

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum Geologi Regional Kabupaten Kudus

Secara geografis ruas jalan Pantura terletak pada zona dataran rendah dengan ketinggian kurang dari +50,0 m di atas permukaan laut dan di beberapa tempat mempunyai ketinggian kurang dari +5,0 m dan bahkan ada ketinggian yang kurang dari +2,0 m.

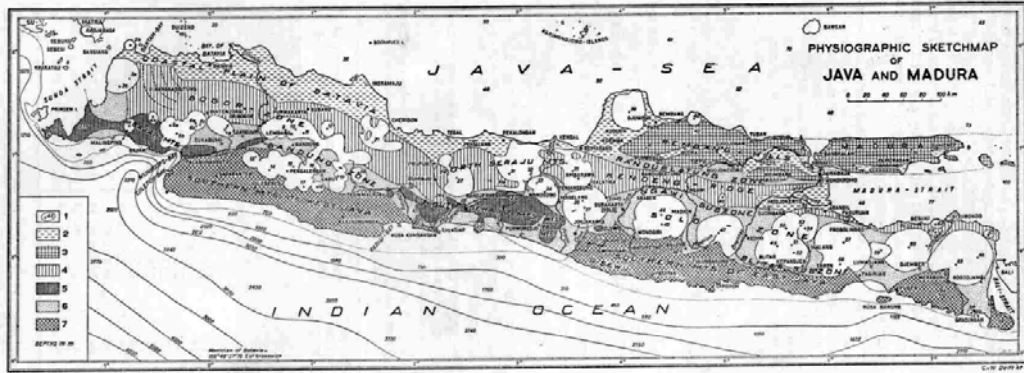
Batuan Aluvium (Qa), terbentuk dari *recent soft marine alluvium* di bagian barat (ruas Jawa Barat bagian timur), bagian tengah (Jawa Tengah) dan bagian timur (Jawa timur bagian barat).

Dataran Aluvial Pantai, merupakan dataran rendah hasil deposit/endapan sungai dan delta terdiri dari endapan aluvial pasir dan lempung menghampar dari barat ke timur.

Batuan Vulkanik tufa/ breksi terdapat di beberapa tempat seperti di Weleri-Batang, Rembang, Tuban, Situbondo ke arah timur sampai Banyuwangi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.1 dan gambar 2.2. berikut :



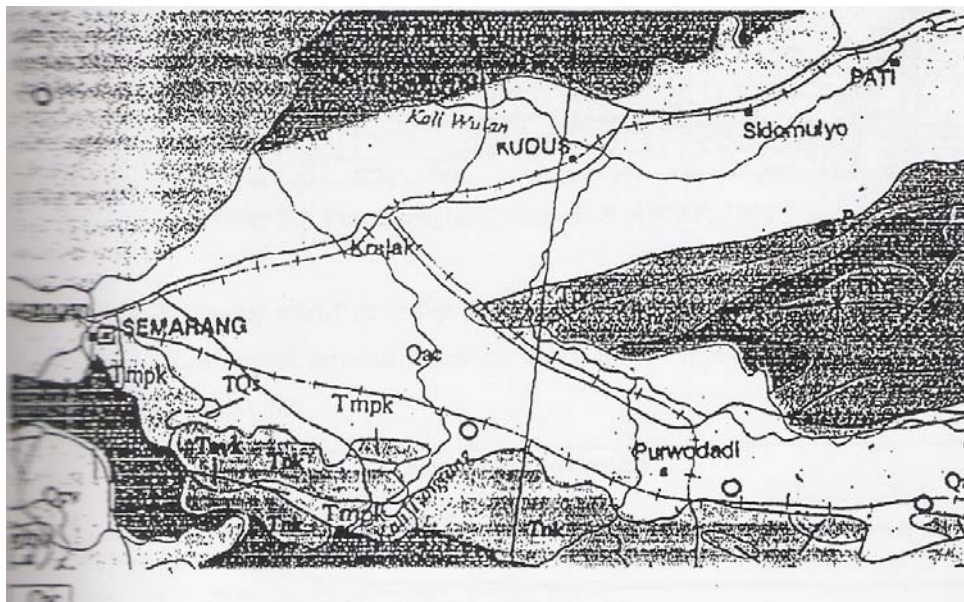
Gambar 2.1
Peta Jalan Negara



Gambar 2.2
Peta Geologi Jalur Pantura

2.2. Tinjauan Fisiografi dan Geologi Lokal

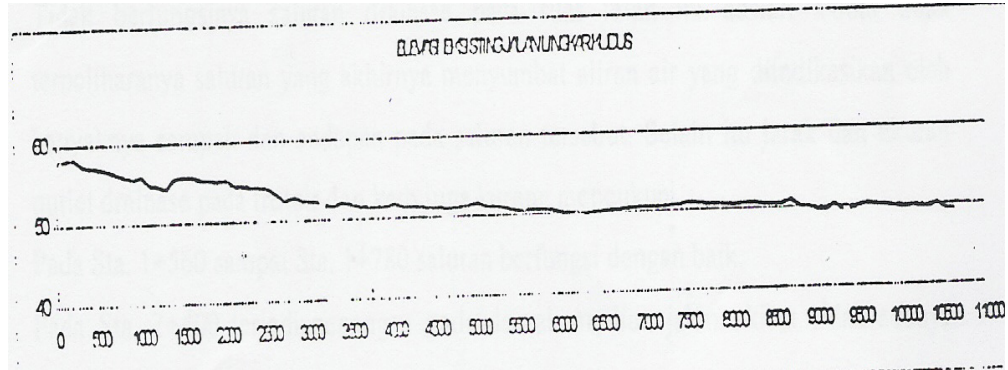
Daerah penyelidikan terletak pada daerah endapan permukaan (*surficial deposit*) yang merupakan dataran alluvial. Areal ini sebagian besar merupakan dataran rendah disekitar sungai hingga laut atau sebagian hasil pembentukan meander sungai. Jenis tanah ini terdiri dari kerakal, kerikil, pasir, lempung dari masa holosem yang masing-masing bergantung pada batuan dasar, kondisi medan serta jarak yang ditempuh oleh material pada proses pengangkutan. Geologi daerah penyelidikan diperlihatkan pada gambar 2.3.



Endapan Banjir (Qa) : kerakal, kerikil, pasir,lempung

Gambar 2.3.
Peta Geologi Daerah Kudus

Ruas jalan Lingkar Kudus berada didaerah yang relatif datar dan terletak pada +6 m sampai dengan +20 m diatas muka air laut. Perbedaan elevasi pada ruas jalan ini adalah sekitar +10 m. Secara spesifik elevasi *relative centerline* ruas jalan lingkar Kudus digambarkan dalam gambar 2.4. Data elevasi tersebut diperoleh dari Bagian Proyek Pembangunan Jalan Lingkar Demak dan Kudus.



Gambar 2.4.

Elevasi Jalan Lingkar Kudus

2.3. Klasifikasi Tanah

2.3.1. Klasifikasi berdasarkan butiran

Penggambaran ukuran partikel tanah digolongkan dengan istilah kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), dan lempung (*clay*). Batasan – batasan ukuran partikel tersebut telah dikembangkan oleh badan internasional seperti pada Tabel 2.1.

Dibawah ini akan diuraikan juga klasifikasi tanah berdasarkan beberapa Golongan seperti berdasarkan *Massachussetts Institute of Technology (MIT)*, *U.S. Department of Agriculture (USDA)*, *America Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)* dan *Unified Soil Classification System (U.S. Army Corps of Engineers, U.S. Bureau (ASTM))*.

Tabel 2.1
Batasan – Batasan Ukuran Golongan Tanah

Nama Golongan	Ukuran Butiran (mm)			
	kerikil	pasir	lanau	lempung
<i>Massachusetts Institute of Technology (MIT)</i>	>2	2 - 0,06	0,06 - 0,002	<0,002
<i>U.S. Department of Agriculture (USDA)</i>	>2	2 - 0,05	0,05 - 0,002	<0,002
<i>America Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)</i>	76,2 - 2	2 - 0,075	0,075 - 0,002	<0,002
<i>Unified Soil Classification System (U.S. Army Corps of Engineers, U.S. Bureau of Reclamation, ASTM)</i>	76,2 - 4,75	4,75 - 0,075	halus <0,0075	

Sumber : Das Braja, 1988

2.3.2. Klasifikasi *Unified / USCS*

Sistem ini pertama kali diperkenalkan oleh Cassagrande pada tahun 1942 untuk keperluan pembuatan lapangan terbang selama berlangsung Perang Dunia II. Dalam rangka kerjasama dengan biro reklamasi Amerika pada tahun 1952 sistem ini diperbaiki. Pada klasifikasi ini, sistem butiran tanah dibagi dalam 2 kelompok besar yaitu:

- 1) Tanah berbutir kasar (*course-grained soil*) yaitu tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50 % berat total contoh tanah lolos saringan No. 200 atau lebih dari 50 % tertahan saringan No. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf S atau G. S adalah untuk tanah pasir ataupun tanah berpasir dan G adalah untuk kerikil ataupun tanah berkerikil.
- 2) Tanah berbutir halus (*fine-grained soil*) yaitu tanah dimana lebih dari 50% berat total contoh tanah lolos saringan No. 200. Simbol dari kelompok tanah ini dimulai dengan huruf M untuk lanau/ silt anorganik, simbol C untuk lempung/clay anorganik, simbol O untuk lanau dan lempung organik dan simbol Pt untuk gambut/ *peat*.

- 3) Tanah dengan kadar organik tinggi, yaitu gambut (*peat*) dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi.
- 4) Untuk yang baik untuk timbunan adalah tanah yang bergradasi seragam yang terdiri dari pasir, kerikil (diameter butiran tidak boleh lebih dari 15 cm), lanau dan sedikit lempung dan mempunyai plastisitas rendah. Contoh tanah yang berkode SM (yaitu lanau kepasiran).

Untuk lebih jelasnya klasifikasi berdasarkan *unified* dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2

Klasifikasi Tanah Untuk Jalan Raya (Sistem *Unified/ USCS*)

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria Klasifikasi		
Tanah berbutir kasar 50% butiran tertahan saringan no. 200 (0,075 mm)	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan saringan no. 4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
			GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.		
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol	
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung		
	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)	Pasir bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW	
			SP	Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.		
		Pasir banyak kandungan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol	
			SC	Pasir berlanau, campuran pasir-lempung		
						Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	<p>Diagram plastisitas untuk mengidentifikasi kelas butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar. Batas Atterberg yang termasuk dalam daerah yang arsir berarti bahwa klasifikasinya menggunakan dua simbol.</p> <p>Batas Cair LL (%) Garis A: $PI = 0,73 (LL - 20)$</p>		
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ('clean clays')			
	Lanau dan lempung batas cair > 50%	OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah			
		MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis.			
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ('fat clays')			
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi			
Tanah dengan kadar organik tinggi	PT	Gambut ('peat'), dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi				

Sumber: ASTM

2.3.3. Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem ini dikembangkan pada tahun 1929. Pada sistem ini tanah diklasifikasikan ke dalam tujuh kelompok besar, yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1, A-2 dan A-3 adalah tanah berbutir dimana 35 % butirannya tidak lolos saringan no. 200, diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5, A-6 dan A-7. Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung. Pengelompokan berdasarkan pengujian berupa analisa saringan dan batas-batas *Atterberg*. Indeks Kelompok GI (*group index*) digunakan untuk mengevaluasi tanah-tanah dalam kelompoknya. Indeks kelompok dihitung dengan persamaan :

$$GI = (F-35)[0,2 + 0,005 (LL-40)] + 0,01 (F-15)(PI-10)$$

Dimana :

GI = indeks kelompok

F = persen butiran lolos saringan no. 200 (0,075 mm)

LL = batas cair

L = indeks plastisitas

Tanah dikelompokkan atas 2 kelompok besar yaitu :

- 1) Tanah berbutir kasar (material granuler), yaitu butir-butir tanah yang kurang dari 35 % lolos saringan no. 200. Jenis tanah ini sangat baik sampai baik jika digunakan sebagai dasar dan dibedakan atas :
 - a. A-1 dengan tipe material pokok berupa pecahan batu, kerikil dan pasir
 - b. A-2 dengan tipe material kerikil berlanau atau berlempung dan pasir
 - c. A-3 dengan tipe material pasir halus.
- 2) Tanah berbutir halus, yaitu butir-butir tanah yang > 35 % lolos saringan no. 200. Jenis tanah ini jika digunakan sebagai tanah dasar bernilai sedang sampai buruk dan dibedakan atas :
 - a. A-4 dan A-5 dengan tipe material pokok berupa tanah berlanau
 - b. A-6 dan A-7 dengan tipe material pokok berupa tanah berlempung.

Klasifikasi tanah AASHTO dapat dilihat pada tabel 2.3

Tabel 2.3
Klasifikasi Tanah untuk Jalan Raya (Sistem AASHTO)

Klasifikasi umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
	A-1		A-3	A-2			
Klasifikasi kelompok	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisa saringan (% lolos)							
No.10	Maks 50						
No.40	Maks 30	Maks 50	Maks 51				
No.200	Maks 15	Maks 25	Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35
Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40							
Batas cair (LL)				Maks 40	Min 41	Maks 40	Maks 41
Indeks plastisitas (PI)	Maks 6		NP	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						

Klasifikasi umum	Tanah lanau – lempung (Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)			
	Klasifikasi kelompok	A-4	A-5	A-6
A-7				
A-7-5*				
				A-7-6**
Analisa saringan (% lolos)				
No.10				
No.40				
No.200	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Sifat fraksi yang lolos No.4				
Batas cair (LL)	Maks 40	Min 41	Maks 40	Min 41
Indeks plastisitas (IP)	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek			

Sumber : Bowles, 1991

* PI ≤ LL – 30

** PI > LL – 30.

2.4. Tanah Dasar (*Subgrade*)

Subgrade (tanah dasar) merupakan bagian dari perkerasan jalan dan secara keseluruhan mutu dan daya tahan konstruksi tak lepas dari sifat tanah dasar. Tanah dasar (*subgrade*) mempunyai tebal 50 – 100 cm dan merupakan lapis terbawah dan di atasnya diletakan lapis pondasi bawah. Lapisan tanah dasar (*subgrade*) dapat berupa tanah asli yang dipadatkan, jika tanah asli baik atau tanah yang didatangkan dari tempat lain dan dipadatkan sampai tingkat kepadatan tertentu sehingga mempunyai daya dukung yang baik serta berkemampuan mempertahankan perubahan volume selama masa pelayanan walaupun terdapat perbedaan kondisi lingkungan dan jenis tanah setempat.

Sifat masing-masing jenis tanah tergantung dari tekstur tanah, kepadatan, kadar air, kondisi lingkungan, dan lain sebagainya.

Masalah utama mengenai tanah pada perencanaan jalan adalah masalah daya dukung tanah dasar tersebut. Daya dukung tanah dasar pada perkerasan jalan dinyatakan dalam CBR (*California Bearing Ratio*).

2.5. Pemadatan

Pemadatan (*compaction*) adalah proses naiknya kerapatan tanah dengan memperkecil jarak antar partikel sehingga terjadi pengurangan volume udara. Sedangkan pemadatan tanah dapat diartikan suatu proses dimana udara dan pori-pori tanah dikeluarkan dengan cara mekanis atau suatu proses berkurangnya volume tanah akibat adanya energi mekanis, pengaruh kadar air dan gradasi butiran.

Maksud dari pemadatan antara lain:

- 1) Mempertinggi kuat geser tanah
- 2) Mengurangi sifat mudah mampat (kompresibilitas)
- 3) Mengurangi permeabilitas
- 4) Mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air

Pada pelaksanaan timbunan tanah untuk jalan raya, bendungan dan banyak struktur teknik lainnya, tanah yang lepas (renggang) haruslah dipadatkan untuk meningkatkan berat volumenya. Pemadatan tersebut berfungsi untuk meningkatkan kekuatan tanah sehingga dapat meningkatkan daya dukung pondasi di atasnya. Pemadatan juga dapat mengurangi besarnya penurunan tanah yang tidak diinginkan

dan meningkatkan kemantapan lereng timbunan. Sedangkan tujuan pemadatan adalah untuk memperbaiki sifat-sifat teknis massa tanah.

Beberapa keuntungan yang didapat dengan adanya pemadatan ini adalah :

- a) Berkurangnya penurunan permukaan tanah, yaitu gerakan vertikal di dalam massa tanah itu sendiri akibatnya berkurangnya air pori.
- b) Bertambahnya penyusutan, berkurangnya volume akibat berkurangnya kadar air dan nilai patokan pada saat pengeringan.
- c) Bertambahnya kekuatan tanah karena adanya pencampuran butiran tanah yang saling mengikat.

Untuk pengujian pemadatan tanah di laboratorium dilakukan dengan tes *Proctor*. Dalam hal ini *Proctor* mendefinisikan empat variabel pemadatan tanah, yaitu usaha pemadatan atau energi pemadatan, jenis tanah, kadar air, berat isi kering (γ_d)

Cara mekanis yang dipakai untuk memadatkan tanah dapat bermacam-macam. Di lapangan biasanya dengan cara menggilas, sedangkan di laboratorium dengan cara memukul. Untuk setiap daya pemadatan tertentu kepadatan yang tercapai tergantung pada banyaknya air yang ada di dalam tanah tersebut. Tingkat pemadatan tanah diukur dari berat volume kering tanah yang dipadatkan. Air dalam pori tanah berfungsi sebagai unsur pembasah (pelumas) tanah, sehingga butiran tanah tersebut lebih mudah bergerak atau bergeser satu sama lain dan membentuk kedudukan yang lebih padat atau rapat.

Dalam suatu usaha pemadatan, berat volume kering tanah akan meningkat seiring dengan kenaikan kadar air tanah, tetapi pada kadar air tanah tertentu penambahan justru cenderung menurunkan berat volume kering tanah. Hal ini disebabkan karena air tersebut kemudian akan menempati ruang-ruang pori dalam tanah yang sebetulnya dapat ditempati oleh partikel-partikel tanah. Kadar air yang memberikan nilai berat volume kering maksimal (MDD) disebut kadar air optimal (OMC).

Usaha pemadatan dan energi pemadatan (*compact effort and energy*) adalah tolok ukur energi mekanis yang dikerjakan terhadap suatu massa tanah. Di lapangan usaha pemadatan ini dihubungkan dengan jumlah gilasan dari mesin gilas, jumlah jatuhan dari benda-benda yang dijatuhkan dan hal-hal yang serupa untuk suatu volume tanah tertentu. Energi pemadatan jarang merupakan bagian dari spesifikasi

untuk pekerjaan tanah, karena sangat sukar untuk diukur. Bahkan yang sering diisyaratkan adalah jenis peralatan yang digunakan, jumlah gilasan, atau yang paling sering adalah hasil akhir berupa berat isi kering.

Tingkat kepadatan tanah diukur dari nilai berat volume keringnya (γ_d). Tingkat kepadatan tergantung tiga faktor utama yaitu kadar air selama pemadatan, jenis tanah dan jumlah usaha pemadatan yang dilakukan. Pada saat pemadatan dengan usaha pemadatan yang sama, jika kadar air ditambahkan maka air akan berfungsi sebagai pelumas (unsur pelunak partikel-partikel tanah) dan partikel - partikel tanah menggelincir satu sama lain dan bergerak pada posisi yang lebih rapat sehingga berat volume kering tanah akan naik sedangkan jika kadar airnya ditingkatkan terus tetapi secara bertahap maka berat butiran tanah padat per volume satuan juga bertambah secara bertahap sampai kadar air tertentu (kadar air optimum). Berat volume kering maksimum (γ_d maks) dicapai pada saat kadar air optimum. Setelah mencapai kadar air optimum, air akan mengisi dan akan menurunkan berat volume kering rongga pori yang sebelumnya diisi oleh butiran padat.

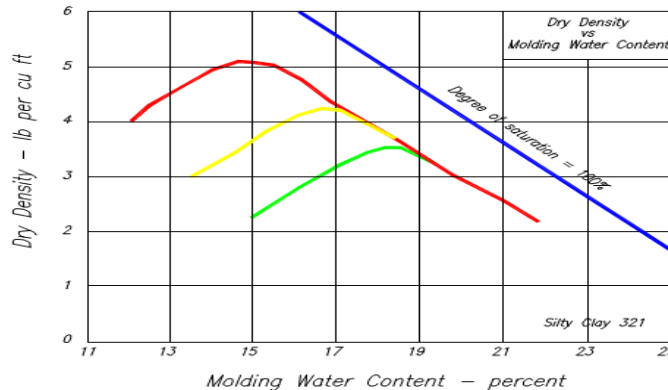
Apabila diketahui berat tanah basah di dalam cetakan yang volumenya diketahui, maka berat isi basah dapat langsung dihitung sebagai berikut :

$$\gamma_{\text{basah}} = \frac{\text{berat basah di dalam cetakan}}{\text{volume cetakan}}$$

Perhitungan kadar air diperoleh dari tanah yang dipadatkan dan berat isi kering dapat dihitung sebagai berikut :

$$\gamma_{\text{kering}} = \frac{\gamma_{\text{basah}}}{1 + w}$$

Hubungan kadar air dengan berat volume kering tanah dapat dilihat pada gambar 2.5



Gambar 2.5.

Kurva Hubungan Kadar Air dan Berat Volume Kering

2.6. Pengaruh Perubahan Kadar Air Terhadap Kepadatan dan CBR

Pada umumnya perbaikan perkerasan jalan dilakukan pada musim panas, sehingga tanah permukaan dalam kondisi kering. Pada kondisi ini tanah dasar yang mengandung lempung akan bersifat keras dengan kepadatan yang tinggi dan mempunyai berat volume kering yang tinggi. Berat volume kering berbanding lurus dengan nilai CBR artinya semakin tinggi berat volume kering suatu tanah, maka nilai CBR juga akan semakin tinggi. Pada saat musim hujan, perkerasan jalan yang menutup tanah dasar akan mencegah penguapan, sehingga kadar air tanah dasar akan bertambah akibat kapiler. Dengan adanya penambahan kadar air ini maka kuat dukung tanah yang dinyatakan dengan nilai CBR akan menurun. Kuat dukung tanah terendah terjadi pada saat tanah dalam keadaan jenuh air. Kepadatan suatu tanah diukur (dinilai) dengan menentukan nilai berat isi keringnya yaitu berat tanah kering dibagi dengan volume total tanah.

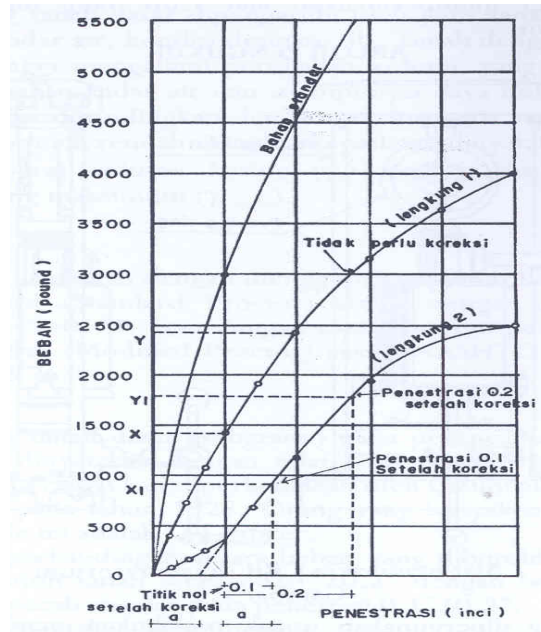
2.7. California Bearing Ratio (CBR)

CBR adalah perbandingan antara beban yang diperlukan untuk penetrasi contoh tanah sebesar 0,1" atau 0,2" dengan beban yang ditahan bahan standar yang berupa batu pecah pada penetrasi 0,1 " atau 0,2" dengan beban penetrasi sebesar 3000 lbs dan 4500 lbs

Percobaan CBR dipergunakan untuk menilai kekuatan tanah dasar atau bahan lain yang hendak dipakai untuk pembuatan perkerasan. Nilai CBR yang diperoleh kemudian dipakai untuk menentukan tebal lapisan perkerasan yang diperlukan di atas lapisan yang nilai CBR-nya ditentukan.

Untuk menentukan daya dukung tanah di daerah yang lapisan tanah dasarnya sudah tidak akan dipadatkan lagi, terletak di daerah yang badan jalannya terendam pada musim hujan dan kering pada musim kemarau, caranya adalah dengan dilakukan CBR lapangan dalam keadaan jenuh air atau disebut juga CBR rendaman (*soaked*).

Pada nilai-nilai penetrasi tertentu yaitu pada penetrasi 0,125"-0,025", 0,050", 0,075", 0,100", 0,125"-0,150", 0,175", 0,200", 0,300", 0,400", dan 0,500", beban yang bekerja pada piston tercatat, dibuatkan grafik beban terhadap penetrasi. Kemudian beban pada penetrasi 0,1" dan 0,2", yang terkoreksi seperti terlihat pada gambar 2.6.



Sumber : SKSNI

Gambar 2.6.

Hasil Percobaan CBR

Besarnya nilai CBR dihitung dengan :

- 1) Nilai tekanan penetrasi untuk penetrasi 2,54 mm (0,01") terhadap tekanan penetrasi standar yang besarnya 3000 lb.

$$CBR = P_1 / 3000) \times 100\%$$

- 2) Nilai penekanan Penetrasi untuk penetrasi 5,08 mm (0,02") terhadap tekanan penetrasi standar yang besarnya 4500 lb.

$$CBR = (P_2/ 4500) \times 100\%$$

Dengan :

P1 : gaya yang diperlukan untuk penetrasi 0,1" (dalam lb)

P2 : gaya yang diperlukan untuk penetrasi 0,2" (dalam lb)

Nilai CBR yang dipakai adalah nilai yang terbesar dari kedua nilai CBR di atas.

2.8. Konstruksi Perkerasan Jalan

Berdasarkan bahan pengikatnya, konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan menjadi :

- a) Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*) yaitu perkerasan yang umumnya menggunakan bahan campuran beraspal sebagai lapis permukaan serta bahan berbutir sebagai lapisan di bawahnya (*Bina Marga, 1957*)..

- b) Konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan semen (*portland cement*) sebagai bahan pengikat. Pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan diatas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Beban lalu lintas sebagian besar dipikul oleh pelat.
- c) Konstruksi perkerasan komposit (*composite pavement*), yaitu perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur, dimana perkerasan lentur diatas perkerasan kaku.

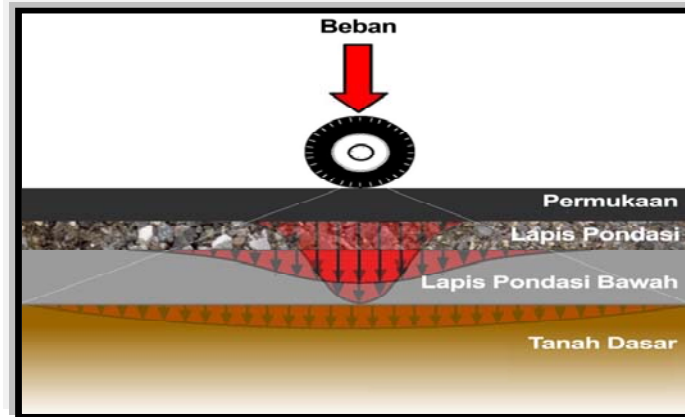
Untuk perbedaan antara perkerasan lentur dan perkerasan kaku dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4.
Perbedaan Perkerasan Lentur dan Kaku

No.	Parameter	Perkerasan Lentur	Perkerasan Kaku
1.	Bahan pengikat	Aspal	Semen
2.	Repetisi beban	Akan timbul lendutan pada jalur roda	Timbul retak-retak pada permukaan
3.	Penurunan tanah dasar	Jalan bergelombang	Pelat beton diatas perletakan
4.	Perubahan suhu	Modulus kekakuan berubah Tegangan dalam kecil	Modulus kekakuan tidak berubah Tegangan dalam besar
5.	Lalu lintas	Bermanfaat terhadap jalan untuk semua jumlah lalu lintas	Bermanfaat pada jalan dengan lalu lintas yang berat
6	Kualitas	Kendali kualitas untuk job mix disain lebih rumit	Job mix lebih mudah dikendalikan kualitasnya.
7	Drainase	Sulit bertahan terhadap kondisi drainase yang buruk	Dapat lebih bertahan terhadap kondisi drainase yang lebih buruk
8	Umur Rencana	Umur rencana relatif pendek 5 – 10 tahun	Umur rencana dapat mencapai 20 tahun
9	Indeks Pelayanan	Indeks pelayanan yang terbaik hanya pada saat selesai pelaksanaan konstruksi, setelah itu berkurang seiring dengan waktu dan frekuensi beban lalu lintasnya	Indeks pelayanan tetap baik hampir selama umur rencana, terutama jika <i>transverse joints</i> dikerjakan dan dipelihara dengan baik
10	Biaya	Pada umumnya biaya awal konstruksi rendah, terutama untuk jalan local dengan volume lalu lintas rendah	Pada umumnya biaya awal konstruksi tinggi. Tetapi biaya awal hampir sama untuk jenis konstruksi jalan berkualitas tinggi.
		Biaya pemeliharaan yang dikeluarkan mencapai lebih besar dari perkerasan kaku	Biaya pemeliharaan relatif tidak ada
11	Kekuatan konstruksi perkerasan	Lebih ditentukan oleh tebal setiap lapisan dan daya dukung tanah dasar	Lebih ditentukan oleh kekuatan pelat beton sendiri (tanah dasar tidak begitu menentukan

2.8.1. Mekanisme Penyebaran Beban pada Perkerasan Lentur

Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*) yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Penyebaran atau distribusi beban pada perkerasan jalan lentur dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7.

Penyebaran Beban Roda Melalui Lapisan Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur terdiri dari lapisan permukaan/ penutup, lapisan pondasi dan lapisan tanah dasar.

- 1) Lapisan permukaan/ penutup berfungsi untuk;
 - a. Meneruskan gaya/beban lalu lintas pada lapisan dibawahnya
 - b. Padat dan kedap air
 - c. Mampu menahan gaya horizontal yang ditimbulkan oleh lalu lintas
- 2) Sedangkan lapisan permukaan mempunyai persyaratan minimal adalah ;
 - a. Kerataan permukaan yang halus
 - b. Tahan terhadap keausan akibat beban lalu lintas dan gaya horisontal/vertikal
 - c. Kekasaran permukaan/ koefisien gesekan; tahanan gelincir (*skid resistance*)

Jenis-jenis lapis permukaan yang umum dipergunakan di Indonesia antara lain dan persyaratan tebal minimal dapat dilihat pada tabel 2.5

Tabel 2.5.
Jenis-jenis Lapis Permukaan

Jenis Pelapisan Permukaan	Tebal yang disarankan
Penetrasi macadam laburan	5 cm
Laburan Aspal Buras / Burtu / Burda	Lapis Agregat saja
Lapis Tipis Aspat Beton (Lataston)	3 cm
Beton Aspal	4 – 5 cm
Aspal yang dihamparkan dalam keadaan dingin	4 – 5 cm
Asbuton campur dingin	3 cm

Sumber : Sekjend Pusdiklat DPU, 2009

- 3) Lapisan dasar/Pondasi berfungsi untuk
 - a. Mendukung beban yang diteruskan ke bawah oleh lapisan permukaan
 - b. Memperkuat/memperkokoh lapisan bawahnya
 - c. Menyalurkan gaya kebawah dan menyebarkan beban ke lapisan dibawahnya
 - d. Mencegah naiknya butiran material halus dari tanah dasar ke lapisan diatasnya
 - e. Mencegah terkonsentrasinya air bebas didalam perkerasan

- 4) Jenis-jenis lapisan dasar/ pondasi adalah:
 - a. Lapis pondasi atas berupa batu pecah (hasil *stone crusher*) tanpa atau dengan bahan pengikat aspal
 - b. Lapisan pondasi bawah berupa sirtu tanpa atau dengan bahan pengikat aspal

- 5) Lapisan Tanah Dasar

Lapisan tanah dasar dapat berupa tanah asli yang dipadatkan jika tanah aslinya baik, atau tanah yang didatangkan dari tempat lain dan dipadatkan atau juga tanah yang distabilisasi dengan kapur atau bahan lainnya. Tanah dasar merupakan bagian yang mendukung struktur perkerasan dan perlu dipadatkan sebelum lapisan perkerasan dihampar, minimal sampai dengan ketebalan 30 cm dibawah permukaan *subgrade* harus padat. Lapisan tanah dasar mempunyai daya dukung dan kepadatan yang berbeda-beda sesuai

jenis tanah yang di dasarkan pada nilai CBR yang dapat dilihat pada tabel 2.6.

Tabel 2.6.
Klasifikasi Tanah Dasar

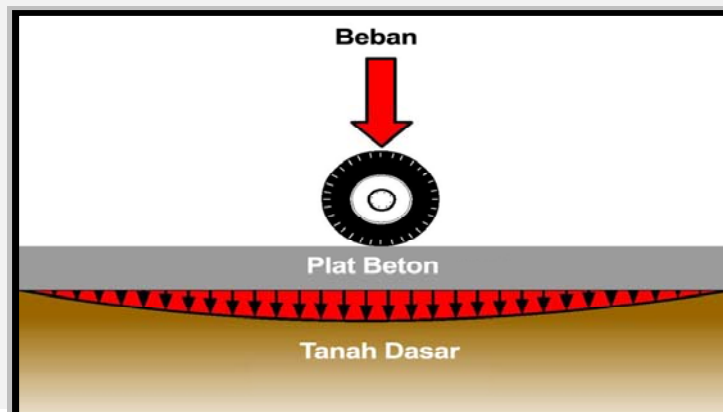
Klasifikasi Tanah dasar	Jenis Tanah	CBR (%)
Tanah baik sekali	Tanah pasir berbatu	> 24
Tanah baik	Tanah pasir	8 – 24
Tanah sedang	Tanah liat	5 – 8
Tanah jelek	Tanah liat mengandung organik	3 – 5
Tanah jelek sekali	Tanah rawa / lumpur	2 – 3

Sumber : Sekjend Pusdiklat DPU, 2009

2.8.2. Mekanisme Penyebaran gaya Perkerasan Kaku

Konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*) yaitu perkerasan yang menggunakan semen sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.

Perkerasan kaku terdiri dari lapisan permukaan berupa lapisan pelat beton 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 (distribusi beban dapat dilihat pada gambar 2.8.) sehingga bagian terbesar dari kapasitas struktur perkerasan diperoleh dari slab beton sendiri.



Sumber : PuslitbangJalan & Jembatan DPU, 2008

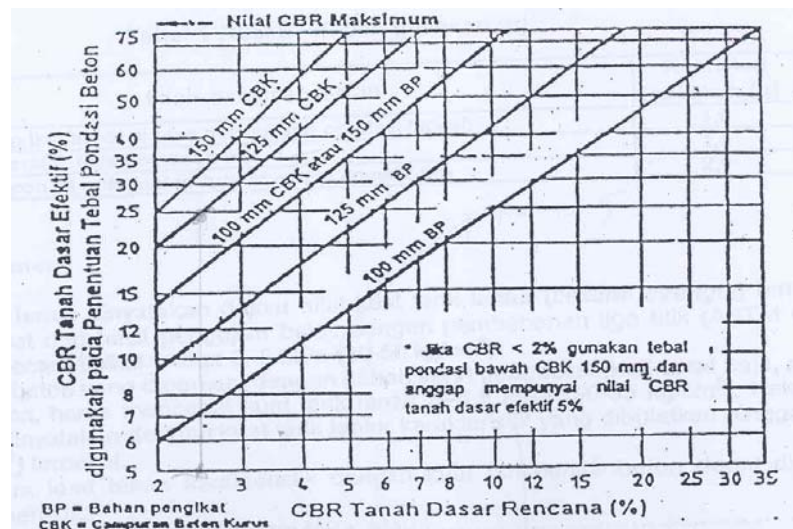
Gambar 2.8.
Penyebaran Beban Roda Melalui Lapisan Perkerasan Kaku

Hal ini berbeda dengan lapisan perkerasan lentur dimana kekuatan perkerasan diperoleh dari lapisan-lapisan tebal pondasi bawah, pondasi dan lapisan permukaan. Yang paling penting disini adalah mengetahui kapasitas struktur yang menanggung beban, faktor yang paling diperhatikan dalam perancangan perkerasan jalan beton semen portland adalah kekuatan beton itu sendiri, adanya beragam kekuatan dari tanah dasar dan atau pondasi hanya berpengaruh kecil terhadap kapasitas struktural perkerasannya (tebal pelat betonnya).

Parameter utama dalam perkerasan jalan beton antara lain adalah

1) Tanah Dasar (Daya Dukung Tanah)

Penilaian terhadap daya dukung terhadap tanah dasar pada umumnya dinyatakan dengan nilai CBR (*California Bearing Rasio*) atau juga dapat dinyatakan dengan nilai K "*Modulus Subgrade Reaction*". Di sepanjang lokasi yang didesain, perkerasan beton tanah dasar harus seragam kekuatannya atau tidak ada nilai yang terpaut jauh, namun jika terdapat tanah dasar yang memiliki $CBR < 2\%$ maka perlu dipasang *Lean Concrete* setebal 15 cm. Dengan memasang *Lean concrete* tersebut dapat menjadikan CBR tanah dasar sebesar 5%. Hubungan CBR tanah dasar rencana dengan CBR tanah dasar efektif dapat dilihat pada gambar 2.9.



Sumber : Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Pedoman 2002

Gambar 2.9.

**Grafik Hubungan CBR Tanah Dasar Rencana
Dengan CBR Tanah Dasar Efektif**

2) Lapis Pondasi

Pada lapis pondasi memiliki beberapa persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi antara lain :

a. Pondasi bawah material berbutir

Persyaratan dan gradasi bawah harus sesuai dengan kelas B tebal minimum pondasi adalah 15 cm dengan CBR sebesar 5 % dan derajat kepadatan minimum adalah 100 %.

b. Pondasi bawah dengan bahan pengikat

Jenis bahan pengikat dapat meliputi semen, kapur, abu terbang atau slag yang dihaluskan dan aspal. Jika menggunakan aspal, campuran aspal harus bergradasi rapat (*Dense Grade Asphalt*) atau bisa juga menggunakan campuran beton kurus giling padat yang harus mempunyai kuat tekan karakteristik pada umur 28 hari yang besarnya minimum 5,5 Mpa.

c. Beban dan komposisi lalu-lintas

Kendaraan yang ditinjau untuk menghitung beban lalu lintas adalah kendaraan yang memiliki berat total minimal 5 ton. Konfigurasi sumbu untuk perencanaan terdiri dari 4 jenis sumbu antara lain antara lain adalah sumbu tunggal (STRT), sumbu tunggal roda ganda (STRG), sumbu tandem roda ganda (STdRG) dan sumbu tridem roda ganda (STrRG).

d. Kondisi perkerasan lama

Kondisi perkerasan lama mempengaruhi tebal perkerasan ulang di atasnya. Semakin jelek kondisi perkerasan lama maka membutuhkan pelapisan ulang yang lebih tebal.

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

a. Menyediakan lapisan yang seragam, stabil dan permanen.

b. Menaikan harga Modulus Reaksi Tanah Dasar (*Modulus of Sub-grade Reaction = k*) menjadi Modulus Reaksi Komposit (*Modulus of composite Reaction*).

c. Melindungi gejala pumping butir-butiran halus tanah pada daerah sambungan, retakan dan ujung samping perkerasan. Pumping adalah proses keluarnya air dan butir-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.

- d. Mengurangi terjadinya keretakan pada pelat beton
- e. Menyediakan lantai kerja.

2.9. Analisa Tebal Perkerasan

Perencanaan tebal perkerasan merupakan dasar dalam menentukan tebal perkerasan baik perkerasan lentur maupun perkerasan kaku. Dalam menghitung tebal perkerasan lentur dan kaku berdasarkan pada petunjuk perencanaan tebal perkerasan dengan metode analisa komponen SKBI 2.3.26.1987, Departemen Pekerjaan Umum dan metode mengacu AASHTO.

2.9.1. Metode Analisa Komponen Bina Marga (1987)

Metode ini dipakai untuk perancangan dan analisa tebal perkerasan lentur (*flexible pavement*). Parameter yang digunakan pada metode analisa komponen Bina Marga dalam pemasangannya menggunakan dasar-dasar sebagai berikut :

- 1) Lalulintas.

Parameter lalu lintas terdiri dari :

- a. Jumlah jalur dan koefisien distribusi kendaraan (C)

Tabel 2.7.

Jumlah Jalur Berdasarkan Perkerasan

Lebar perkerasan (L)	Jumlah jalur (n)
L < 5,50 m	1 jalur
5,50 m < L < 8,25 m	2 jalur
8,25 m < L < 11,25 m	3 jalur
11,25 m < L < 15,00 m	4 jalur
15,00 m < L < 18, 25 m	5 jalur
18,75 m < L < 22,00 m	6 jalur

Sumber :Metode Analisa Komponen DPU 1987

Tabel 2.8.
Koefisien Distribusi Kendaraan

Jumlah jalur	Kendaraan ringan		Kendaraan berat	
	1 arah	2 arah	3 arah	4 arah
1 lajur	1,00	1,00	1,00	1,000
2 lajur	0,06	0,70	0,70	0,500
3 lajur	0,04	0,40	0,50	0,475
4 lajur	-	0,30	-	0,475
5 lajur	-	0,25	-	0,450
6 lajur	-	0,20	-	0,400

Sumber : *Metode Analisa Komponen DPU 1987*

b. Angka ekivalen (E) beban sumbu kendaran.

Angka ekivalen (E) masing-masing beban sumbu setiap kendaraan ditentukan menurut rumus :

$$E \text{ sumbu tunggal} = \left[\frac{\text{Beban satu sumbu tunggal (kg)}}{8160} \right]^4$$

$$E \text{ sumbu ganda} = 0,086 \left[\frac{\text{Beban satu sumbu tunggal (kg)}}{8160} \right]^4$$

c. Lalu lintas harian rata-rata (LHR).

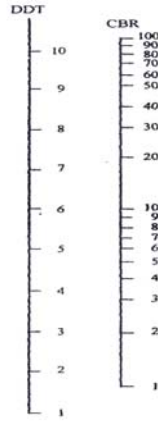
Pada perhitungan untuk perancangan dan analisa, E sebagai beban standar pada beban sumbu kendaraan 8160 kg dengan angka E = 1,00'

Rumus-rumus lainnya yang digunakan adalah :

$$\text{Lintas ekivalen} = (x + a)^n = \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} x^k a^{n-k}$$

2) Daya dukung tanah dasar (DDT) dan CBR.

Daya dukung tanah dasar ditetapkan berdasarkan korelasi antara DDT dan CBR seperti pada gambar 2.10



Sumber :Metode Analisa Komponen DPU 1987

Gambar 2.10.

Korelasi DDT dan CBR

3) Faktor Regional.

Dipengaruhi oleh kelandaiaan, persentase kendaraan berat dan iklim seperti pada tabel 2.9.

Tabel 2.9.

Faktor Regional (FR)

	Kelandaiaan I ($\leq 6\%$)		Kelandain II ($\leq 6 - 10\%$)		Kelandaiaan I ($\geq 10\%$)	
	% kendaraan berat		% kendaraan berat		% kendaraan berat	
	$\leq 30\%$	$\geq 30\%$	$\leq 30\%$	$\geq 30\%$	$\leq 30\%$	$\geq 30\%$
Iklim < 900 mm/th	0,5	1,0-1,5	1,0	1,5-2,0	1,5	2,0-2,5
Iklim I < 900mm/th	1,5	2,0-2,5	2,0	2,5-3,0	2,5	3,0-3,5

Sumber :Metode Analisa Komponen DPU 1987

Catatan : Pada bagian jalan tertentu, seperti persimpangan ,pemberhentian atau tikungan tajam (jari –jari 30 m) FR ditambah dengan 0,5. Pada daerah rawa – rawa FR ditambah dengan 1,0.

4) Indeks permukaan

Indeks permukaan dinyatakan dengan nilai-nilai sebagai berikut :

IP : 1,0 = menyatakan pemukaan jalan dalam keadaan rusak berat sehingga sangat mengganggu lalu lintas kendaraan.

IP : 1,5 = tingkat pelayanan terendah yang masih mungkin (jalan tidak terputus).

IP : 2,0 = tingkat pelayanan rendah bagi jalan yang masih mantap

IP : 2,5 = menyatakan permukaan jalan masih cukup stabil dan baik.

5) Koefisien kekuatan relatif (a).

Ditentukan secara korelasi sesuai nilai *Marshall Test* (untuk bahan dengan aspal), kuat tekan (untuk bahan yang distabilisasi dengan semen atau kapur) atau CBR untuk bahan lapisan pondasi bawah) seperti pada tabel 2.10.

Tabel 2.10.
Koefisien Kekuatan Relatif (a)

Koefisien Kekuatan Relatif			Kekuatan Bahan			Jenis bahan
a1	a2	a3	MS (kg)	Kt (kg/cm)	CBR (%)	
0,40	-	-	744	-	-	Laston
0,35	-	-	590	-	-	
0,32	-	-	454	-	-	
0,30	-	-	340	-	-	
0,35	-	-	744	-	-	Lasbutag
0,31	-	-	590	-	-	
0,28	-	-	454	-	-	
0,26	-	-	340	-	-	
0,30	-	-	340	-	-	HRA Aspal macadam Lapen(mekanis) Lapen(manual)
0,26	-	-	340	-	-	
0,25	-	-	-	-	-	
0,20	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	
-	0,28	-	590	-	-	Laston
-	0,26	-	454	-	-	
-	0,24	-	340	-	-	
-	0,23	-	-	-	-	Lapen(mekanis) Lapen(manual)
-	0,19	-	-	22	-	
-	0,15	-	-	18	-	Stab tanah dengan semen
-	0,13	-	-	18	60	
-	0,15	-	-	22	-	Stab tanah dengan kapur
-	0,13	-	-	18	-	
-	0,14	-	-	-	100	Batu pecah (kelas A) Batu pecah (kelas B) Batu pecah (kelas C)
-	0,13	-	-	-	80	
-	0,12	-	-	-	60	
-	-	0,13	-	-	70	Sirtu/pitrun (kelas A) Sirtu/pitrun (kelas C) Sirtu/pitrun (kelas C)
-	-	0,12	-	-	50	
-	-	0,11	-	-	30	
-	-	0,10	-	-	20	Tanah/lempung kepasiran

Sumber :Metode Analisa Komponen DPU 1987

6) Analisa komponen Perkerasan.

Perhitungan didasarkan pada kekuatan relatif masing-masing lapisan perkerasan jangka panjang, dimana penentuan tebal perkerasan oleh ITP (Indeks Tebal Perkerasan) yaitu :

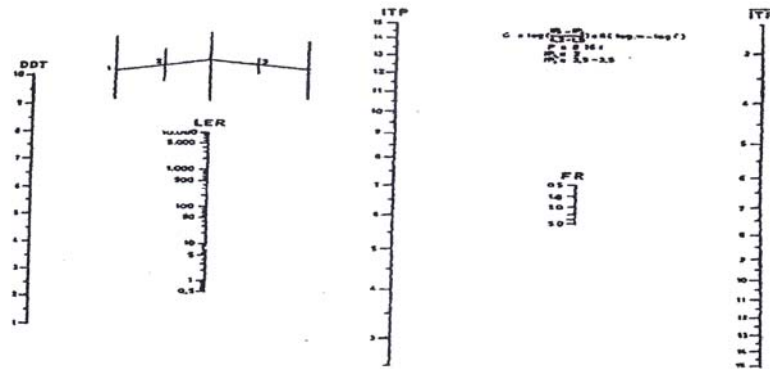
$$ITP = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot D_3$$

Dengan

a_1, a_2, a_3 = Koefisien kekuatan relatif bahan perkerasan

D_1, D_2, D_3 = Tebal masing-masing lapis perkerasan

Dengan parameter-parameter di atas, nilai indeks tebal perkerasan (ITP) didapatkan dengan gambar 2.11.



Sumber :Metode Analisa Komponen DPU 1987

Gambar 2.11.

Nomogram untuk nilai $I_{pt} = 2,0$ dan $I_{Po} = 3,9 - 3,5$

2.9.2. Metode AASHTO 1993

Penentuan parameter desain untuk penentuan tebal perkerasan mengacu AASHTO *Guide for Design of Pavement Structures 1993* antara lain adalah :

1) CBR (*California Bearing Ratio*)

Dalam perencanaan perkerasan kaku CBR digunakan untuk penentuan nilai parameter modulus reaksi tanah dasar (*modulus of subgrade reaction* : k).

2) Nilai Modulus Reaksi Tanah Dasar

Modulus of subgrade reaction (k) menggunakan gabungan antara formula dan grafik, penentuan modulus reaksi tanah dasar berdasarkan ketentuan CBR tanah dasar :

Rumus : $M_R = 1.500 \times \text{CBR} \dots$ (AASHTO 1993, halaman I – 14)

$K = M_R/19,4 \dots\dots$ (AASHTO 1993, halaman II-44)

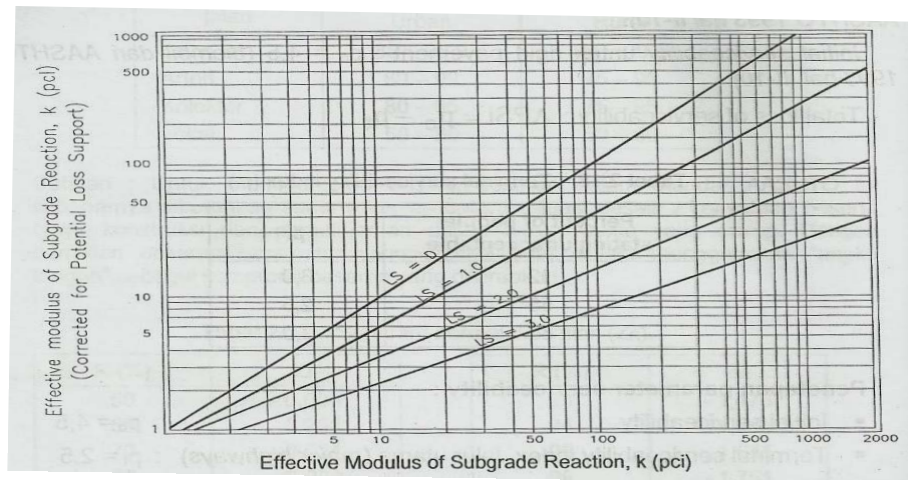
Dimana : $M_R = \text{Resilient modulus}$

$K = \text{Modulus reaksi tanah dasar}$

3) *Effective Modulus of Subgrade Reaction*

Koreksi *Effective Modulus of Subgrade Reaction* menggunakan grafik pada gambar 2.12 (diambil dari AASHTO 1993 halaman II-42).

Faktor *Loss of Support* (LS) mengacu pada Tabel 2.11 (AASHTO 1993 halaman II-27).



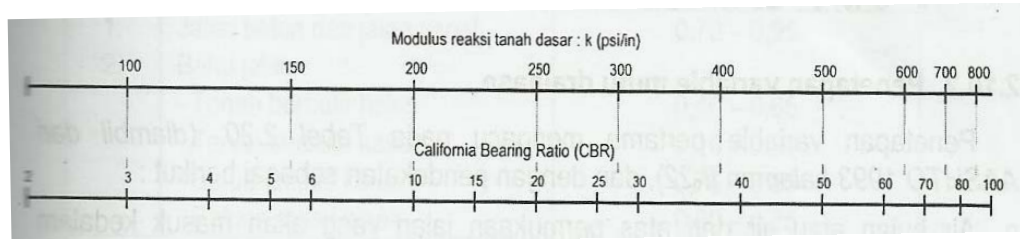
Gambar 2.12

Correction of Effective modulus of Subgrade Reaction for Potential Loss Subbase Support

Tabel 2.11
Loss of Support Factors (LS)

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

Pendekatan nilai Modulus Reaksi Tanah Dasar (k) dapat menggunakan hubungan nilai CBR dengan k seperti ditunjukkan pada gambar 2.13 diambil dari literatur Highway Engineering (Teknik Jalan Raya), Clarkson H Oglesby, R Gary Hicks, Stanford University and Oregon State University, 1996.



Gambar 2.13
Hubungan antara (k) dan (CBR)

4) Kuat Tekan Beton (f_c')

Kuat tekan beton f_c' ditetapkan sesuai pada spesifikasi pekerjaan (jika ada dalam spesifikasi). Di Indonesia saat ini umumnya digunakan : $f_c' = 350$ kg/cm².

5) Nilai Modulus Elastisitas Beton

$$E_c = 57.000 \sqrt{f_c'} \quad (\text{AASHTO 1993, halaman II - 16})$$

Dimana : E_c = Modulus elastisitas beton (psi)

f_c' = Kuat tekan beton (psi)

6) *Flexural Strength*

Flexural Strength (modulus of rupture) ditetapkan sesuai pada spesifikasi pekerjaan. *Flexural Strength* di Indonesia saat ini umumnya digunakan : $S_c' = 45$ kg/cm² = 640 psi.

7) *Load Transfer Coefficient (J)*

Load Transfer Coefficient (J) mengacu pada Tabel 2.12 (diambil dari AASHTO 1993 halaman II-26) dan AASHTO halaman III-132.

Tabel 2.12

Load Transfer Coefficient (J)

Shoulder	Asphalt		Tied PCC	
Load Transfer Devices	Yes	No	Yes	No
Pavement Type				
1. Plain jointed & jointed reinforced	3.2	3.8 - 4.4	2.5 - 3.1	3.6 -4.2
2. CRCP	2.9 - 3.2	N/A	2.3 - 2.9	N/A

Pendekatan penetapan parameter *load transfer* :

- a) Joint dengan dowel : $J = 2,5 - 3,1$ (diambil dari AASHTO 1993 halaman II – 26)
- b) Untuk overlay design : $J = 2,2 - 2,6$ (diambil dari AASHTO 1993 halaman III – 132)

8) *Drainage Coefficient (Cd)*

AASHTO memberikan 2 variabel untuk menentukan nilai koefisien drainase.

- a) Variabel pertama : mutu drainase, dengan variasi *excellent, good, fair, poor, very poor*. Mutu ini ditentukan oleh berapa lama air dapat dibebaskan dari pondasi perkerasan.
- b) Variabel kedua : persentasi struktur perkerasan dalam satu tahun terkena air sampai tingkat mendekati jenuh air (saturated), dengan variasi $< 1 \%$, $1-5 \%$, $5-25 \%$, $> 25 \%$.

Penetapan variabel pertama mengacu pada tabel 2.12 (diambil dari AASHTO 1993 halaman II-22) dan dengan pendekatan sebagai berikut :

- a) Air hujan atau air dari atas permukaan jalan yang akan masuk ke dalam pondasi jalan, relatif kecilberdasar hidrologi yaitu berkisar 70-95 % air yang jatuh di atas jalan aspal/ beton akan masuk ke sistem drainase (*sumber : BINKOT Bina Marga dan Hidrologi Imam Subarkah*). Kondisi ini dapat dilihat acuan koefisien pengaliran pada Tabel 2.14 dan 2.15.

- b) Air dari samping jalan yang kemungkinan akan masuk ke pondasi jalan, inipun relatif kecil terjadi, karena adanya *road side ditch*, *cross drain*, juga muka air tertinggi didesain terletak di bawah *subgrade*.
- c) Pendekatan dengan lama dan frekuensi hujan, yang rata-rata terjadi hujan selama 3 jam per harus dan jarang sekali terjadi hujan terus menerus selama 1 minggu.

Maka waktu pematuan 3 jam (bahkan kurang bila memperhatikan butir b) dapat diambil sebagai pendekatan dalam penentuan kualitas drainase, sehingga pemilihan mutu drainase adalah berkisar *Good* dengan pertimbangan air yang mungkin masih akan masuk, *quality of drainage* diambil kategori *Fair*.

Untuk kondisi khusus, misalnya sistem drainase sangat buruk, muka air tanah terletak cukup tinggi mencapai lapisan tanah dasar dan sebagainya dapat dilakukan kajian tersendiri.

Tabel 2.13

Quality of Drainage

Quality of Drainage	Water removen within
Excellent	2 jam
Good	1 hari
Fair	1 minggu
Poor	1 bulan
Very Poor	Air tidak terbebaskan

Tabel 2.14

Koefisien Pengaliran C (Binkot)

No	Kondisi permukaan tanah	Koefisien pengaliran (C)
1	Jalan beton dan jalan aspal	0,70 - 0,95
2	Bahu jalan :	
	- Tanah berbutir halus	0,40 - 0,65
	- Tanah berbutir kasar	0,10 - 0,20
	- Batuan masif keras	0,70 - 0,85
	- Batuan masif lunak	0,60 - 0,75

Sumber : Petunjuk desain drainase permukaan jalan No. 008/T/BNKT/1990, Binkot, Bina Marga, Dep. PU, 1990

Tabel 2.15

Koefisien Pengaliran C (Hidrologi, Imam Subarkah)

Type daerah aliran		C
Jalan	Beraspal	0,70 - 0,95
	Beton	0,80 - 0,95
	Batu	0,70 - 0,85

Sumber : Hidrologi, Imam Subarkah

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

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

$$P_{heff} = T_{jam}/24 \times T_{hari}/365 \times W_L \times 100$$

Dimana :

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

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

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

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

Selanjutnya drainage coefficient (Cd) mengacu pada Tabel 2.16 (AASHTO 1993 halaman II-26)

Tabel 2.16

Drainage Coefficient (Cd)

Quality of Drainage	Percent of time pavement structure is exposed to moisture levels approaching saturation			
	< 1 %	1 - 5 %	5 - 25 %	> 25 %
Excellent	1,25-1,20	1,20-1,15	1,15-1,10	1,10
Good	1,20-1,15	1,15-1,10	1,10-1,00	1,00
Fair	1,15-1,10	1,10-1,00	1,00-0,90	0,90
Poor	1,10-1,00	1,00-0,90	0,90-0,80	0,80
Very Poor	1,00-0,90	0,90-0,80	0,80-0,70	0,70

Penetapan parameter drainage coefficient :

- a) Berdasar kualitas drainase
- b) Kondisi *Time Pavement structure is exposed to moisture levels approaching saturation* dalam setahun

9) Nilai *Serviceability*

Terminal serviceability index (P_t) mengacu pada tabel 2.17. dibawah ini (AASHTO 1993 halaman II-10) dimana pada halaman I-8 maupun II-10 ditetapkan untuk major highway nilai : $P_t = 2,5$ dan untuk nilai *serviceability* diambil nilai : $P_o = 4,5$

Total loss serviceability : $\Delta PSI = P_o - P_t$

Tabel 2.17.

Terminal Serviceability Index

<i>Percent of People Stating Unacceptable</i>	P_t
12	3,0
55	2,5
85	2,0

Penentuan parameter *serviceability*

- a) *Terminal serviceability index* jalur utama (major highway) : $P_t = 2,5$
- b) *Initial serviceability index* jalur utama (major highway) : $P_t = 4,5$
- c) *Total loss of serviceability* $\Delta PSI = P_o - P = 4,5 - 2,5 = 2$

10) *Reliability*

Reliability adalah probabilitas bahwa perkerasan yang direncanakan akan tetap memuaskan selama masa layannya. Penetapan angka *reliability* dari 50 % sampai 99,99 % menurut AASHTO merupakan tingkat kehandalan desain untuk mengatasi, mengakomodasi kemungkinan melesetnya besaran-besaran desain yang dipakai. Semakin tinggi *reliability* yang dipakai semakin tinggi tingkat mengatasi kemungkinan terjadinya selisih (deviasi) desain. Besaran-besaran desain yang terkait dengan ini antara lain :

- a) Peramalan kinerja perkerasan
- b) Peramalan lalu lintas
- c) Perkiraan tekanan gandar
- d) Pelaksanaan konstruksi

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

Reliability (R) mengacu pada Tabel 2.18 (diambil dari AASHTO 1993 halaman II-9). Standard normal deviate (Z_R) mengacu pada Tabel 2.19 (diambil dari AASHTO 1993 halaman I-62). Standard deviation untuk rigid pavement : $S_o = 0,30 - 0,40$ (diambil dari AASHTO 1993 halaman I-62).

Tabel 2.18

Reliability (R) disarankan

Klasifikasi jalan	Reliability R (%)	
	Urban	Rural
Jalan tol	85 - 99,9	80 - 99,9
Arteri	80 - 99	75 - 95
Kolektor	80 - 95	75 - 95
Lokal	50 - 80	50 - 80

Catatan : Untuk menggunakan besaran-besaran dalam standar AASHTO ini sebenarnya dibutuhkan suatu rekaman data, evaluasi desain/ kenyataan beserta biaya konstruksi dan pemeliharaan dalam kurun waktu yang cukup. Dengan demikian besaran parameter yang dipakai tidak selalu menggunakan “angka tengah” sebagai kompromi besaran yang diterapkan.

Tabel 2.19

Standard Normal Deviation (Z_R)

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

Penetapan konsep *Reliability* dan Standard Deviasi :

- a) Berdasar parameter klasifikasi fungsi jalan
- b) Berdasar status lokasi jalan urban/ rural
- c) Penetapan tingkat *reliability*
- d) Penetapan standard normal deviation (Z_R)
- e) Penetapan standard deviasi (S_o)
- f) Keandalan data lalu lintas dan beban kendaraan

11) Nilai *Flexural Strength*

Berdasarkan spesifikasi umum volume II, ditetapkan bahwa : *Flexural Strength (modulus of rupture)* : $S_c = 45 \text{ kg/cm}^2$

$$S_c' = 43,5 (E_c/10^6) + 488,5 \text{ psi} = 671 \text{ psi}$$

Penentuan parameter yang lain mengacu AASHTO *Guide for Design of Pavement Structures 1993*.

2.10. Kinerja Perkerasan jalan

Kinerja perkerasan jalan (*pavement performance*) meliputi 3 hal yaitu :

- 1) Keamanan, yang ditentukan oleh gesekan akibat adanya kontak antara ban dan permukaan jalan. Besarnya gaya gesek yang terjadi dipengaruhi oleh bentuk dan kondisi ban, tekstur permukaan jalan, kondisi cuaca dan lain sebagainya.
- 2) Wujud perkerasan, yang biasanya merupakan kondisi fisik dari jalan tersebut, seperti adanya retak-retak, amblas, alur, gelombang, dan lain sebagainya.
- 3) Fungsi pelayanan, sehubungan dengan bagaimana perkerasan jalan tersebut memberikan pelayanan kepada pemakai jalan. Wujud perkerasan dan fungsi pelayanan umumnya merupakan satu kesatuan yang dapat digambarkan dengan ”kenyamanan pengemudi”

2.11. Kerusakan pada Ruas jalan

Dalam mengevaluasi kerusakan jalan perlu ditentukan beberapa hal, tujuannya agar dapat ditentukan jenis penanganan yang sesuai, hal-hal tersebut diantaranya adalah :

- 1) Jenis kerusakan (*distress type*)
- 2) Tingkat kerusakan (*distress severity*)

3) Jumlah kerusakan (*distress amount*).

Kerusakan jalan terdiri dari kerusakan struktural dan fungsional. Kerusakan struktural mengindikasikan adanya kerusakan atau lebih pada komponen perkerasan jalan, sedangkan kerusakan fungsional mengindikasikan bahwa suatu jalan tidak dapat memberikan kemampuan sesuai fungsinya. Kerusakan jalan baik kerusakan struktural maupun kerusakan fungsional disebabkan diantaranya oleh beban berlebih, tekanan ban, kondisi iklim dan lingkungan serta rusaknya bahan penyusun perkerasan jalan.

Puslitbang Prasarana Transportasi (2005) menyebutkan jenis kerusakan jalan dapat dikelompokkan atas 2 macam yaitu :

1) Kerusakan Struktural

Kerusakan struktural adalah kerusakan pada ruas jalan, sebagian atau keseluruhannya, yang menyebabkan perkerasan jalan tidak lagi mampu mendukung beban lalu lintas. Untuk itu perlu adanya perkuatan struktur dari perkerasan dengan cara pemberian pelapisan ulang (*overlay*) atau perbaikan kembali terhadap perkerasan yang ada.

2) Kerusakan Fungsional

Kerusakan fungsional adalah kerusakan pada permukaan jalan yang dapat menyebabkan terganggunya fungsi jalan yang dapat menyebabkan terganggunya fungsi jalan tersebut. Kerusakan ini dapat berhubungan atau tidak dengan kerusakan struktural. Pada kerusakan fungsional perkerasan jalan masih mampu menahan beban yang bekerja namun tidak memberikan tingkat kenyamanan dan keamanan seperti yang diinginkan. Untuk itu lapis permukaan perkerasan harus dirawat agar permukaan kembali baik.

Kerusakan pada konstruksi perkerasan jalan dapat disebabkan oleh lalu lintas, air, material konstruksi perkerasan, iklim, suhu tanah dasar yang tidak stabil dan proses pemadatan yang tidak sesuai.

Umumnya kerusakan-kerusakan yang timbul itu tidak disebabkan oleh satu faktor saja, tetapi dapat merupakan gabungan dari penyebab yang saling terkait.

Jenis-jenis kerusakan jalan dapat berupa :

1) Retak (*cracking*)

Retak yang terjadi pada lapisan permukaan jalan dapat dibedakan atas :

- a. Retak halus (*hair cracking*)

Lebar celah lebih kecil atau sama dengan 3 mm, penyebabnya adalah bahan perkerasan yang kurang baik, tanah dasar atau bagian perkerasan di bawah lapis permukaan kurang stabil. Retak halus ini dapat meresapkan air ke dalam lapis permukaan. Untuk pemeliharaan dapat dipergunakan lapis latasir atau buras. Retak rambut dapat berkembang menjadi retak kulit buaya.
- b. Retak halus buaya (*alligator crack*)

Lebar celah lebih besar atau sama dengan 3 mm. Saling merangkai membentuk serangkaian kotak-kotak kecil yang menyerupai kulit buaya. Retak ini disebabkan oleh bahan perkerasan yang kurang baik, pelapukan permukaan, tanah dasar atau bagian perkerasan di bawah lapis permukaan kurang stabil, atau bahan lapis pondasi dalam keadaan jenuh air (air tanah baik)
- c. Retak pinggir (*edge crack*)

Retak memanjang jalan dengan atau tanpa cabang yang mengarah ke bahu jalan dan terletak dekat bahu. Retak ini disebabkan oleh tidak baiknya sokongan dari arah samping, drainase kurang baik, terjadinya penyusutan tanah, atau terjadinya *settlement* di bawah daerah tersebut.
- d. Retak sambungan bahu dan perkerasan (*edge joint crack*)

Retak memanjang yang umumnya terjadi pada sambungan bahu dengan perkerasan. Retak dapat disebabkan dengan kondisi drainase di bawah bahu jalan lebih buruk dari pada di bawah perkerasan, terjadinya *settlement* di bahu jalan, penyusutan material bahu atau perkerasan jalan, atau akibat lintasan truk/ kendaraan berat di bahu jalan. Perbaikan dapat dilakukan seperti perbaikan retak refleksi.
- e. Retak sambungan jalan (*lane joint crack*)

Retak memanjang yang terjadi pada sambungan 2 lajur lalu lintas. Hal ini disebabkan tidak baiknya ikatan sambungan kedua lajur.. Jika tidak diperbaiki, retak dapat berkembang menjadi lebar karena terlepasnya butir-butir pada tepi retak dan meresapnya air ke dalam lapisan
- f. Retak sambungan pelebaran jalan (*widening crack*)

Retak memanjang yang terjadi pada sambungan antara perkerasan lama dengan perkerasan pelebaran. Hal ini disebabkan oleh perbedaan daya dukung di bawah bagian pelebaran dan bagian jalan lama, dapat juga disebabkan oleh ikatan antara sambungan yang tidak baik. Jika tidak diperbaiki air dapat meresap masuk ke dalam lapisan perkerasan melalui celah-celah, butir-butir dapat lepas dan retak bertambah besar.

g. Retak refleksi (*reflection crack*)

Retak memanjang, melintang, diagonal, atau membentuk kotak. Terjadi pada lapis tambahan (*overlay*) yang menggambarkan pola retakan dibawahnya. Retak refleksi dapat terjadi jika retak pada perkerasan lama tidak diperbaiki secara baik sebelum pekerjaan *overlay* dilakukan.

Retak refleksi dapat pula terjadi jika gerakan vertikal/ horisontal dibawah lapis tambahan sebagai akibat perubahan kadar air pada jenis tanah ekspansif. Untuk retak memanjang, melintang, dan diagonal perbaikan dapat dilakukan dengan mengisi celah dengan campuran aspal cair dan pasir. Untuk retak berbentuk kotak perbaikan dilakukan dengan membongkar dan melapis kembali dengan bahan yang sesuai.

h. Retak susut (*shrinkage crack*)

Retak yang saling bersambungan membentuk kotak-kotak besar dengan sudut tajam. Retak disebabkan oleh perubahan volume pada lapisan permukaan yang memakai aspal dengan penetrasi rendah, atau perubahan volume pada lapisan pondasi dan tanah dasar. Perbaikan dapat dilakukan dengan mengisi celah dengan campuran aspal cair dan pasir dan melapis dengan burtu.

i. Retak selip (*slippage crack*)

Retak yang bentuknya melengkung seperti bulan sabit. Hal ini terjadi disebabkan oleh kurang baiknya ikatan antara lapis permukaan dengan lapis di bawahnya. Kurang baiknya ikatan dapat disebabkan oleh adanya debu, minyak, air, atau benda non-adhesif lainnya atau akibat tidak diberinya *tack coat* sebagai bahan pengikat di antara kedua lapisan. Retak selip pun dapat terjadi akibat terlalu banyaknya pasir dalam campuran lapisan permukaan, atau kurang baiknya pemadatan lapis permukaan. Perbaikan dapat dilakukan dengan membongkar bagian yang rusak dan menggantikannya dengan lapisan yang lebih baik.

2) Distorsi (*distortion*)

Distorsi/ perubahan bentuk dapat terjadi akibat lemahnya tanah dasar, pemadatan yang kurang pada lapis pondasi, sehingga terjadi tambahan pemadatan akibat beban lalu lintas. Sebelum perbaikan dilakukan sebaiknya ditentukan terlebih dahulu jenis dan penyebab distorsi yang terjadi. Dengan demikian dapat ditentukan jenis penanganan yang cepat.

Distorsi (*distortion*) dapat dibedakan atas :

a. Alur (*ruts*)

Adalah alur yang terjadi pada lintasan roda sejajar dengan as jalan. Alur dapat merupakan tempat menggenangnya air hujan yang jatuh di atas permukaan jalan, mengurangi tingkat kenyamanan, dan akhirnya dapat timbul retak-retak. Terjadinya alur disebabkan oleh lapis perkerasan yang kurang padat, dengan demikian terjadi tambahan pemadatan akibat repetisi beban lalu lintas pada lintasan roda. Campuran aspal dengan stabilitas rendah dapat pula menimbulkan deformasi plastis..

b. Keriting (*corrugation*)

Adalah alur yang terjadi pada sisi melintang jalan. Dengan timbulnya lapisan permukaan yang keriting ini pengemudi akan merasakan ketidaknyamanan mengemudi. Penyebab kerusakan ini adalah rendahnya stabilitas campuran yang berasal dari terlalu tingginya kadar aspal, terlalu banyak mempergunakan agregat berbentuk bulat dan permukaan penetrasi yang tinggi. Keriting dapat juga terjadi jika lalu lintas dibuka sebelum perkerasan mantap (untuk perkerasan yang mempergunakan aspal cair).

c. Sungkur (*shoving*)

Deformasi plastis yang terjadi setempat, ditempat kendaraan sering berhenti, kelandaian curam, dan tikungan tajam. Kerusakan dapat terjadi dengan/ tanpa retak. Penyebab kerusakan sama dengan kerusakan keriting.

d. Amblas (*grade depression*)

Terjadi setempat, dengan atau tanpa retak. Amblas dapat terdeteksi dengan adanya air yang tergenang. Air tergenang ini dapat meresap ke dalam lapisan perkerasan yang akhirnya menimbulkan lubang. Penyebab amblas adalah

beban kendaraan yang melebihi apa yang direncanakan, pelaksanaan yang kurang baik, atau penurunan bagian perkerasan dikarenakan tanah dasar mengalami *settlement*.

e. Jembul (*upheaval*)

Terjadi setempat, dengan atau tanpa retak. Hal ini terjadi akibat adanya pengembangan tanah dasar pada tanah dasar ekspansif.

3) Cacat permukaan (*disintegration*)

Kerusakan yang mengarah kepada kerusakan secara kimiawi dan mekanis dari lapisan perkerasan.

Yang termasuk dalam cacat permukaan ini adalah :

a. Lubang (*potholes*)

Berupa mangkuk, ukuran bervariasi dari kecil sampai besar. Lubang-lubang ini menampung dan meresapkan air ke dalam lapis permukaan yang menyebabkan semakin parahnya kerusakan jalan.

Lubang dapat terjadi akibat :

a) Campuran material lapis permukaan jelek, seperti :

- i. Kadar aspal rendah, sehingga film aspal tipis dan mudah lepas.
- ii. Agregat kotor sehingga ikatan antara aspal dan agregat tidak baik.
- iii. Temperatur campuran tidak memenuhi persyaratan

b) Lapis permukaan tipis sehingga ikatan aspal dan agregat mudah lepas akibat pengaruh cuaca.

c) Sistem drainase jelek, sehingga air banyak yang meresap dan mengumpul dalam lapis perkerasan.

d) Retak-retak yang terjadi tidak segera ditangani sehingga air meresap dan mengakibatkan terjadinya lubang-lubang kecil.

b. Pelepasan Butir (*ravelling*)

Dapat terjadi secara meluas dan mempunyai efek serta disebabkan oleh hal yang sama dengan lubang. Dapat diperbaiki dengan memberikan lapisan tambahan diatas lapisan yang mengalami pelepasan butir setelah lapisan tersebut dibersihkan, dan dikeringkan.

c. Pengelupasan lapisan permukaan (*stripping*)

Dapat disebabkan oleh kurangnya ikatan antara lapis permukaan dan lapis dibawahnya, atau terlalu tipisnya lapis permukaan. Dapat diperbaiki dengan cara digaruk, diratakan, dan dipadatkan. Setelah itu dilapisi dengan buras.

4) Pengaspalan (*Polished Agregate*)

Permukaan jalan menjadi licin, sehingga membahayakan kendaraan. Pengausan terjadi karena agregat berasal dari material yang tidak tahan aus terhadap roda kendaraan, atau agregat yang dipergunakan berbentuk bulat dan licin, tidak berbentuk *cubical*. Dapat diatasi dengan menutup lapisan dengan latasir, buras, atau latasbun.

5) Kegemukan (*bleeding or flushing*)

Permukaan menjadi licin. Pada temperatur tinggi, aspal menjadi lunak dan akan terjadi jejak roda. Berbahaya bagi kendaraan. Kegemukan (*bleeding*) dapat disebabkan pemakaian kadar aspal yang tinggi pada campuran aspal, pemakaian terlalu banyak aspal pada pekerjaan *prime coat* atau *tack coat*. Dapat diatasi dengan menaburkan agregat panas dan kemudian dipadatkan, atau lapis aspal diangkat dan kemudian diberi lapisan penutup.

2.12. Program Penanganan Jalan

Program penanganan jalan yang dilakukan oleh pihak Bina Marga selaku penanggung jawab sarana dan prasarana transportasi tetapi sekarang dalam pelaksanaannya disesuaikan dengan kondisi ruas jalan dan daerah tersebut. Grafik Penanganan jalan dapat di lihat pada gambar 2.14. Program penanganan jalan tersebut antara lain :

1) Pemeliharaan Rutin

Program ini dilakukan mulai awal konstruksi jalan dan seterusnya. Penanganan ini dilakukan untuk menangani kerusakan-kerusakan yang relatif ringan yaitu kerusakan antara 0 sampai 5 % dan juga penanganan ini dilakukan untuk menjaga atau mempertahankan kondisi dan kualitas jalan agar tetap dapat berfungsi. Contohnya adalah pengecatan marka jalan, perbaikan lubang dalam skala kecil dan lain-lain.

2) Penanganan Rehabilitasi

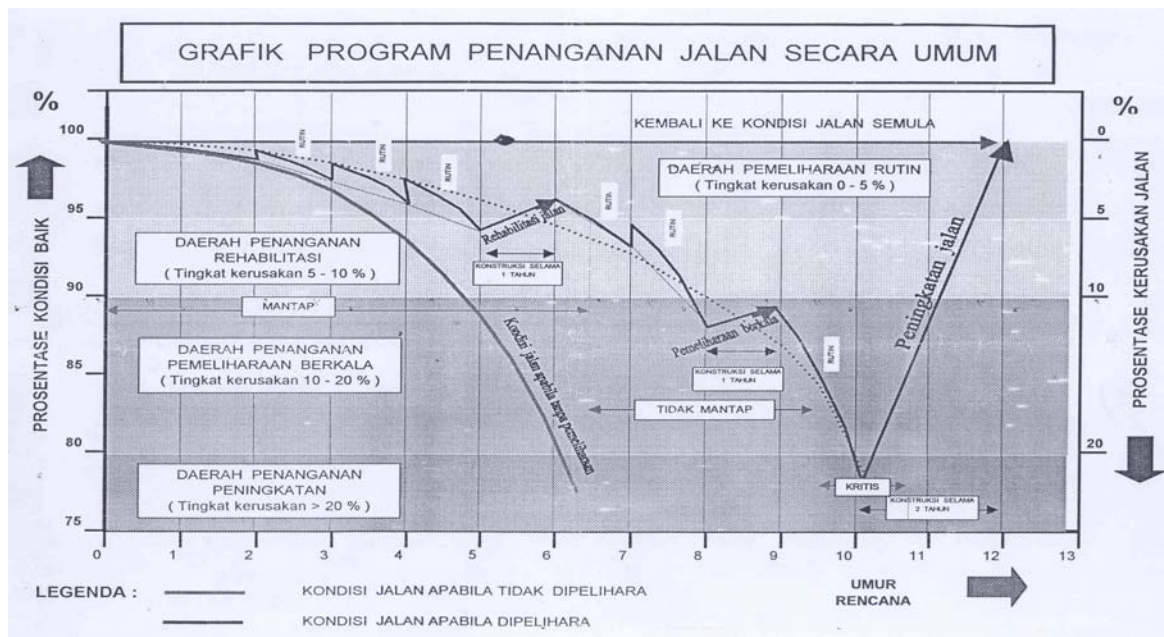
Penanganan rehabilitasi adalah penanganan kondisi jalan yang mempunyai tingkat kerusakan antara 5 % sampai 10 %. Penanganan ini dilakukan apabila ada kerusakan jalan berupa lubang atau retak-retak dalam skala besar sehingga perlu penambalan. Biasanya dilakukan dalam setiap 1 tahun sekali.

3) Penanganan Pemeliharaan Berkala

Pemeliharaan berkala setingkat lebih tinggi dari penanganan rehabilitasi. Pemeliharaan berkala dilakukan untuk kondisi jalan yang mempunyai tingkat kerusakan antara 10 % sampai 20 %. Contoh kerusakan jalan berupa lubang besar dalam skala luas sehingga perlu perbaikan berupa *overlay* yaitu pelapisan ulang.

4) Penanganan Peningkatan

Penanganan peningkatan adalah penanganan yang mempunyai tingkatan paling tinggi. Peningkatan karena kondisi jalan sudah tidak mampu melayani kebutuhan transportasi dalam hal ini kapasitas jalan sudah tidak memenuhi kebutuhan akan transportasi (lalu lintas padat). Kondisi kerusakan lebih dari 20 % seperti retak-retak dan lubang besar dalam skala luas dan terus menerus sepanjang tahun sehingga perlu adanya peningkatan jalan agar kembali ke fungsi semula contohnya dengan pelebaran jalan atau pergantian perkerasan.



Gambar 2.14

Grafik Program Penanganan Jalan

2.13. Hipotesa

Dengan mempertimbangkan permasalahan yang ada, tinjauan pustaka dapat disusun hipotesa sebagai berikut :

- 1) Dilihat secara visual jenis kerusakan jalan Lingkar Kudus berupa retak dan berlubang yang berawal dari skala kecil menjadi skala besar, hal ini diakibatkan karena adanya kerusakan struktur lapisan tanah yang diakibatkan daya dukung tanah yang tidak mampu menahan beban atau mengalami penurunan daya dukung. Kerusakan structural lapisan perkerasan dimungkinkan karena kondisi geologi daerah tersebut yang merupakan daerah dataran alluvial sehingga walaupun sudah dilakukan perbaikan berulang-ulang tetap saja jalan ini terus menerus mengalami kerusakan. Ditambah dengan lalu lintas yang melewati jalan lingkar Kudus merupakan kendaraan bermuatan berat menambah kerusakan jalan yang sudah ada.
- 2) Terjadi perubahan CBR lapisan tanah perkerasan yaitu lapis pondasi dan lapisan tanah timbunan / *subgrade* serta tanah asli akibat adanya perubahan kadar air yang mencerminkan perubahan musim hujan dan kemarau.