharaan rutin namun karena suatu sebab mengalami kerusakan yang tidak diperhitungkan dalam desain, yang berakibat menurunnya kondisi kemantapan pada bagian/tempat tertentu dari suatu ruas dengan kondisi rusak ringan, agar penurunan kondisi kemantapan tersebut dapat dikembalikan pada kondisi kemantapan sesuai dengan rencana;
 - b. bangunan pelengkap yang sudah mempunyai umur pelayanan paling sedikit 8 (delapan) tahun;
 - c. bangunan pelengkap yang sudah mempunyai umur pelayanan 3 (tiga) tahun sampai dengan 5 (lima) tahun yang memerlukan penanganan rehabilitasi dan perbaikan besar pada elemen strukturnya; atau
 - d. bangunan pelengkap yang mempunyai kondisi rusak ringan;

- e. bangunan pelengkap yang memerlukan perbaikan darurat atau penanganan sementara; dan/atau
 - f. bangunan pelengkap jalan berupa jembatan, terowongan, ponton, lintas atas, lintas bawah, tembok penahan, gorong-gorong dengan kemampuan memikul beban yang sudah tidak memenuhi standar sehingga perlu dilakukan perkuatan atau penggantian.
- 4) Rekonstruksi dilakukan pada ruas/bagian jalan dengan kondisi rusak berat.
- 5) Penggantian dilakukan pada bangunan pelengkap dengan kondisi:
- a. rusak berat/kritis; dan/atau
 - b. runtuh.
- 6) Kriteria kondisi jalan termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapan jalannya sesuai fungsi jalan dan kelas jalan berdasarkan spesifikasi penyediaan prasarana jalannya diatur lebih lanjut dalam lampiran Peraturan Menteri ini.