



BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Jalan

Jalan adalah prasarana transportasi utama yang berperan penting dalam menghubungkan suatu lokasi ke lokasi lainnya bagi setiap pengguna yang melintas. Agar jalan dapat berfungsi dengan optimal, perlu dilakukan berbagai upaya peningkatan kualitasnya. Seiring dengan bertambahnya jumlah kendaraan bermotor, volume lalu lintas pun semakin meningkat, sementara kapasitas jalan tetap terbatas (Supiyono, 2023).

Pengertian Jalan Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2022 Pasal 1 tentang jalan, Sebagai berikut:

1. Jalan merupakan sarana transportasi darat yang mencakup seluruh bagian jalan, termasuk struktur penghubung, pelengkap, serta perlengkapan lainnya yang digunakan untuk lalu lintas.
2. Jalan Umum adalah jenis jalan yang ditujukan untuk digunakan oleh masyarakat luas dalam kegiatan lalu lintas sehari-hari.
3. Jalan Bebas Hambatan adalah bentuk Jalan Umum yang dirancang untuk lalu lintas tanpa hambatan, dengan akses masuk yang dikendalikan sepenuhnya, tanpa perpotongan sebidang, serta dilengkapi pagar pembatas di area milik jalan.
4. Jalan Tol merupakan bagian dari Jalan Bebas Hambatan yang menjadi bagian dari jaringan jalan nasional. Jalan ini hanya dapat digunakan oleh pengguna yang membayar tarif tertentu.
5. Jalan Khusus adalah jalan yang dibangun dan dikelola untuk keperluan pribadi oleh berbagai pihak, seperti BUMN, BUMD, badan usaha baik berbadan hukum maupun tidak, individu, kelompok masyarakat, atau instansi pemerintah pusat/daerah yang bukan penyelenggara jalan umum.

2.1.1 Klasifikasi Jalan

Berikut ini adalah klasifikasi jalan menurut fungsi jalan, kelas jalan, medan jalan dan status jalan.

1 Klasifikasi jalan menurut fungsi jalan

Klasifikasi jalan menurut fungsi jalan terbagi atas:



- Jalan arteri adalah jalan yang melayani angkutan utama dengan ciri-ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, dan jumlah jalan masuk dibatasi secara efisien.
- Jalan Kolektor adalah jalan yang melayani angkutan pengumpul/pembagi dengan ciri-ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang dan jumlah jalan masuk dibatasi.
- Jalan Lokal adalah jalan yang melayani angkutan setempat dengan ciri - ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata-rata rendah, dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi.
- Jalan lingkungan adalah jalan umum yang berfungsi melayani angkutan lingkungan dengan ciri perjalanan jarak dekat, dan kecepatan rata-rata rendah.

2 Klasifikasi jalan menurut kelas jalan

Klasifikasi jalan menurut kelas jalan berkaitan dengan kemampuan jalan untuk menerima beban lalu lintas, dinyatakan dalam muatan sumbu terberat (MST) dalam satuan Ton, dan kemampuan jalan tersebut dalam melayani lalu lintas kendaraan dengan dimensi tertentu. Dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Klasifikasi Jalan Menurut Kelas

Kelas Jalan	Fungsi Jalan	Dimensi Kendaraan Maksimum			Muatan sumbu terberat (Ton)
		Lebar (m)	Panjang (m)	Tinggi (m)	
I	Arteri, Kolektor	$\leq 2,55$	≤ 18	$\leq 4,2$	10
II	Arteri, Kolektor, lokal, lingkungan	$\leq 2,55$	≤ 12	$\leq 4,2$	8
III	Arteri, Kolektor, lokal, lingkungan	$\leq 2,1$	≤ 9	$\leq 3,5$	8
Khusus	Arteri	$> 2,55$	> 18	$\leq 4,2$	> 10

(Sumber: pedoman desain geometrik jalan. (2021))

3 Klasifikasi jalan menurut medan jalan

Medan jalan diklasifikasikan berdasarkan kondisi sebagian besar kemiringan medan yang diukur tegak lurus garis kontur dapat dilihat pada Tabel 2.2.



Tabel 2. 2 Klasifikasi Jalan Menurut Medan Jalan

No.	Jenis medan	Notasi	Medan
1.	Datar	D	<10
2.	Perbukitan	B	10 – 25
3.	Pegunungan	G	>25

(Sumber: pedoman desain geometrik jalan. (2021))

4 Klasifikasi jalan menurut Status jalan

Sesuai dengan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2022 Pasal 9 tentang Jalan, maka sesuai dengan kewenangan / status, maka jalan umum dikelompokkan sebagai berikut:

- Jalan umum menurut statusnya dikelompokkan ke dalam jalan nasional, jalan provinsi, jalan kabupaten, jalan kota, dan jalan desa.
- Jalan Nasional adalah jalan arteri dan jalan kolektor dalam sistem jaringan Jalan Kolektor Primer yang menghubungkan antar ibukota provinsi, Jalan Tol serta Jalan Strategis Nasional.
- Jalan Provinsi adalah Jalan Kolektor dalam sistem jaringan jalan Primer yang menghubungkan ibukota provinsi dengan ibukota kabupaten atau kota, atau antar ibukota kabupaten / kota dan Jalan Strategis Provinsi.
- Jalan Kabupaten adalah jalan lokal dalam sistem jaringan jalan primer yang menghubungkan ibukota kabupaten dengan ibukota kecamatan, antaribukota kecamatan, ibukota kabupaten dengan pusat kegiatan lokal, antarpusat kegiatan lokal, serta jalan umum dalam sistem jaringan jalan sekunder dalam wilayah kabupaten, dan jalan strategis kabupaten.
- Jalan Kota adalah jalan umum dalam sistem jaringan jalan sekunder yang menghubungkan antarpusat pelayanan dalam kota, menghubungkan pusat pelayanan dengan persil, menghubungkan antarpersil, serta menghubungkan antarpusat permukiman yang berada di dalam kota.
- Jalan Desa merupakan jalan umum yang menghubungkan kawasan dan / atau antarpermukiman di dalam desa, serta jalan lingkungan.

2.1.2 Kemiringan jalan

Standar kemiringan jalan dan bahu jalan di Indonesia umumnya mengacu pada peraturan Direktorat Jenderal Bina Marga. Berikut rincian kemiringan berdasarkan fungsinya:



1. Kemiringan Melintang Jalur Lalu Lintas (Jalan Utama)

Kemiringan ini dibuat dari tengah jalan miring ke arah samping (seperti atap rumah) agar air hujan cepat mengalir dan tidak membuat ban kendaraan selip (*aquaplaning*). Standarnya Aspal atau Beton adalah 2% sampai 3%.

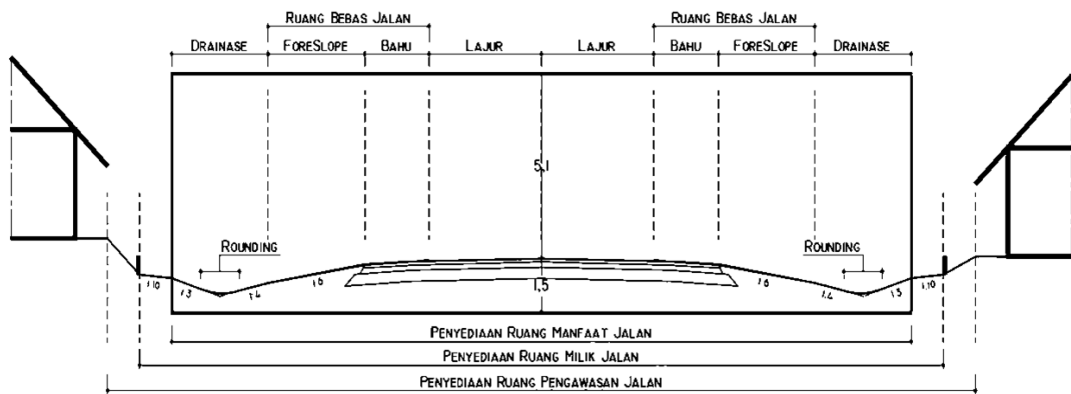
2. Kemiringan Bahu Jalan

Bahu jalan (area di samping jalur aspal utama) harus dibuat lebih miring daripada jalan utama. Tujuannya supaya air dari jalan utama tidak berhenti di bahu jalan, tapi langsung masuk ke selokan. Bahu Jalan (Aspal/Beton) dengan Kemiringannya antara 3% sampai 5%.

2.1.3 Ruang Jalan

Berikut ini adalah beberapa ruang jalan Ruang-ruang jalan tersebut diilustrasikan pada gambar 2.1:

1. Ruang bebas jalan (Rubeja) area sisi jalan yang bersih dari objek berbahaya seperti segala bentuk bangunan atau penghalang atau bentuk muka tanah yang berisiko tertabrak oleh kendaraan yang mengalami hilang kendali keluar dari jalur lalu lintas, sehingga area tersebut dapat dilalui kendaraan serta kembali ke lajur lalu lintasnya atau dapat berhenti dengan selamat.
2. Ruang manfaat jalan (Rumaja) ruang sepanjang jalan yang meliputi badan jalan, saluran tepi jalan untuk drainase permukaan, talud timbunan atau talud galian, dan ambang pengaman jalan yang dibatasi oleh tinggi dan kedalaman tertentu dari muka perkerasan.
3. Ruang milik jalan (Rumija) ruang sepanjang jalan yang diperuntukkan bagi ruang manfaat jalan, pelebaran jalan, dan penambahan jalur lalu lintas di masa akan datang, serta kebutuhan ruangan untuk pengamanan jalan.
4. Ruang pengawasan jalan (Ruwasja) ruang sepanjang jalan di luar ruang milik jalan yang dibatasi oleh lebar dan tinggi tertentu, dan diperuntukkan bagi pandangan bebas pengemudi dan pengamanan konstruksi jalan serta pengamanan fungsi jalan.



Gambar 2. 1 Ruang jalan pada tipikal Jalan 2/2-TT
(Sumber: pedoman desain geometric jalan (2021))

2.2 Perkerasan Kaku

Perkerasan kaku (*rigid pavement*) adalah perkerasan yang menggunakan semen sebagai bahan pengikatnya, pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. (Ros Anita Sidabutar, 2021).

Jenis perkerasan kaku atau juga disebut *Rigid Pavement* merupakan alternatif perkerasan di Indonesia yang cukup banyak digunakan dikarenakan cukup kuat dan tanah lebih lama dibandingkan dengan perkerasan lentur (*flexible pavement*). Perkerasan beton semen terdiri atas empat (4) jenis yaitu perkerasan beton bersambung tanpa tulang, perkerasan beton dengan tulangan, perkerasan beton semen menerus dengan tulangan dan perkerasan beton semen pra-tegang. Lapisan perkerasan di tanah asli dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Lapisan Perkerasan di Tanah Asli
(Sumber: Mohammad Rafii Tiara Manggala, 2022))

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 permukaan kadar air selama masa pelayanan.



Tabel 2. 3 Kelebihan dan kekurangan perkerasan kaku

Kelebihan Perkerasan Kaku	Kekurangan Perkerasan Kaku
Lebih kuat dan awet, sehingga umur lebih panjang.	Biaya awal dan biaya perbaikan konstruksi yang relatif tinggi.
Biaya pemeliharaan lebih rendah, karena pemeliharaan yang minim.	Membutuhkan waktu sampai campuran cukup kuat untuk bisa dilalui.
Distribusi beban yang lebih luas.	Tidak nyaman untuk dilalui kendaraan.
Dampak terhadap lingkungannya lebih rendah.	Bisa menyebabkan silau karena pantulan cahaya matahari.

(Sumber: *kompasiana*)

2.2.1 Bahan Pengikat

Dalam konstruksi jalan, bahan pengikat adalah material yang digunakan untuk merekatkan atau menyatukan agregat (batu pecah, kerikil, pasir, dll) sehingga membentuk struktur jalan yang kuat dan tahan lama. Jenis bahan pengikat yang digunakan tergantung pada jenis jalan yang dibangun (jalan aspal, jalan beton, jalan tanah, dll). Berikut ini penjelasan mengenai beberapa jenis bahan pengikat yang umum digunakan:

1. Aspal merupakan bahan pengikat yang paling umum digunakan dalam pembangunan jalan fleksibel atau jalan beraspal. Aspal bersifat termoplastik, artinya ia akan lunak ketika dipanaskan dan mengeras saat mendingin. Aspal digunakan untuk merekatkan agregat seperti batu pecah dan pasir sehingga membentuk permukaan jalan yang lentur namun kuat. Ada beberapa jenis aspal yang sering digunakan, seperti aspal keras (*hot mix*) yang dicampur dengan agregat dalam suhu tinggi, aspal emulsi yang berbentuk cair karena dicampur air dan emulsifier, serta aspal cair (*cut-back*) yang menggunakan pelarut agar mudah diaplikasikan.
2. Semen, atau lebih tepatnya semen Portland, digunakan sebagai bahan pengikat dalam pembangunan jalan beton atau jalan kaku. Berbeda dengan aspal, semen mengikat agregat dengan proses kimia yang disebut hidrasi, yaitu reaksi antara semen dan air yang menghasilkan pengerasan secara permanen. Beton yang dihasilkan dari campuran semen, agregat, dan air ini sangat kuat dan cocok digunakan pada jalan yang menanggung beban berat dan frekuensi lalu lintas tinggi.

2.2.2 Agregat

Berdasarkan Silvia Sukirman, (2003), agregat merupakan butir-buah batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain, baik yang asal berasal alam juga sintesis yg berbentuk



mineral padat berupa berukuran besar maupun kecil atau fragmen-fragmen. Agregat merupakan komponen primer dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90% – 95% agregat sesuai persentase berat, atau 75 – 85% agregat berdasarkan persentase volume. menggunakan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat serta akibat campuran agregat dengan material lain.

1. Jenis Agregat

Agregat dapat dibedakan berdasarkan proses terjadinya, yaitu

- Batuan batuan beku (*igneous rock*) agregat yang berasal dari magma yang mendingin dan membeku. Batuan beku luar (*extrusive igneous rock*) dibentuk dari magma yang keluar ke permukaan bumi di saat gunung berapi meletus, dan akibat pengaruh cuaca mengalami pendinginan dan membeku. Umumnya agregat beku luar berbutir halus seperti batu apung, andesit, basalt, obsidian, pumice. Batuan beku dalam (*intrusive igneous rock*) dibentuk dari magma yang tak dapat keluar ke permukaan bumi, mengalami pendinginan dan membeku secara perlahan-lahan di dalam bumi, dapat ditemui di permukaan bumi karena proses erosi dan atau gerakan bumi. Batuan beku dalam umumnya bertekstur kasar seperti, gabbro, diorit, syenit.
- Batuan sedimen (*sedimentary rock*) dapat berasal dari campuran partikel mineral, sisa-sisa hewan dan tanaman yang mengalami pengendapan dan pembekuan. Pada umumnya merupakan lapisan lapisan pada kulit bumi, hasil endapan di danau, laut dan lain sebagainya.
- Batuan metamorfik (*metamorphic rocks*) adalah batuan sedimen ataupun batuan beku yang mengalami proses perubahan bentuk akibat adanya perubahan tekanan dan temperatur kulit bumi. Berdasarkan strukturnya dapat dibedakan atas batuan metamorf yang masif seperti marmer, kwarsit, dan batuan metamorf yang berfoliasi, berlapis seperti batu sabak, filit, sekis.

2.2.3 Filler

Filler adalah bahan pengisi rongga dalam campuran (*void in the mix*) yang berbutir halus. Fungsi *filler* pada perkerasan adalah untuk meningkatkan stabilitas dan mengurangi rongga udara dalam campuran, sehingga walaupun kecil filler memiliki kegunaan yang sangat besar sekali pengaruhnya.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang memperbanyak atau mendistribusikan dokumen ini untuk tujuan komersial tanpa izin tertulis dari penulis atau pihak berwenang.
Penggunaan untuk kepentingan akademik, penelitian, dan pendidikan diperbolehkan dengan mencantumkan sumber.
2. Penggunaan tanpa izin untuk kepentingan komersial atau pelanggaran hak cipta dapat dikenakan sanksi sesuai dengan UU Hak Cipta di Indonesia.
3. Universitas hanya berhak menyimpan dan mendistribusikan dokumen ini di repositori akademik, tanpa mengalihkan hak cipta penulis, sesuai dengan peraturan yang berlaku di Indonesia.

Universitas Islam Indragiri

2.2.4 Jenis Perkerasan Kaku

Perkerasan beton semen adalah struktur jalan yang menggunakan pelat beton sebagai lapis aus sekaligus lapis pondasi yang menahan beban kendaraan terbagi menjadi 3 (tiga) jenis:

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

2.3 Perencanaan Perkerasan Kaku Metode Bina Marga 2024

Perencanaan Perkerasan kaku ini mengacu pada pedoman Buku Bina Marga yaitu “*Manual Desain perkerasan jalan*” tahun 2024. Perancangan perkerasan kaku dalam MDP 2024 menggunakan metode mekanistik empirik dari *Portland Cement Association*. Dalam perencanaan ini ada beberapa tahapan sebagai berikut:

2.3.1 Umur Rencana

Umur rencana perkerasan jalan baru dijelaskan dan dapat dilihat pada Tabel 2.4 berikut ini.

Tabel 2. 4 Umur rencana perkerasan jalan baru (UR)

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (tahun)
Perkerasan lentur	Lapisan aspal dan Lapisan Berbutir	20
	Lapis Pondasi jalan	40
	Semua perkerasan untuk lokasi yang tidak dimungkinkan pelapisan ulang (overlay), seperti: jalan perkotaan, underpass, jembatan, dan terowongan	
	Lapis Pondasi Berpengikat Semen, Cement Treated Based (CTB)	
Perkerasan kaku	Lapis Pondasi atas, lapis Pondasi bawah, lapis beton semen, dan Pondasi jalan	10
Jalan tanpa penutup	Semua elemen (termasuk Pondasi jalan)	

(Sumber: *Manual Desain perkerasan jalan* (2024))

2.3.2 Beban Lalu Lintas

Parameter yang penting dalam analisis struktur perkerasan adalah data lalu lintas yang diperlukan untuk menghitung beban lalu lintas rencana yang dipikul oleh perkerasan selama umur rencana.



1 Analisis Lalu Lintas

Elemen utama beban lalu lintas dalam desain adalah:

- Volume lalu lintas untuk setiap kelas kendaraan.
- Beban gandar kendaraan niaga dinyatakan dalam beban ekuivalen sumbu standar (ESAL).

Analisis volume lalu lintas didasarkan pada survei yang diperoleh dari:

Survei lalu lintas, dengan durasi minimal 7 x 24 jam. Survei dapat dilakukan secara manual mengacu pada Pedoman Survei Pencacahan Lalu Lintas (Pd T-19-2004-B) atau mengacu pada pedoman yang terbaru atau survei menggunakan peralatan dengan pendekatan yang sama.

Dalam analisis lalu lintas, penentuan volume lalu lintas pada jam sibuk dan Lalu Lintas Harian Rata-rata Tahunan (LHRT) mengacu pada Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI). Penentuan nilai LHRT didasarkan pada data survei volume lalu lintas dengan mempertimbangkan faktor k.

2 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Faktor pertumbuhan lalu lintas harus berdasarkan data-data pertumbuhan series (*historical growth data*) atau formulasi korelasi dengan faktor pertumbuhan lain yang berlaku. Jika tidak tersedia dapat menggunakan Tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Faktor laju pertumbuhan lalu lintas, i (%)

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

(Sumber: Manual Desain perkerasan jalan (2024))

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

$$R = \frac{(1+i)^{UR}-1}{i} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif

I = Laju pertumbuhan lalu lintas tahunan (%)

UR = Umur rencana (tahun)



3 Jenis Kendaraan

Sistem klasifikasi kendaraan adalah pengelompokan kendaraan berdasarkan karakteristik tertentu, seperti jumlah sumbu, jumlah roda, berat kendaraan, fungsi kendaraan, dan jenis muatan, yang digunakan untuk keperluan perencanaan lalu lintas, perancangan perkerasan jalan, serta analisis beban lalu lintas. Sistem ini bertujuan untuk menyederhanakan identifikasi jenis kendaraan di jalan sehingga data lalu lintas dapat dianalisis secara lebih terstruktur dan akurat dalam perencanaan dan evaluasi infrastruktur jalan. Klasifikasi kendaraan yang digunakan dalam penelitian ini terlihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Klasifikasi dan konfigurasi sumbu kendaraan

Klasifikasi Kendaraan	Uraian	Konfigurasi Sumbu	Kelompok sumbu	Skema Konfigurasi
1	Sepeda motor dan kendaraan roda-3			
2	Kendaraan ringan - sedan, jeep, dan station wagon	1.1	2	
3	Kendaraan ringan - angkutan umum sedang	1.1	2	
4	Kendaraan ringan - pick up, micro truck	1.1	2	
5A	Bus kecil	1.1	2	
5B	Bus besar	1.2	2	
6A	Truk 2 sumbu-truk ringan	1.1	2	
6B	Truk 2 sumbu-truk sedang	1.2	2	
7A1	Truk 3 sumbu-berat	11.2	2	
7A2	Truk 3 sumbu-berat	1.22	2	
7A3	Truk 4 sumbu-berat	11.22	2	
7B1	Truk 4 sumbu-berat	1.2+2.2	4	
7B2	Truk 5 sumbu-berat	11.2+2.2	4	
7B3	Truk 5 sumbu-berat	1.22+2.2	4	
7C1	Truk 4 sumbu-berat	1.2-22	3	
7C2A	Truk 5 sumbu-berat	1.22-22	3	
7C2B	Truk 5 sumbu-berat	1.2-222	3	
7C3	Truk 6 sumbu-berat	1.22-222	3	
7C4	Truk 7 sumbu-berat	1.22-2222	3	
8	Kendaraan tak bermotor			

(Sumber: Manual Desain perkerasan jalan (2024))

1. Sebaran Kelompok Sumbu Kendaraan Niaga

Desain perkerasan kaku menggunakan Jumlah Kelompok Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN) dan bukan nilai ESA sebagai satuan beban lalu lintas untuk perkerasan beton. Lalu lintas harus dianalisis berdasarkan hasil perhitungan volume lalu lintas dan konfigurasi sumbu. Adapun faktor ekuivalen perkerasan kaku terlihat pada Tabel 2.7.



1. Dilarang memperbanyak atau mendistribusikan dokumen ini untuk tujuan komersial tanpa izin tertulis dari penulis atau pihak berwenang.
2. Penggunaan untuk kepentingan akademik, penelitian, dan pendidikan diperbolehkan dengan mencantumkan sumber.
3. Plagiarisme juga dilarang dan dapat dikenakan sanksi.
3. Universitas hanya berhak menyimpan dan mendistribusikan dokumen ini di repositori akademik, tanpa mengalihkan hak cipta penulis, sesuai dengan peraturan yang berlaku di Indonesia.

Tabel 2. 7 Faktor ekuivalen beban sumbu standar untuk perkerasan kaku

Beban Kelompok Sumbu (kN)	1 STRT (%)	2 STRG (%)	3 STdRT (%)	4 STdRG (%)	5 STrRG (%)	6 SQdRG (%)
	a	b	c	d	e	f
10	0,01	0,04	1,69	0,00	0,00	0,00
20	5,24	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00
30	9,29	3,86	0,00	0,00	0,00	0,00
40	31,99	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00
50	34,81	2,47	0,00	0,06	0,00	0,00
60	11,50	7,41	0,00	0,03	1,52	0,00
70	5,53	11,51	3,39	0,29	0,00	0,00
80	1,18	17,67	3,39	0,54	1,52	0,00
90	0,41	15,44	3,39	0,96	0,00	0,00
100	0,05	10,88	15,25	2,14	1,52	0,00
110	0,00	9,01	11,86	2,80	0,00	0,00
120	0,00	4,62	11,86	3,73	1,52	0,00
130	0,00	3,38	11,86	4,56	0,00	0,00
140	0,00	3,47	10,17	6,05	1,52	0,00
150	0,00	8,62	25,42	6,63	3,03	0,00
160	0,00	0,01	1,69	7,68	4,55	0,00
170	0,00	0,00	0,00	7,52	1,52	0,00
180	0,00	0,00	0,00	5,86	7,58	0,00
190	0,00	0,00	0,00	5,13	4,55	0,00
200	0,00	0,00	0,00	4,33	6,06	0,00
210	0,00	0,00	0,00	4,72	7,58	0,00
220	0,00	0,00	0,00	4,88	6,06	0,00
230	0,00	0,00	0,00	3,09	7,58	0,00
240	0,00	0,00	0,00	2,71	9,09	0,00
250	0,00	0,00	0,00	2,84	4,55	0,00
260	0,00	0,00	0,00	2,61	4,55	0,00
270	0,00	0,00	0,00	4,05	0,00	0,00
280	0,00	0,00	0,00	2,45	3,03	0,00
290	0,00	0,00	0,00	2,26	3,03	0,00
300	0,00	0,00	0,00	1,59	4,55	0,00
310	0,00	0,00	0,00	10,39	0,00	0,00
320	0,00	0,00	0,00	0,06	1,52	0,00
330	0,00	0,00	0,00	0,03	1,52	0,00
340	0,00	0,00	0,00	0,00	1,52	0,00
350	0,00	0,00	0,00	0,00	4,55	0,00
360	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
370	0,00	0,00	0,00	0,00	4,55	0,00
380	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
390	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
410	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
420	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
430	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
440	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
450	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
460	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
470	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
480	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
490	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
500	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
510	0,00	0,00	0,00	0,00	1,52	0,00
520	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
530	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
540	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
550	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
560	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
JUMLAH	100	100	100	100	100	0

(Sumber: Manual Desain perkerasan jalan (2024))



2.3.3 Struktur Pondasi Jalan

Struktur lapisan pondasi jalan ada beberapa lapisan dengan disesuaikan perencanaan kondisi lapangan. Bagan desain lapisan pondasi jalan lentur dan kaku untuk struktur pondasi jalan dapat ditentukan dan dijelaskan pada Tabel 2.8 sebagai berikut.

Tabel 2. 8 Bagan Desain Pondasi Jalan Minimum

CBR Tanah Dasar (%)	Kelas Kekuatan Tanah Dasar	Uraian Struktur Pondasi	Perkerasan Lentur		Perkerasan kaku
			Beban Lalu Lintas Pada Jalur Rencana Dengan umur Rencana 40 Tahun (Juta ESA5)		
			<10	>10	
			Tebal Minimum Perbaikan Tanah Dasar (mm)		
5	SG5	Perbaikan tanah dengan material timbunan pilihan (CBR ≥ 10%)	200	200	200
4	SG4		300	400	400
3	SG3			600	600
2,5	SG2,5			600	600
Kekuatan tanah dasar < 2,5% atau tanah rusak			Tanah lunak dengan tebal > 1 m perlu penanganan geoteknik. Kalau ≤ 1 m, bisa diganti tanah timbunan dengan tebal minimal yang sama, sesuai ketentuan untuk tanah SG2,5 desain ini.		
Tanah Ekspansif			Penanganan dilakukan sesuai kajian geoteknik terhadap potensi mengembangnya tanah, dengan lapisan penutup minimal 600 mm dari material yang potensi mengembangnya ≤ 1,5%. Di atasnya, wajib ditambah lapis perbaikan SG2,5.		

(Sumber: Manual Desain perkerasan jalan (2024))

- Jika tanah dasar pada perkerasan kaku maupun perkerasan lentur masih berbutir halus, maka perlu dipasang lapisan setebal 200 mm. Lapisan ini dapat berupa timbunan pilihan dengan material berbutir kasar yang memiliki CBR minimal 30%, indeks plastisitas (PI) antara 6 hingga 15, serta ukuran butir maksimal 50 mm. Alternatif lain adalah menggunakan LFA Kelas C atau lapisan stabilisasi semen dengan kekuatan tekan bebas (UCS) sebesar 10 kg/cm².

1. Material Timbunan

Pada Bagan Desain menunjukkan tebal minimum material timbunan yaitu berupa tanah timbunan biasa dan timbunan pilihan untuk mencapai CBR desain 6% yang digunakan untuk pengembangan Katalog Desain tebal perkerasan. Apabila material timbunan akan digunakan untuk lalu lintas kendaraan konstruksi mungkin diperlukan yang lebih tebal. Pertimbangan dibawah ini berlaku dalam pelaksanaan pekerjaan timbunan.



- a. Jika lapisan tersebut terletak di bawah permukaan air harus digunakan material batuan. Dalam hal ini harus berupa material berbutir dengan kepekaan terhadap kadar air rendah.
- b. Dapat berfungsi sebagai lantai kerja yang kokoh sepanjang periode pelaksanaan.
- c. Elevasi permukaan material timbunan harus memenuhi persyaratan Tabel tinggi minimum tanah dasar di atas muka air tanah dan muka air banjir.
- d. Kedalaman alur roda pada permukaan tanah dasar akibat lalu lintas selama periode konstruksi tidak lebih dari 40 mm.
- e. Mencapai ketebalan tertentu sehingga permukaan tanah dasar dapat dipadatkan dengan menggunakan alat pemadat berat.
- f. Timbunan harus dipadatkan sesuai metode dan tingkat kepadatan yang ditentukan atau disetujui Pengawas. Pada bagian bawah, kepadatan cenderung lebih rendah dari 95% kepadatan kering maksimum. Untuk perkerasan kaku, pemadatan maksimal penting guna mencegah retak akibat perbedaan penurunan.
- g. Geotekstil
Jika tanah asli jenuh atau cenderung akan jenuh pada masa pelayanan, geotekstil sebagai pemisah harus dipasang di antara timbunan dan tanah asli. Material timbunan yang terletak langsung di atas geotekstil harus material berbutir.

2. Tanah Dasar

Dalam perancangan jalan, sebaiknya tidak membagi segmen terlalu pendek hanya karena variasi nilai CBR, melainkan mempertimbangkan apakah lebih efisien menyesuaikan desain dengan perubahan CBR di setiap segmen kecil atau menggunakan nilai CBR yang lebih rendah secara keseluruhan untuk segmen yang lebih panjang guna menyederhanakan konstruksi.

3. Pondasi Bawah

Bahan pondasi bawah terbagi menjadi 2 yaitu:

- a. Bahan dengan Pengikat (BP)
stabilisasi semen (*Cement Treated Based*, CTB);
beton kurus giling padat (*Lean Rolled Concrete*); atau
campuran beraspal.
- b. Beton Kurus (BK/*Lean Mix Concrete*).

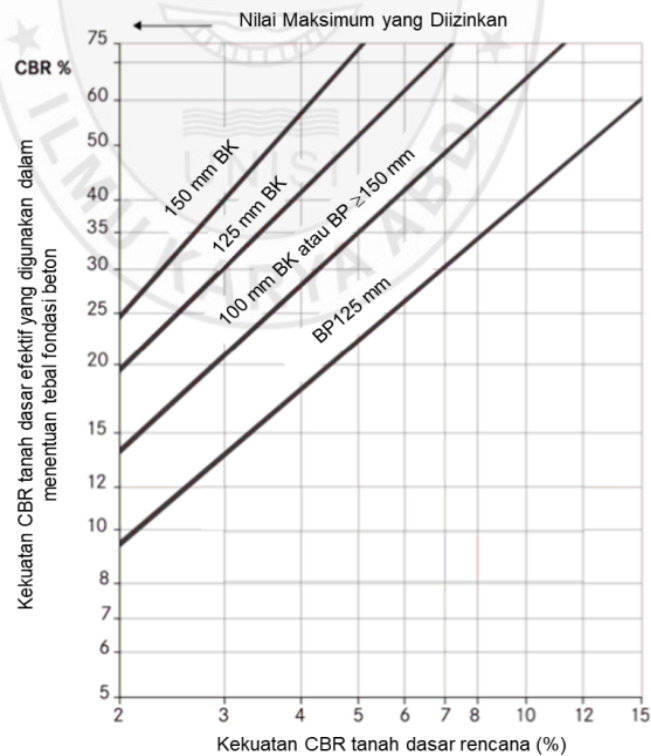
Lapis pondasi bawah harus diperlebar 400 mm di luar tepi perkerasan beton. Untuk tanah lunak dan ekspansif, perlu pertimbangan khusus dalam jenis dan lebar lapisan pondasi untuk mengatasi tegangan pengembangan. Pemasangan lapis fondasi dengan lebar yang mencakup tepi luar jalan bertujuan untuk mengurangi efek negatif tanah lunak dan tanah ekspansif. Beton kurus harus memenuhi SNI 6388:2015, AASHTO M-155, dan SNI 1743:2008. Jika desain rentan terhadap erosi, disarankan ketebalan minimum 150 mm untuk lapis pondasi beton kurus.

Perkerasan beton semen bersambung tanpa ruji direkomendasikan untuk dirancang menggunakan campuran beton kurus sebagai lapis pondasi bawah. Tebal lapis pondasi bawah minimum yang disarankan dapat dilihat pada Tabel 2.9. BP (Bahan Berpengikat) dan BK (Beton Kurus) serta CBR tanah dasar efektif didapat dari Gambar 2.3.

Tabel 2. 9 Tebal pondasi bawah minimum untuk perkerasan beton semen

Lalu Lintas Desain (JSKN)	Jenis Lapis Pondasi
Sampai dengan 10^6	BP 125 mm
10^6 Sampai dengan 5×10^6	BK 100 mm atau BP 150 mm
5×10^6 Sampai dengan 1×10^7	BK 125 mm
Lebih dari 1×10^7	BK 150 mm

(Sumber: Manual Desain perkerasan jalan (2024))



Gambar 2. 3 CBR tanah dasar efektif dan tebal pondasi bawah
(Sumber: Manual Desain perkerasan jalan (2024))



Lapis fondasi bawah dengan bahan pengikat (*Bound Sub-Base - BP*) dapat digunakan salah satu dari:

- Stabilisasi material berbutir (*Cement Treated Based, CTB*) harus mempunyai kuat tekan sebesar 3,5 – 4,5 MPa.
- Campuran beraspal bergradasi rapat (*Dense-Graded Asphalt*).
- Campuran beton kurus padat giling yang harus mempunyai kuat tekan karakteristik pada umur 28 hari minimum 5,5 MPa (55 kg/cm²).

Lapis Fondasi Bawah dengan Campuran Beton Kurus (*Lean-Mix Concrete*) Campuran Beton Kurus (BK) harus mempunyai kuat tekan beton karakteristik pada umur 28 (dua puluh delapan) hari pada rentang 8 – 11 MPa. Lapis pemecah ikatan fondasi bawah dan pelat, perencanaan ini didasarkan pada anggapan bahwa tidak ada ikatan antara pelat beton dengan lapis fondasi bawah di bawahnya. Lapis pemisah (*bond breaker*) dapat berupa lapisan membran kedap air dengan ketebalan 125 mikron atau bahan lain untuk jenis pemecah ikatan dan koefisien geseknya.

Tabel 2. 10 Nilai Koefisien Gesekan (μ)

No	Lapis Pemecah Ikatan	Koefisien Gesekan (μ)
1.	Lapis resap ikat aspal diatas permukaan fondasi bawah	1,0
2.	Laburan lilin (paraffin) tipis pemecah ikat	1,5
3.	Karet kompon perawatan beton (<i>A chlorinated rubber curing compound</i>)	2,0

(Sumber: *Manual Desain perkerasan jalan (2024)*)

2.3.4 Struktur lapisan perkerasan kaku

Pada Struktur lapisan perkerasan ini dibuat menggunakan Bagan Desain Perkerasan kaku untuk jalan dengan berbagai beban lalu lintas untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 2.11 bagan desain perkerasan kaku sebagai berikut:

Tabel 2. 11 Bagan Desain Perkerasan kaku

Komponen perkerasan	Keterangan
Jenis perkerasan	Perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan (<i>Jointed Plain Concrete Pavement</i>), beton semen bersambung dengan tulangan (JRCP), dan beton semen menerus dengan tulangan (CRCP).



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang memperbanyak atau mendistribusikan dokumen ini untuk tujuan komersial tanpa izin tertulis dari penulis atau pihak berwenang.

2. Penggunaan untuk kepentingan akademik, penelitian, dan pendidikan diperbolehkan dengan mencantumkan sumber.

3. Penggunaan tanpa izin untuk kepentingan komersial atau pelanggaran hak cipta dapat dikenakan sanksi sesuai dengan UU Hak Cipta di Indonesia.

Plagiarisme juga dilarang dan dapat dikenakan sanksi.

3. Universitas hanya berhak menyimpan dan mendistribusikan dokumen ini di repositori akademik, tanpa mengalihkan hak cipta penulis, sesuai dengan peraturan yang berlaku di Indonesia.

Universitas Islam Indragiri

Komponen perkerasan	Keterangan
Sambungan melintang	Harus dipotong dengan kedalaman seperempat sampai dengan sepertiga tebal beton. Dipasang ruji (dowel), berupa baja tulangan polos (BjTP 280), dengan jarak antar tulangan 300 mm, panjang dowel 450 mm, dan diameter dowel minimal seperdelapan tebal beton.
Sambungan memanjang	Dipasang batang pengikat (tie bar), berupa baja tulangan sirip (BjTS 420A), dengan jarak antar tulangan 600 mm, panjang tie bar 700 mm, dan diameter tie bar minimum 16 mm.
Bahu jalan	Dalam bentuk satu kesatuan dengan pelat beton lajur lalu lintas (monolit) dengan lebar minimum 600 mm atau dengan batang pengikat (tie bar) untuk lebar bahu jalan minimum 1500 mm dan harus menggunakan beton dengan kereb dan saluran beton (cerb and gutter) kualitas yang sama dengan lajur utama.
Lapis pondasi	Lapis pondasi disesuaikan dengan Subbab 2.3.3 (3)
Lapis drainase	Lapis pondasi agregat kelas A berfungsi sebagai lapis drainase setebal 200 mm untuk 2 lajur per arah dan untuk yang lebih dari 2 lajur per arah setebal 300 mm.
Lapis pemecah ikatan pondasi bawah dengan pelat (<i>base bond breaker</i>)	Berupa membran kedap air dengan tebal minimum 125 mikron khusus pada lapis pondasi berupa beton kurus.
Rasio dimensi slab beton (Panjang-Lebar)	Sekitar 1,25 (khusus untuk beton semen bersambung tanpa tulangan (<i>Jointed Plain Concrete Pavement</i>)).

(Sumber: Manual Desain perkerasan jalan (2024))

Tabel 2. 12 Ketebalan beton minimum

Jenis Perkerasan	Lalu Lintas Rencana		
	$1 \times 10^6 \leq \text{JSKN} < 1 \times 10^7$	$1 \times 10^7 \leq \text{JSKN} < 5 \times 10^7$	$\text{JSKN} \geq 5 \times 10^7$
JPCP	150 mm	200 mm	250 mm
JRCP	150 mm	180 mm	230 mm
CRCP	150 mm	180 mm	230 mm

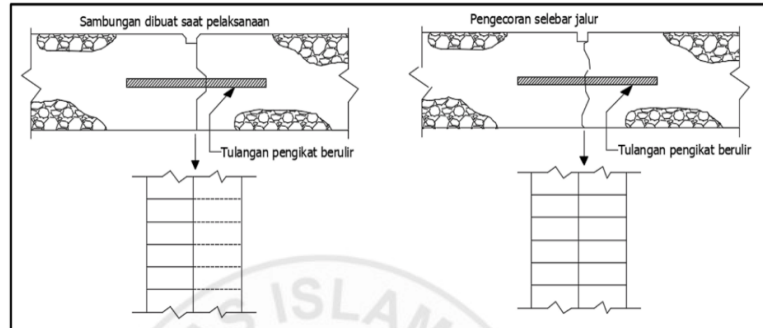
(Sumber: Manual Desain perkerasan jalan (2024))

2.3.5 Jenis sambungan

Pada perkerasan beton semen terdapat beberapa jenis sambungan antara lain:

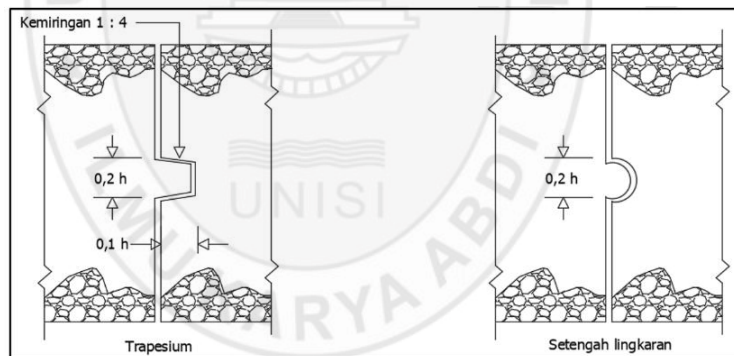
1. Sambungan memanjang dengan batang pengikat (*tie bars*).

Pemasangan sambungan memanjang ditujukan untuk mengendalikan terjadinya retak memanjang. Jarak antar sambungan memanjang sekitar 3-4 m.



Gambar 2. 4 Tipikal sambungan memanjang
(Sumber: Manual Desain perkerasan jalan (2024))

2. Sambungan pelaksanaan memanjang umumnya dilakukan dengan cara penguncian. Sebelum penghamparan pelat beton di sebelahnya, permukaan sambungan pelaksanaan harus dicat dengan aspal atau kapur tembok untuk mencegah terjadinya ikatan beton lama dengan yang baru.

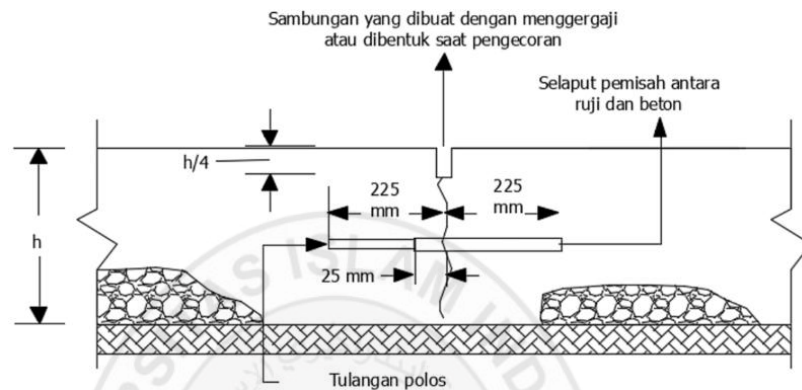


Gambar 2. 5 ukuran standar penguncian sambungan memanjang
(Sumber: Manual Desain perkerasan jalan (2024))

3. Sambungan susut memanjang dapat dilakukan dengan salah satu dari dua cara ini, yaitu menggergaji atau membentuk pada saat beton masih plastis dengan kedalaman sepertiga dari tebal pelat.
4. Sambungan susut dan sambungan pelaksanaan melintang Ujung, sambungan ini harus tegak lurus terhadap sumbu memanjang jalan dan tepi perkerasan. Untuk mengurangi beban dinamis, sambungan melintang harus dipasang dengan kemiringan 1:10 searah perputaran jarum jam.

- Sambungan susut melintang, kedalaman sambungan kurang lebih mencapai seperempat dari tebal pelat sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2. 6.

Jarak sambungan susut melintang untuk perkerasan beton bersambung tanpa tulangan sekitar 4-5 m, sedangkan untuk perkerasan beton bersambung dengan tulangan 8-15 m dan untuk sambungan perkerasan beton menerus dengan tulangan sesuai dengan kemampuan pelaksanaan.



Gambar 2. 6 Sambungan susut melintang dengan ruji
(Sumber: Manual Desain perkerasan jalan (2024))

2.3.6 Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku

Adapun tahapan – tahapan dalam perencanaan tebal perkerasan kaku metode Bina Marga sebagai berikut:

1. Beton Semen

Mutu beton semen harus dinyatakan dalam nilai kuat tarik lentur (flexural strength) umur 28 (dua puluh delapan) hari, yang didapat dari hasil pengujian balok dengan pembebanan tiga titik (ASTM C-78) yang besarnya minimal 4,5 MPa. 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 harus dilakukan berdasarkan pengujian laboratorium dengan material yang digunakan pada proyek yang akan dikerjakan atau dengan rumus berikut:

$$f_{cf} = K (f_c')^{0,50} \text{ dalam MPa atau} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$f_{cf} = 3,13 K (f_c')^{0,50} \text{ dalam kg/cm}^2 \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

f_c' : kuat tekan beton karakteristik 28 hari (kg/cm²)

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

K : konstanta 0,75 untuk agregat pecah



2. Bahu Beton

Perbedaan kekuatan antara bahu dengan jalur lalu lintas akan memberikan pengaruh pada kinerja perkerasan. Sehingga, bahu harus terbuat dari bahan yang sama dengan perkerasan beton semen, hal ini dilakukan untuk meningkatkan kinerja perkerasan. Yang dimaksud dengan bahu beton semen dalam Bab ini adalah bahu yang dikunci dan diikat dengan lajur lalu lintas dengan lebar minimum 1,50 m, atau bahu yang menyatu dengan lajur lalu lintas selebar 0,60 m, yang juga dapat mencakup saluran dan kereb (*creb and gutter*).

3. Lalu Lintas

Kendaraan yang ditinjau untuk perencanaan perkerasan beton semen adalah yang mempunyai berat total minimum 5 ton. Konfigurasi sumbu setiap kelas kendaraan dapat dilihat pada tabel 2.13.

Tabel 2. 13 Konfigurasi sumbu kendaraan

Kelas Kendaraan	JSKN	STRT	STRG	STdRT	STdRG	STrRG	SQdRG
5B	2	1	1	-	-	-	-
6A	2	2	-	-	-	-	-
6B	2	1	1	-	-	-	-
7A1	2	-	1	1	-	-	-
7A2	2	1	-	-	1	-	-
7A3	2	-	-	1	1	-	-
7B1	4	1	3	-	-	-	-
7B2	4	-	3	1	-	-	-
7B3	4	1	2	-	1	-	-
7C1	3	1	1	-	1	-	-
7C2	3	1	-	-	2	-	-
7C2B	3	1	1	-	-	1	-
7C3	3	1	-	-	1	1	-
7C4	3	1	-	-	1	-	1

(Sumber: Manual Desain perkerasan jalan (2024))

Konfigurasi sumbu perencanaan terdiri atas 5 jenis kelompok sumbu sebagai berikut:

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



Gambaran umum prosedur untuk menentukan lalu lintas desain diantaranya:

1. Menentukan umur rencana.
2. Menghitung jumlah rata-rata kendaraan harian.
3. Menghitung jumlah JSKN setiap jenis kendaraan berat harian.
4. Menghitung kumulatif jumlah JSKN pada jalur desain selama umur rencana menggunakan persamaan berikut:

$$JSKN = (\sum LHR_{JK} \times JSKN_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana:

- LHR_{JK} : lintas harian rata – rata tiap jenis kendaraan niaga (satuan kend. per hari)
- $JSKN_{JK}$: Sumbu Total Kendaraan Niaga tiap jenis kendaraan niaga
- DD : Faktor distribusi arah (Jalan dua arah umumnya diambil 0,50)
- DL : Faktor distribusi lajur (Dapat ditentukan pada Tabel 2.14)
- $JSKN$: Jumlah Sumbu Total Kendaraan Niaga selama umur rencana
- R : Pertumbuhan lalu lintas kumulatif

Tabel 2. 14 Faktor distribusi lajur (DL)

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

(Sumber: Manual Desain perkerasan jalan (2024))

4. Reabilitas

Pada penentuan beban rencana, beban sumbu dikalikan dengan faktor keamanan beban (Lsf). Faktor keamanan beban ini digunakan sebesar 90% dengan nilai faktor keamanan beban (LSF) untuk JPCP sebesar 1,2 dan CRCP sebesar 1,1. Faktor Keamanan beban untuk perkerasan kaku pada bundaran harus memenuhi gaya radial atau sentris yang disalurkan ke roda luar sehingga nilai reliabilitas ditambah 0,3.

5. Desain Ketebalan Beton

Dua hal yang perlu dipertimbangkan dalam membuat desain tebal perkerasan beton, diantaranya:

1. Retak Lelah (*fatigue*) pada perkerasan.
2. Erosi tanah dasar atau lapis pondasi bawah yang timbul akibat lendutan berulang pada sambungan dan retakan.



6. Persamaan Desain Perkerasan Kaku

a. Retak Lelah (*fatigue*)

Jumlah repetisi beban yang diizinkan (N_f) untuk nilai beban sumbu tertentu dapat dihitung menggunakan formula sebagai berikut:

$$\log_{10} N_f = \left(\frac{0,9719 - S_r}{0,0828} \right) \text{ jika } S_r > 0,05 \dots\dots\dots (2.5)$$

$$N_f = \left(\frac{4,258}{S_r - 0,4325} \right)^{3,268} \text{ jika } 0,45 \leq S_r \leq 0,55 \dots\dots\dots (2.6)$$

$$S_r = \frac{S_e}{0,944 f_{cf}} \left(\frac{PL_{SF}}{4,45 F_1} \right)^{0,94} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan:

- S_e : tegangan ekuivalen beton (MPa)
 F_{cf} : kuat lentur karakteristik desain pada umur beton 28 hari (MPa)
 P : beban kelompok sumbu (kN)
 L_{SF} : faktor load safety
 F_1 : 9 untuk sumbu tunggal dengan roda tunggal (STRT)
: 18 untuk sumbu tunggal dengan roda ganda (STRG)
: 18 untuk sumbu tandem dengan roda tunggal (STdRT)
: 36 untuk sumbu tandem dengan roda ganda (STdRG)
: 54 untuk sumbu tridem dengan roda ganda (STrRG)
: 72 untuk sumbu empat dengan roda ganda (SQdRG)
 N_f : tak terhingga jika nilai S_r kurang dari 0,45

Tegangan ekuivalen (S_e) dan faktor erosi (F_3) didapatkan dari Persamaan (2.8)

Koefisien a hingga j didapatkan dari Tabel 2.15 - Tabel 2.17.

$$S_e \text{ atau } F_3 = a + \frac{b}{D} + c \cdot \ln(E_f) + \frac{d}{D^2} + e \cdot [\ln(E_f)]^2 + f \cdot \frac{\ln(E_f)}{D} + \frac{g}{D^3} + h \cdot [\ln(E_f)]^3 + i \cdot \frac{[\ln(E_f)]^2}{D} + j \cdot \frac{\ln(E_f)}{D^2} \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan

- a, b, c, d, e, f, g, h, i, j adalah koefisien pada Tabel 2.15 - Tabel 2.17.
 D : tebal pelat beton (mm)
 E_f : CBR Tanah Dasar Efektif (%)

b. Kerusakan Erosi

Jumlah beban yang diizinkan (N_e) untuk nilai beban sumbu tertentu dapat dihitung menggunakan formula sebagai berikut:



$$\log_{10}(F_2 N_e) = 14,524 - 6,777 \left[\max \left(0 \text{ atau } \left(\frac{PL_{SF}}{4,45F_4} \right)^2 \cdot \frac{10F_3}{41,35} - 9,0 \right) \right]^{0,103} \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan P dan LSF sama dengan pada Persamaan 2.5 dan Persamaan 2.6.

- F2 : penyesuaian untuk efek pada sisi pelat
 : 0,06 untuk pelat dengan bahu bukan beton
 : 0,94 untuk pelat dengan bahu beton
- F3 : faktor erosi
- F4 : penyesuaian beban untuk erosi karena kelompok sumbu
 : 9 untuk sumbu tunggal dengan roda tunggal (STRT)
 : 18 untuk sumbu tunggal dengan roda ganda (STRG)
 : 18 untuk sumbu tandem dengan roda tunggal (STdRT)
 : 36 untuk sumbu tandem dengan roda ganda (STdRG)
 : 54 untuk sumbu tridem dengan roda ganda (STrRG)
 : 54 untuk sumbu empat dengan roda ganda (SQdRG)

Faktor erosi (F3) didapatkan dari Persamaan 2.8 menggunakan koefisien a sampai j pada Tabel 2.15 Tabel 2.16 dan Tabel 2.17 Tidak ada batasan yang ditetapkan untuk input beban sumbu dan faktor keamanan beban sumbu yang digunakan pada Persamaan 2.5 dan Persamaan 2.8.

Tabel 2. 15 Koefisien untuk prediksi tegangan ekuivalen (Se).

Koefisien	Dengan Bahu Beton			
	Jenis Kelompok Gandar			
	STRT & STdRT	STRG	STdRG	STrRG & SQdRG
a	-0,051	0,330	0,088	-0,145
b	26,0	206,5	301,5	258,6
c	0,0899	-0,4684	-0,1846	0,0080
d	36,774	28,661	4,418	1,408
e	-0,0376	0,1650	0,0939	0,0312
F	14,57	2,82	-53,93	-61,245
G	-861,548	-686,510	280,297	488,079
H	0,0031	-0,0186	-0,0128	-0,0058
I	1,3098	-1,9606	4,1791	4,7428
J	-4,009	-2,717	1,768	2,564

(Sumber: Manual Desain perkerasan jalan (2024))



Tabel 2. 16 Koefisien untuk prediksi faktor erosi (F_3) untuk beton JPCP

Koefisien	Dengan Bahu Beton			
	Jenis Kelompok Gandar			
	STRT & STdRT	STRG	STdRG	STrRG & SQdRG
a	0,345	0,914	1,564	2,104
b	534,6	539,8	404,1	245,4
c	-0,1711	-0,1416	-0,1226	-0,2473
d	-44,908	-44,900	-32,024	-15,007
e	-0,0347	0,0275	0,0256	0,0469
f	20,49	16,37	-9,79	8,86
g	1.676.710	1.654.590	1.150.280	518,916
h	-0,0038	-0,0032	-0,0052	-0,0075
i	-1,3829	-0,9584	2,1997	1,5517
j	-913	-765	469	-599

(Sumber: Manual Desain perkerasan jalan (2024))

Tabel 2. 17 Koefisien untuk prediksi faktor erosi (F_3) untuk beton CRCP

Koefisien	Dengan Bahu Beton			
	Jenis Kelompok Gandar			
	STRT & STdRT	STRG	STdRG	STrRG & SQdRG
a	-0,184	0,440	0,952	1,65
b	602,3	609,8	544,9	359,4
c	-0,0085	-0,0484	-0,0404	-0,1765
d	-50,996	-52,519	-47,500	-28,901
e	-0,0122	0,0017	0,0179	0,0435
f	8,99	9,62	-31,54	-15,97
g	1.874.370	1.949.350	1.719.950	1.085.800
h	0,0008	-0,0007	-0,0051	-0,0084
i	-0,4579	-0,6314	3,3789	3,2908
j	-374	-326	1.675	758

(Sumber: Manual Desain perkerasan jalan (2024))

7. Prosedur Desain Perkerasan Kaku Metode Bina Marga 2024

- Pilih jenis perkerasan beton semen, bersambung tanpa ruji, bersambung dengan ruji atau menerus dengan tulangan.
- Tentukan jenis dan tebal pondasi bawah berdasarkan nilai CBR rencana dan perkiraan Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN) selama umur rencana sesuai



dengan Tabel 2. 9 Tebal pondasi bawah minimum untuk perkerasan beton semen dan Tabel 2. 13 Konfigurasi sumbu kendaraan.

- c. Tentukan CBR efektif berdasarkan nilai CBR rencana dan pondasi bawah yang dipilih sesuai dengan Gambar 2. 3 CBR tanah dasar efektif dan tebal pondasi bawah.
- d. Tentukan mutu beton yang dinyatakan dalam nilai kuat tarik lentur (*flexural strength*) fcf pada umur 28 hari.
- e. Pilih faktor keamanan beban lalu lintas (FKB).
- f. Tentukan tebal pelat beton minimum sesuai dengan Tabel 2. 12 Ketebalan beton minimum.
- g. Tentukan tebal pelat beton desain yang melebihi tebal pelat beton minimum.
- h. Tentukan tegangan ekuivalen (S_e) dan faktor erosi (F_3) untuk STRT dari Persamaan 2.5 hingga Persamaan 2.8.
- i. Untuk setiap rentang beban kelompok sumbu, tentukan beban per roda dan kalikan dengan faktor keamanan beban (FKB) untuk menentukan beban rencana per roda.
- j. Dengan faktor rasio tegangan dan beban rencana, tentukan jumlah repetisi ijin untuk fatigue dari Persamaan 2.5 atau Persamaan 2.6 yang dimulai dari beban roda tertinggi dari jenis sumbu STRT tersebut.
- k. Hitung persentase repetisi fatigue yang direncanakan terhadap jumlah repetisi ijin.
- l. Dengan menggunakan faktor erosi (S_e), tentukan jumlah repetisi ijin untuk erosi dari Persamaan 2.9.
- m. Hitung persentase repetisi erosi yang direncanakan terhadap jumlah repetisi ijin.
- n. Hitung jumlah total fatigue dengan menjumlah persentase fatigue dari setiap beban roda pada STRT tersebut. Dengan cara yang sama hitung jumlah total erosi dari setiap beban roda pada STRT tersebut.
- o. Ulangi langkah h sampai dengan langkah i untuk setiap jenis kelompok sumbu lainnya.
- p. Hitung jumlah total kerusakan akibat fatigue dan jumlah total kerusakan akibat erosi untuk seluruh jenis kelompok sumbu.
- q. Ulangi langkah g sampai dengan langkah p hingga diperoleh ketebalan tertipis yang menghasilkan total kerusakan akibat fatigue dan atau erosi $\leq 100\%$. Tebal tersebut sebagai tebal perkerasan beton semen yang direncanakan.



2.3.7 Parameter Perencanaan Tulangan Metode Bina Marga

Tujuan utama penulangan adalah:

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

1. Tulangan Pada Perkerasan Beton Semen Bersambung Tanpa Tulangan

Pada perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan atau JPCP, 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.

2. Perencanaan Sambungan

Sambungan pada perkerasan beton semen ditujukan untuk:

- Membatasi tegangan dan pengendalian retak yang disebabkan oleh penyusutan.
- Pengaruh lenting (curling/warping) serta beban lalu lintas.
- Memudahkan pelaksanaan.
- Mengakomodasi gerakan pelat.

Pemasangan sambungan memanjang ditujukan untuk mengendalikan terjadinya retak memanjang. Jarak antar sambungan memanjang sekitar 3-4 m. Sambungan memanjang harus dilengkapi dengan batang ulir dengan mutu minimum BJTU-24 dan berdiameter 16 mm (*Manual Desain perkerasan jalan (2024)*).

$$I = (38,3 \times \varphi) + 75 \dots\dots\dots (2.10)$$

Dengan:

I = panjang batang pengikat (mm).

φ = Diameter batang pengikat yang dipilih (mm).

Jarak batang pengikat yang digunakan adalah 70 cm.

Sambungan susut melintang harus dilengkapi dengan ruji polos sepanjang 45 cm, berjarak 30 cm, lurus, dan bebas dari tonjolan yang dapat menghambat pergerakan saat beton menyusut. Setengah panjang ruji harus dicat atau dilumuri bahan anti lengket untuk mencegah ikatan dengan beton. Diameter ruji disesuaikan dengan tebal pelat dan dapat dilihat pada Tabel 2.18. (*Manual Desain perkerasan jalan (2024)*).



Tabel 2. 18 Diameter ruji

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

(Sumber: *Manual Desain perkerasan jalan* (2024))

2.4 Perencanaan Perkerasan Kaku Metode Austroads 2017

Guide to Pavement Technology Part 2: Pavement Structural Design Atau lebih dikenal dengan Austroads 2017 merupakan salah satu metode perencanaan perkerasan jalan yang umum digunakan di wilayah Australia dan Selandia Baru. Pada perencanaan ini penulis mengacu pada buku *Guide to Pavement Technology Part 2* untuk desain perkerasan kaku.

Pendekatan desain dalam pedoman ini didasarkan pada metode *Portland Cement Association* (PCA) dari Amerika Serikat yang telah dimodifikasi untuk kondisi Australia Metode ini mengasumsikan bahwa lapisan dasar dan *subbase* bersifat tidak terikat.

Ketebalan perkerasan kaku ditentukan berdasarkan penilaian terhadap perkiraan volume dan komposisi lalu lintas selama periode desain, kekuatan tanah dasar dalam bentuk *California Bearing Ratio* (CBR) serta kekuatan lentur beton semen.

2.4.1 Jenis Perkerasan

Ada beberapa jenis perkerasan kaku antara lain sebagai berikut:

1. Perkerasan beton semen polos (tidak diperkuat) (PCP).
2. Perkerasan beton semen dengan sambungan diperkuat (JRCP).
3. Perkerasan beton semen dengan tulangan kontinu (CRCP).
4. Perkerasan beton semen dengan tulangan baja (SFCP).

JRCP (*Jointed Reinforced Concrete Pavement*) diperkuat dengan anyaman baja dan memiliki sambungan dowel setiap 8–10 meter. CRCP (*Continuously Reinforced Concrete Pavement*) menggunakan tulangan baja kontinu untuk membentuk retakan acak 0.5–2.5 meter tanpa sambungan kontraksi, dengan tulangan melintang menopang baja memanjang. Untuk PCP, JRCP, CRCP, dan SFCP (*Steel Fibre Reinforced Concrete Pavements*), sambungan longitudinal harus membatasi lebar pelat sekitar 4.3 meter. Lebar total maksimum yang diikat:



1. PCP: 16 meter
2. JRCP & CRCP: 30 meter (dengan tulangan melintang)
3. SFCP: 20 meter

Sambungan longitudinal yang tidak diikat tidak memenuhi desain "dengan bahu jalan" kecuali berada minimal 2 meter di luar jalur lalu lintas. SFCP lebih tahan retak dan cocok untuk area dengan bentuk pelat tidak beraturan seperti persimpangan dan bundaran.

2.4.2 Jenis Subbase

Subbase berfungsi memberikan dukungan merata pada lapisan beton dan mencegah erosi akibat lalu lintas serta kondisi lingkungan. Untuk lalu lintas berat, hanya subbase beton semen berikat atau subbase granular yang direkomendasikan. Dalam perkerasan kaku, bound subbase dapat berupa:

1. Beton semen lean mix (LCS) dengan minimal 5% semen untuk ketahanan erosi.
2. Aspal granular yang dipadatkan.
3. Campuran agregat padat.
4. Beton daur ulang.

LCS memiliki kekuatan tekan minimal 5 MPa setelah 28 hari dan susut rendah (<450 mikron). Subbase beton semen harus setidaknya 150 mm untuk ketahanan erosi dan daya dukung lalu lintas berat. Persyaratan minimum untuk subbase pada perkerasan kaku dapat dilihat pada Tabel 2.19.

Tabel 2. 19 Persyaratan minimum untuk subbase pada perkerasan kaku

Lalu Lintas Rencana (HVAG)	Jenis Lapis Bawah
Sampai dengan 10^6	125 mm <i>bound</i> (Bahan pengikat)
Sampai dengan 5×10^6	150 mm <i>bound</i> atau 125 mm LCS
Sampai dengan 1×10^7	170 mm <i>bound</i> atau 125 mm LCS
Lebih dari 1×10^7	150 mm LCS (<i>Lean concrete subbase</i>)

(Sumber: *Guide to Pavement Technology Part 2* (2017))

2.4.3 Lalu lintas Desain

Menentukan beban lalu lintas dalam desain perkerasan kaku melibatkan penilaian dampak berbagai kendaraan berat terhadap perkerasan saat mengangkut muatan. Selain kerusakan per lintasan kendaraan (ESA – *Equivalent Standard Axle*), perlu dipertimbangkan jumlah perjalanan yang dibutuhkan untuk mengangkut muatan tersebut. Prosedur untuk menentukan lalu lintas desain dapat dilihat pada Tabel 2.20.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang memperbanyak atau mendistribusikan dokumen ini untuk tujuan komersial tanpa izin tertulis dari penulis atau pihak berwenang.
Penggunaan untuk kepentingan akademik, penelitian, dan pendidikan diperbolehkan dengan mencantumkan sumber.
2. Penggunaan tanpa izin untuk kepentingan komersial atau pelanggaran hak cipta dapat dikenakan sanksi dengan UU Hak Cipta di Indonesia.
Plagiarisme juga dilarang dan dapat dikenakan sanksi.
3. Universitas hanya berhak menyimpan dan mendistribusikan dokumen ini di repositori akademik, tanpa mengalihkan hak cipta penulis, sesuai dengan peraturan yang berlaku di Indonesia.

Universitas Islam Indragiri

Tabel 2. 20 Prosedur untuk Menentukan Lalu Lintas Desain

Langkah	Deskripsi
1	Pilih Periode Desain (subbab 2.5.5 bagian 1)
2	Identifikasi Lajur Desain (subbab 2.5.5 bagian 2)
3	Tentukan Jumlah Awal Kendaraan Berat Harian di Lajur Desain (subbab 2.5.5 bagian 3)
4	Tentukan Jumlah Kumulatif Kendaraan Berat (subbab 2.5.5 bagian 4 dan 5)
5	Hitung Kumulatif HVAG (subbab 2.5.5 bagian 6)
6	Tentukan Distribusi Beban Lalu Lintas (TLD) (Bagian 2.5.6)
7	Tentukan Lalu Lintas Desain untuk Perkerasan Kaku (Bagian 2.5.7) - Hitung jumlah kumulatif beban tiap jenis kelompok sumbu - Gunakan TLD untuk menentukan distribusi beban per jenis kelompok sumbu - Terapkan faktor keamanan beban

(Sumber: *Guide to Pavement Technology Part 2 (2017)*)

Dalam desain perkerasan kaku, beberapa faktor yang diperlukan untuk menentukan Lalu Lintas Desain (*Design Traffic*) meliputi:

1. *Cumulative HVAG (Heavy Vehicle Axle Groups)* – jumlah kumulatif kelompok sumbu kendaraan berat selama periode desain (dibahas di Bagian 2.5.5).
2. *Load Safety Factor* – faktor keamanan beban.
3. *Traffic Load Distribution (TLD)* – distribusi beban lalu lintas (Bagian 2.5.7).

Lalu lintas desain ini dihitung berdasarkan jumlah total kelompok sumbu kendaraan berat (HVAG) yang melewati jalan selama masa desain, diklasifikasikan menurut jenis sumbu dan beban yang diberikan oleh masing-masing jenis sumbu.

2.4.4 Peran Lalu Lintas dalam Desain Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan harus memiliki lebar dan geometri yang sesuai untuk memastikan keamanan kendaraan pada kecepatan yang wajar serta cukup kuat menahan beban kendaraan berat dan dampak kumulatif lalu lintas. Kerusakan akibat kendaraan berat tidak hanya bergantung pada berat totalnya, tetapi juga pada distribusi beban ke perkerasan.

Sistem klasifikasi kendaran austroads dapat dilihat pada Tabel 2.21.

Sistem klasifikasi kendaraan berdasarkan jumlah sumbu dan konfigurasi roda digunakan untuk memudahkan identifikasi jenis kendaraan dalam analisis lalu lintas dan perencanaan perkerasan jalan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang memperbanyak atau mendistribusikan dokumen ini untuk tujuan komersial tanpa izin tertulis dari penulis atau pihak berwenang.
 2. Penggunaan untuk kepentingan akademik, penelitian, dan pendidikan diperbolehkan dengan mencantumkan sumber.
 3. Penggunaan tanpa izin untuk kepentingan komersial atau pelanggaran hak cipta dapat dikenakan sanksi sesuai dengan UU Hak Cipta di Indonesia.
 4. Plagiarisme juga dilarang dan dapat dikenakan sanksi.
 5. Universitas hanya berhak menyimpan dan mendistribusikan dokumen ini di repositori akademik, tanpa mengalihkan hak cipta penulis, sesuai dengan peraturan yang berlaku di Indonesia.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Tabel 2. 21 Sistem Klasifikasi Kendaraan Austroads

Tingkat 1	Tingkat 2		Tingkat 3	Klasifikasi Austroads	
Panjang (Indikatif)	Sumbu dan Kelompok Sumbu		Jenis Kendaraan		
Jenis	Sumbu	Klmpk	Deskripsi	Kelas	Paremeter
Kendaraan ringan					
Pendek Sampai dengan 5.5 m	2	1 atau 2	Sedan, wagon, 4WD, Pick up, van ringan, sepeda, sepeda motor.	1	$d(1) \leq 3,2$ m dan jumlah sumbu = 2,
	3,4 atau 5	3	Pendek – dengan Towing Trailer, karavan, perahu, dll.	2	Jmlh kelompok = 3 $2,1 \text{ m} \leq d(1) \leq 3,2$ m, $d(2) > 2,1$ m, dan jmlh sumbu = 3, 4, 5
Kendaraan berat					
Sedang 5,5 m hingga 14,5 m	2	2	Truk atau bus dua sumbu,	3	$d(1) > 3,2$ m dan sumbu = 2,
	3	2	Truk atau bus tiga sumbu,	4	Sumbu = 3 dan kelompok = 2,
	> 3	2	Truk empat sumbu	5	Sumbu > 3 dan kelompok = 2
Panjang 11,5 m hingga 19,0 m,	3	3	Truk artikulasi tiga sumbu Kendaraan artikulasi tiga sumbu, atau kendaraan kaku dan trailer	6	$d(1) > 3,2$ m, sumbu = 3 dan kelompok = 3, $d(2) < 2,1$ m
	4	> 2	Truk artikulasi empat sumbu Kendaraan artikulasi empat sumbu, atau kendaraan kaku dan trailer	7	$2,1 \text{ m} \leq d(1) \leq 3,2$ m, sumbu = 4 dan kelompok > 2, $d(2) < 2,1$ m
	5	> 2	Truk artikulasi lima sumbu Kendaraan artikulasi lima sumbu atau kendaraan kaku dan trailer	8	$2,1 \text{ m} \leq d(1) \leq 3,2$ m, sumbu = 5 dan kelompok > 2
	6 > 6	> 2 3	Truk artikulasi enam sumbu Kendaraan artikulasi enam (atau lebih) sumbu, atau kendaraan kaku dan trailer	9	Sumbu = 6 dan kelompok > 2; atau sumbu > 6 dan kelompok = 3
Kombinasi sedang 17,5 m hingga 36,5 m	> 6	4	B-double atau truk berat dan trailer	10	Kelompok = 4 dan sumbu > 6,
	> 6	5 atau 6	Double road train, atau truk berat dan dua trailer	11	Kelompok = 5 atau 6, dan sumbu > 6,
Kombinasi panjang Lebih dari 33,0 m	> 6	> 6	Triple road train, atau truk berat dan tiga trailer	12	Kelompok > 6 dan sumbu > 6

(Sumber: Guide to Pavement Tecnology Part 2 (2017))

Definisi:

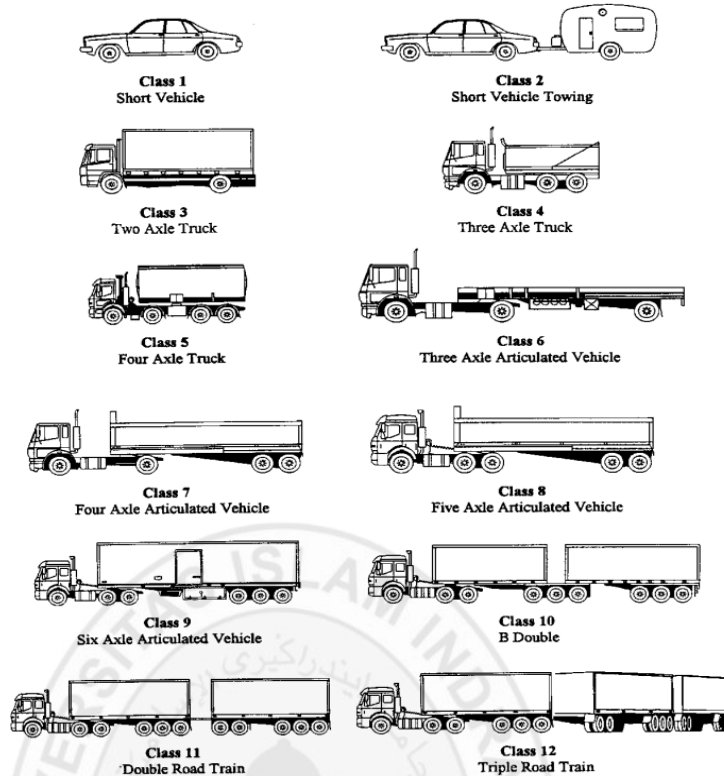
Kelompok : (kelompok sumbu) – di mana sumbu yang berdekatan memiliki jarak kurang dari 2,1 m

Kelompok : jumlah kelompok sumbu

Sumbu : jumlah sumbu (jarak maksimum antar sumbu 10 m)

d(1) : jarak antara sumbu pertama dan kedua

d(2) : jarak antara sumbu kedua dan ketiga



Gambar 2. 7 Kendaraan dominan di setiap kelas Austroads
 (Sumber: *Guide to Pavement Technology Part 2 (2017)*)

Tujuan desain perkerasan, tipe kelompok sumbu (kendaraan berat) yang berikut ini diidentifikasi:

1. Sumbu tunggal dengan ban tunggal (SAST)
2. Sumbu tunggal dengan ban ganda (SADT)
3. Sumbu tandem dengan ban tunggal (TAST)
4. Sumbu tandem dengan ban ganda (TADT)
5. Sumbu triaxle dengan ban ganda (TRDT)
6. Sumbu quad-axle dengan ban ganda (QADT)

Semua ban yang disebutkan adalah ban konvensional.

2.4.5 Prosedur Menentukan Total Kelompok Sumbu Kendaraan Berat (HVAG)

Persyaratan pertama dalam perancangan perkerasan adalah memastikan bahwa perkerasan tersebut memadai untuk menanggung beban lalu lintas kumulatif yang diperkirakan akan terjadi di lajur desain selama periode desain. Estimasi beban ini pertama-tama memerlukan perhitungan jumlah kumulatif kelompok sumbu kendaraan berat (HVAG) selama periode desain, yang disebut dengan N_{DT} . Perhitungan kumulatif HVAG biasanya dibagi menjadi elemen-elemen berikut:



- Menentukan Periode Desain (Bagian 1).
- Mengidentifikasi Lajur dengan Lalu Lintas Terpadat di Jalan – yang disebut sebagai lajur desain (Bagian 2).
- Memperkirakan Jumlah Kendaraan Berat Rata-Rata per Hari di Lajur Desain selama tahun pertama masa proyek (Bagian 3).
- Memperkirakan Jumlah Kendaraan Berat Kumulatif selama Periode Desain (Bagian 4 dan 5).
- Memperkirakan Kelompok Sumbu Kendaraan Berat Kumulatif selama Periode Desain (Bagian 6).

1. Pemilihan Periode Desain

Periode desain yang dipilih oleh perancang perkerasan adalah rentang waktu yang dianggap tepat bagi perkerasan jalan untuk berfungsi tanpa memerlukan rehabilitasi atau rekonstruksi besar. Periode desain yang diterapkan untuk jenis perkerasan tertentu umumnya berada dalam rentang yang ditunjukkan pada Tabel 2. 22 Periode Desain.

Tabel 2. 22 Periode Desain

Jenis Perkerasan	Umur Rencana
Perkerasan Lentur	20 - 40 years
Perkerasan Kaku	30 - 40 years

(Sumber: *Guide to Pavement Technology Part 2 (2017)*)

2. Identifikasi Lajur Desain

Lajur desain adalah Lajur yang paling banyak dilalui kendaraan. Untuk jalan dua lajur dengan dua arah (yaitu satu lajur di setiap arah), lajur desain dapat dengan mudah diidentifikasi sebagai lajur yang lebih banyak dilalui. Untuk jalur lalu lintas satu arah dengan banyak lajur, lajur desain dalam sebagian besar kasus adalah lajur kiri (atau lajur terluar). Distribusi beban lalu lintas di berbagai lajur bergantung pada:

- Jumlah lajur lalu lintas
- Keberadaan kendaraan yang diparkir di lajur kiri
- Kedekatan dengan persimpangan, jalan masuk/keluar
- Fungsi utama dan sekunder dari jalan.

Petunjuk mengenai proporsi beban lalu lintas kendaraan yang dialokasikan untuk lajur tertentu disebut sebagai faktor distribusi lajur (LDF). Untuk penjelasan mengenai LDF dapat dilihat pada Tabel 2.23.



Tabel 2. 23 Faktor Distribusi Lajur yang Umum

Lokasi	Jumlah lajur setiap arah	Lane Distribution Factor (LDF)		
		Lajur kiri	Lajur tengah	Lajur kanan
Pedesaan	2 lajur	1.00	N/A	0.50
	3 lajur	0.95	0.65	0.30
Perkotaan	2 lajur	1.00	N/A	0.50
	3 lajur	0.65	0.65	0.50

(Sumber: *Guide to Pavement Technology Part 2* (2017))

1 Nilai ini disarankan untuk satu lajur dan dapat dikurangi jika data survei lalu lintas menunjukkan faktor distribusi lajur (LDF) yang lebih rendah lebih sesuai.

3. Kendaraan Berat Harian Awal di Lajur Desain

Cara menghitung jumlah kumulatif *Heavy Vehicle Axle Groups* (HVAG) di lajur desain (Persamaan 2.11), diperlukan estimasi rata-rata jumlah harian kendaraan berat di lajur desain selama tahun pertama operasional proyek.

Persamaan yang digunakan untuk menghitung jumlah awal kendaraan berat harian (N_i) yang melintasi lajur desain adalah (Persamaan 2.11).

$$N_i = AADT \times DF \times \%HV/100 \times LDF \dots\dots\dots (2.11)$$

di mana:

N_i = jumlah kendaraan berat harian awal di lajur desain

AADT = Rata-rata Harian Lalu Lintas Tahunan (AADT) dalam kendaraan per hari pada tahun pertama (Bagian 3)

DF = Faktor arah adalah proporsi dari AADT 2 arah yang melintasi arah lajur desain

%HV = Persentase rata-rata kendaraan berat (Bagian 3)

LDF = Faktor distribusi lajur, proporsi kendaraan berat di lajur desain

4. Jumlah Kendaraan Berat Kumulatif ketika Di Bawah Kapasitas

Dalam memperkirakan lalu lintas kumulatif pada jalur desain selama periode desain, perlu dipertimbangkan perubahan volume lalu lintas harian selama periode tersebut. Perubahan dapat terjadi dalam dua aspek utama:

- Volume harian kendaraan yang menggunakan jalan
- Ukuran beban yang dibawa oleh kendaraan berat

Tingkat pertumbuhan lalu lintas tahunan biasanya dinyatakan dalam persentase, misalnya "pertumbuhan lalu lintas setiap tahun adalah R%". Jika pertumbuhan ini terjadi secara terus-menerus dengan pola yang sama sepanjang periode desain, maka faktor



pertumbuhan kumulatif (*Cumulative Growth Factor* - CGF) dapat dihitung menggunakan rumus pertumbuhan bertahap yang dijelaskan dalam Persamaan 2.12.

$$CGF = \frac{(1+0.01R)^P - 1}{0.01R} \text{ for } R > 0 \dots\dots\dots (2.12)$$

$$= P \text{ for } R = 0$$

Dimana

- C = pertumbuhan kumulatif
 R = tingkat pertumbuhan tahunan (%)
 P = periode desain (tahun)

Pada kasus volume lalu lintas di bawah kapasitas sepanjang periode desain, nilai CGF untuk berbagai tingkat pertumbuhan tahunan dan periode desain Tabel 2.24.

Tabel 2. 24 Nilai CGF untuk arus lalu lintas di bawah kapasitas

Periode desain (P) (tahun)	Tingkat pertumbuhan tahunan (R) (%).							
	0	1	2	3	4	6	8	10
5	5	5.1	5.2	5.3	5.4	5.6	5.9	6.1
10	10	10.5	10.9	11.5	12.0	13.2	14.5	15.9
15	15	16.1	17.3	18.6	20.0	23.3	27.2	31.8
20	20	22.0	24.3	26.9	29.8	36.8	45.8	57.3
25	25	28.2	32.0	36.5	41.6	54.9	73.1	98.3
30	30	34.8	40.6	47.6	56.1	79.1	113.3	164.5
35	35	41.7	50.0	60.5	73.7	111.4	172.3	271.0
40	40	48.9	60.4	75.4	95.0	154.8	259.1	442.6

(Sumber: *Guide to Pavement Tecnology Part 2* (2017))

Dalam kasus volume lalu lintas di bawah kapasitas selama periode desain, persamaan untuk menghitung Lalu Lintas Desain (N_{HV}) – dalam jumlah kumulatif kendaraan berat – yang melewati jalur desain selama periode tertentu (Persamaan 2.13).

$$N_{HV} = 365 \times CGF \times N_i \dots\dots\dots (2.13)$$

Di mana:

N_{HV} = Lalu lintas desain dalam jumlah kumulatif kendaraan berat

CGF = Faktor pertumbuhan kumulatif (Bagian 4 dan 5)

N_i = Rata-rata harian jumlah kendaraan berat pada tahun pertama operasional (Bagian 3)

5. Jumlah Kumulatif Kendaraan Berat dengan Memperhitungkan Kapasitas

Dalam bagian ini menyajikan metode sederhana untuk memperkirakan tingkat arus berdasarkan kapasitas, yang dinyatakan dalam volume kendaraan per jam dalam satuan ekivalen mobil penumpang (*Passenger Car Equivalent*/PCE). Metode yang disederhanakan ini dapat digunakan untuk keperluan desain perkerasan jalan.



Dalam desain perkerasan jalan, kapasitas didefinisikan sebagai kondisi di mana arus kendaraan sudah mencapai tingkat jenuh selama 24 jam per hari. Setelah titik ini tercapai, tingkat pertumbuhan kendaraan berat kemungkinan besar akan berkurang secara signifikan, karena jumlah kendaraan berat hanya dapat meningkat jika jumlah kendaraan ringan berkurang. Dapat dilihat tabel 2.25.

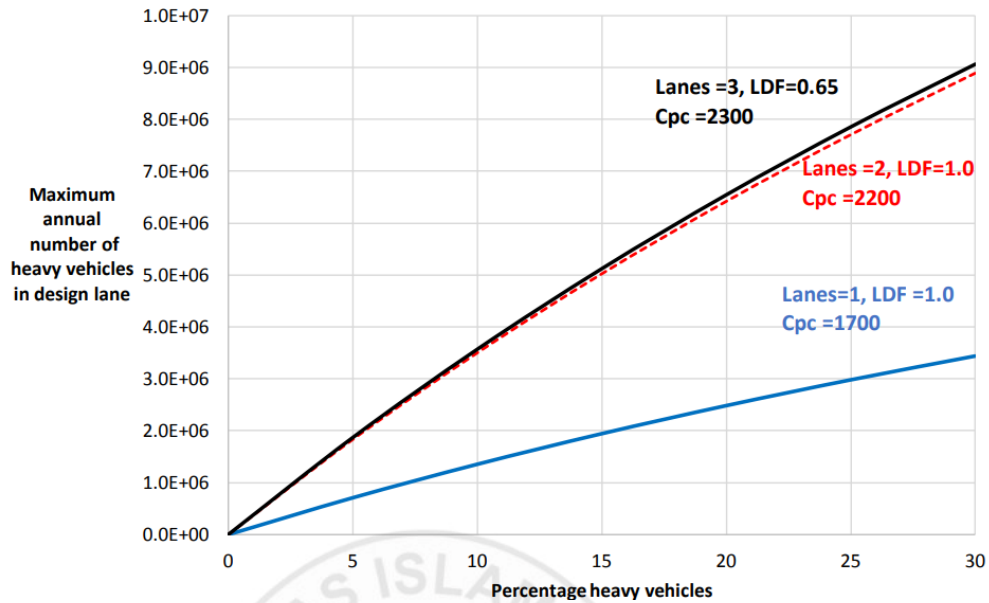
Tabel 2. 25 Tingkat Aliran Kapasitas (*Capacity Flow Rates*)

Kondisi jalan	Laju aliran kapasitas (mobil penumpang per jam per lajur)
Jalan bebas hambatan	
Lajur langsung	2300
Rampa	2000
Jalan multi-lajur (dua atau lebih lajur di setiap arah, selain jalan bebas hambatan)	
Kecepatan yang ditetapkan 100 km/jam	2200
Kecepatan yang ditetapkan 90 km/jam	2100
Kecepatan yang ditetapkan 80 km/jam	2000
Kecepatan yang ditetapkan 70 km/jam	1900
Kecepatan yang ditetapkan <70 km/jam	1850
Jalan dua lajur, dua arah (satu lajur di setiap arah)	1700
Persimpangan dengan lampu lalu lintas	1850 ⁽¹⁾

(Sumber: *Guide to Pavement Technology Part 2* (2017))

Kapasitas dipengaruhi oleh keberadaan kendaraan berat dan hal ini ditangani dengan menggunakan faktor ekivalen mobil penumpang rata-rata (E_{HV}). Jumlah rata-rata mobil penumpang yang setara dengan volume kendaraan berat per jam dihitung dengan mengalikan volume kendaraan berat dengan nilai E_{HV} . Nilai E_{HV} sebesar 2,0 (lalu lintas perkotaan) dan 2,5 (lalu lintas pedesaan) umumnya cukup akurat untuk tujuan desain perkerasan jalan. Sebagai alternatif, faktor asumsi berikut dapat digunakan untuk memperoleh nilai E_{HV} yang lebih sesuai jika data klasifikasi kendaraan tersedia:

1. Kelas kendaraan Austroads 2 hingga 5: E_{HV} , kelas 2 sampai 5 = 2
2. Kelas kendaraan Austroads 6 hingga 9: E_{HV} , kelas 6 sampai 9 = 2
3. Kelas kendaraan Austroads 10 hingga 11: E_{HV} , kelas 10,11 = 4
4. Kelas kendaraan Austroads 12: E_{HV} Kelas 12 = 5



Gambar 2. 8 Jumlah maksimum kendaraan berat tahunan di jalur desain untuk $E_{HV} = 2$
(Sumber: *Guide to Pavement Technology Part 2* (2017))

Jumlah kumulatif kendaraan berat dihitung sebagai berikut:

- Dari jumlah awal kendaraan berat harian (HV) (Bagian 3), hitung jumlah tahunan kendaraan berat di jalur desain pada tahun pertama.
- Menggunakan tingkat pertumbuhan tahunan kendaraan berat (R %, Bagian 4), hitung jumlah tahunan kendaraan berat di jalur desain untuk setiap tahun selama periode desain. $HV_{year\ n} = HV_{year\ 1} \times (1 + 0.01R)^{n-1}$
- Tentukan nilai yang sesuai untuk jumlah maksimum mobil per jam per lajur (C_{pc}) (Tabel 2. 25 Tingkat Aliran Kapasitas (Capacity Flow Rates)).
- Gunakan Persamaan 2.13 untuk menentukan jumlah harian maksimum kendaraan yang bergerak, dijumlahkan di semua lajur yang mengarah ke jalur desain.
- Hitung jumlah tahunan kendaraan berat sebagai nilai minimum dari hasil langkah b dan maksimum dari langkah d.
- Jumlah kumulatif kendaraan berat di jalur desain selama periode desain adalah total volume tahunan yang disesuaikan (langkah e).

6. Kelompok Sumbu Kendaraan Berat Kumulatif

Menghitung jumlah kumulatif kelompok sumbu kendaraan berat (di jalur desain) selama periode desain (N_{DT}), diperlukan rata-rata jumlah kelompok sumbu per kendaraan berat (N_{HVAG}) dapat dilihat pada Tabel 2.28 sesuai dengan persamaan 2.14.

$$N_{DT} = N_{HV} \times N_{HVAG} \dots\dots\dots (2.14)$$

Di mana:



N_{DT} = Jumlah kumulatif kelompok sumbu kendaraan berat di jalur desain selama periode desain

N_{HV} = Jumlah kumulatif kendaraan berat (Bagian 4 dan 5)

N_{HVAG} = Rata-rata jumlah kelompok sumbu per kendaraan berat

Tabel 2. 26 Perkiraan Jumlah Kelompok Sumbu Kendaraan Berat perKendaraan Berat (N_{HVAG})

Lokasi	N_{HVAG}
Jalan pedesaan	2.8
Jalan perkotaan	2.5

(Sumber: *Guide to Pavement Tecnology Part 2 (2017)*)

2.4.6 Beton Pondasi (*Base Concrete*)

Perkerasan kaku didefinisikan sebagai perkerasan yang memiliki lapisan dasar dari beton. Kekuatan lentur desain 28 hari untuk beton yang digunakan dalam konstruksi perkerasan jalan umumnya berkisar antara 4,0 hingga 5,0 MPa. Beton bertulang serat baja (*steel-fibre reinforced concrete*) seharusnya memiliki kekuatan lentur 28 hari dalam rentang 5,5 hingga 6,5 MPa. Karena saat melakukan desain ketebalan beton hanya memiliki target kekuatan nominal, maka kekuatan desain harus dinyatakan dalam bentuk kekuatan lentur karakteristik dengan pembulatan ke kelipatan 0,25 MPa.

Cara memastikan daya tahan permukaan beton terhadap keausan, diperlukan kekuatan tekan karakteristik 28 hari yang tidak kurang dari 32 MPa (mengacu pada AS 3600). Hubungan umum untuk mengonversi kekuatan tekan 28 hari ke kekuatan lentur 28 hari untuk beton dengan agregat pecah dapat ditemukan dalam Persamaan 2.15.

$$f_{fc} = 0.75 \times \sqrt{f_c} \dots \dots \dots (2.15)$$

Dimana:

F_{cf} = Kekuatan lentur beton 28 hari (MPa)

F_c = Kekuatan tekan beton 28 hari (MPa)

2.4.7 Estimasi Distribusi Beban Lalu Lintas (TLD)

Selain HVAG, distribusi beban lalu lintas (TLD) juga diperlukan untuk menghitung beban lalu lintas desain. dalam perhitungan ini beban lalu lintas desain dibahas dalam Bagian 2.4.3. TLD menyediakan informasi yang diperlukan untuk mengevaluasi kerusakan perkerasan akibat HVAG (dapat dilihat pada Tabel 2.27), khususnya:

1. Proporsi semua kelompok sumbu berdasarkan jenis kelompok sumbu tertentu.
2. Setiap jenis kelompok sumbu punya pembagian beban sendiri.



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**
1. Dilarang memperbanyak atau mendistribusikan dokumen ini untuk tujuan komersial tanpa izin tertulis dari penulis atau pihak berwenang.
 2. Penggunaan untuk kepentingan akademik, penelitian, dan pendidikan diperbolehkan dengan mencantumkan sumber.
 3. Penggunaan tanpa izin untuk kepentingan komersial atau pelanggaran hak cipta dapat dikenakan sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku di Indonesia.

Tabel 2. 27 *Traffic load distribution*

AXLE GROUP LOAD (Kn)	Axle group type				
	SAST %	SADT %	TAST %	TADT %	TRDT %
10	0,2804	3,4730	0,0354	0,1444	0,0050
20	7,8270	8,6960	0,2377	0,5755	0,1568
30	15,4600	23,4600	0,2763	0,6242	0,3290
40	15,7100	21,9300	0,5755	1,9770	1,3170
50	29,9400	16,8000	2,8890	6,4960	4,1670
60	23,2900	9,6060	10,2700	9,5110	7,4190
70	6,5020	6,5000	16,8100	10,9400	9,7770
80	0,7943	4,6230	16,6100	9,7690	8,3380
90	0,1087	2,9690	15,9500	7,6110	6,1500
100	0,0354	1,3930	14,4200	7,2420	5,0290
110	0,0174	0,4098	9,7740	6,2670	3,7010
120	0,0174	0,1158	5,9030	5,9520	3,2980
130	0,0174	0,0244	2,9430	5,8780	3,1470
140			1,5390	6,5340	3,3610
150			0,8439	8,0300	4,0080
160			0,4279	5,7170	4,1150
170			0,2308	3,5540	4,8190
180			0,1367	1,8630	6,0970
190			0,0723	0,8535	7,7330
200			0,0555	0,3331	8,4330
210				0,0801	5,1360
220				0,0322	2,3390
230				0,0160	0,7764
240					0,2503
250					0,0905
260					0,0080
270					
280					
290					
300					
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Proportion of each axle group	0,393	0,1910	0,009	0,259	0,148

(Sumber: *Guide to Pavement Tecnology Part 2 (2017)*)

2.4.8 Keandalan Proyek (*Project Reliability*)

Keandalan proyek merupakan bagian penting dalam proses desain perkerasan, yang bertujuan menilai seberapa baik kinerja perkerasan setelah dibangun. Definisi Keandalan Proyek adalah probabilitas bahwa perkerasan, ketika dibangun sesuai dengan desain yang dipilih, akan mampu bertahan melewati beban lalu lintas desain sebelum memerlukan rehabilitasi besar. Tingkat keandalan proyek yang umum digunakan yaitu Tabel 2.28.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang memperbanyak atau mendistribusikan dokumen ini untuk tujuan komersial tanpa izin tertulis dari penulis atau pihak berwenang.

2. Penggunaan untuk kepentingan akademik, penelitian, dan pendidikan diperbolehkan dengan mencantumkan sumber.

3. Plagiarisme juga dilarang dan dapat dikenakan sanksi.

3. Universitas hanya berhak menyimpan dan mendistribusikan dokumen ini di repositori akademik, tanpa mengalihkan hak cipta penulis, sesuai dengan peraturan yang berlaku di Indonesia.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Universitas Islam Indragiri

Tabel 2. 28 Tingkat keandalan proyek yang umum

Kelas Jalan	Keandalan Proyek (%)
Jalan Tol (<i>freeway</i>)	95 - 97,5
Jalan Raya: jalur AADT > 2000	90 - 97,5
Jalan Raya: jalur AADT ≤ 2000	85 - 95
Jalan Utama: jalur AADT > 500	85 - 95
Jalan lain: jalur AADT ≤ 500	80 - 90

(Sumber: *Guide to Pavement Tecnology Part 2 (2017)*)

AADT (*Annual Average Daily Traffic*) adalah rata-rata jumlah kendaraan yang melewati suatu jalur per hari dalam satu tahun. Semakin tinggi keandalan proyek (%), semakin kecil kemungkinan perkerasan jalan gagal sebelum mencapai umur rancangannya.

Tabel 2. 29 Faktor mingguan, $N = 7 \times 24 \text{ Jam}$

Bulan	Minggu ke 1		Minggu ke 2		Minggu ke 3		Minggu ke 4	
	P	C _v	P	C _v	P	C _v	P	C _v
1	0,826	9,64	0,801	7,14	0,806	6,45	0,807	6,86
2	1,209	19,73	1,166	20,20	1,153	14,48	1,092	13,11
3	0,988	9,14	0,988	7,71	0,953	7,71	0,955	6,98
4	0,970	4,88	0,954	4,42	0,958	4,42	0,976	6,60
5	0,923	6,61	0,930	7,80	0,946	10,96	0,881	8,42
6	1,016	4,96	1,047	3,58	1,064	2,56	1,094	3,40
7	1,197	7,66	1,290	16,64	1,263	13,55	1,154	7,78
8	1,026	5,94	1,043	5,20	0,985	6,94	0,996	8,37
9	1,028	7,90	1,025	8,03	1,023	8,42	1,004	10,76
10	0,942	3,34	0,928	4,28	0,958	3,75	0,979	4,44
11	0,980	3,40	0,972	3,32	0,991	3,62	0,995	4,02
12	0,979	3,94	0,984	2,00	0,978	2,92	0,991	2,69

(Sumber: *Iskandar (2007)*)

Nilai P (faktor musiman) digunakan untuk menyesuaikan perubahan volume lalu lintas akibat pengaruh musiman (*seasonal variation*) dalam estimasi AADT, berdasarkan pencatatan satu tahun penuh oleh Puslitbang pada 1998–1999 di ruas Pantura. Dari data tersebut disusun faktor musiman, termasuk faktor mingguan (Tabel 2.29), yang dijadikan acuan nasional ketika survei tidak mencakup periode satu tahun penuh. Nilai C_v (koefisien variasi) hanya dicantumkan sebagai informasi mengenai tingkat variasi data dan tidak digunakan langsung dalam penentuan AADT.

2.4.9 Faktor yang Digunakan dalam Penentuan Ketebalan Plat

Ada beberapa yang digunakan dalam perencanaan ini sebagai berikut:

1. Kekuatan Tanah Dasar (*Subgrade*)

Desain ketebalan perkerasan kaku (*rigid pavement*), kekuatan tanah dasar dapat dinilai berdasarkan CBR (*California Bearing Ratio*). Dalam perhitungan ketebalan, semua material dalam kedalaman 1 meter di bawah lapisan dasar (*subbase*) harus dievaluasi untuk menentukan CBR desain tanah dasar. Tidak diperbolehkan



menggunakan nilai CBR dari lapisan tipis material berkekuatan tinggi yang berada tepat di bawah subbase.

Material tanah dasar yang dipilih harus terdiri dari material yang stabil secara volumetrik dan tetap konstan selama masa layanan perkerasan dengan CBR minimum sebesar 5% dalam kondisi jenuh air. Jika tanah dasar memiliki sifat ekspansif yang tinggi, maka kedalaman material tanah dasar yang dipilih harus ditingkatkan setidaknya hingga 600 mm di bawah lapisan dasar (*subbase*).

2. Kekuatan Beton Lapisan Dasar (*Base Concrete Strength*)

Secara umum, kekuatan lentur karakteristik beton pada usia 28 hari (*modulus of rupture*) digunakan sebagai kekuatan desain. Untuk perkerasan beton dengan lalu lintas rencana sebesar 10^6 HVAG atau lebih, nilai minimum kekuatan lentur karakteristik beton yang disyaratkan adalah 4,5 MPa pada usia 28 hari, kecuali untuk SFCP (*Steel Fiber Concrete Pavement*) yang membutuhkan 5,5 MPa.

3. Lalu Lintas Rencana (*Design Traffic*)

Metode untuk memperkirakan beban lalu lintas rencana dalam perancangan ketebalan perkerasan kaku dijelaskan dalam bagian 2.5.3 harus memahami bahwa perkerasan kaku sangat sensitif terhadap besaran beban gandar (misalnya kelebihan muatan), tetapi kurang sensitif terhadap jumlah pengulangan beban gandar (yaitu volume lalu lintas). Oleh karena itu, disarankan untuk melakukan analisis sensitivitas terhadap lalu lintas rencana dalam proses desain.

4. Bahu Jalan Beton (*Concrete Shoulders*)

Dalam prosedur desain perkerasan, terdapat ketentuan untuk penerapan bahu jalan beton. Dengan memberikan dukungan tepi, bahu jalan beton dapat meningkatkan kinerja perkerasan serta memungkinkan penggunaan ketebalan lapisan dasar yang lebih tipis. Dalam pedoman ini, bahu jalan beton harus bersifat integral atau struktural (sesuai definisi) agar memenuhi kriteria "dengan bahu" (*with shoulder*).

a. Bahu Beton Integral (*Integral Concrete Shoulder*)

1. Terbuat dari beton yang sama dengan lapisan dasar dan setebal lapisan dasar.
2. Dicor bersamaan dengan lapisan dasar.
3. Lebar minimum 600 mm, atau 500 mm untuk bahu di lajur median.

b. Bahu Beton Struktural (*Structural Shoulder*)

1. Terhubung dengan sambungan bergelombang terikat (*tied corrugated joint*).



2. Lebar minimum 1,5 m atau 600 mm jika pelebaran integral di luar lajur lalu lintas (bisa mencakup saluran atau kerb).

c. Bahu Beton Terikat (*Tied Concrete Shoulder*)

1. Terbuat dari beton yang sama dengan lapisan dasar dan setebal lapisan dasar.
2. Dibentuk terpisah tapi dihubungkan dengan sambungan terikat ke lapisan dasar.

d. Kerb sebagai Dukungan Bahu

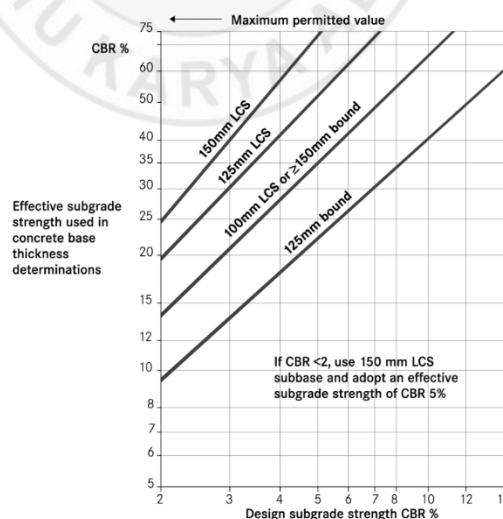
Kerb yang kuat dapat dianggap sebagai dukungan "dengan bahu" jika:

1. Terbuat dari beton struktural dengan kekuatan setara perkerasan.
2. Terikat ke perkerasan dengan sambungan bermuka bergelombang untuk mentransfer beban.

Kerb yang dibuat dengan metode *slipform* dan *fixed-form* memenuhi syarat, tetapi kerb beton ekstrusi tidak memenuhi syarat.

5. Kekuatan Efektif Tanah Dasar

Ketebalan minimum dan jenis lapisan dasar (*subbase*) yang direkomendasikan untuk berbagai tingkat beban lalu lintas dijelaskan dalam bagian 2.4.2. Untuk perkerasan kaku dengan sambungan tanpa batang pasak (*jointed undowelled bases*), disarankan menggunakan lapisan dasar campuran beton kurus (*lean-mix concrete subbase*) dengan ketebalan minimum 150 mm dari material tanah dasar yang dipilih atau material granular tanpa ikatan di bawah lapisan *subbase*. Gambar 2.9 dapat digunakan untuk menentukan peningkatan kekuatan yang akan digunakan dalam perancangan ketebalan lapisan perkerasan.



Gambar 2. 9 Peningkatan kekuatan tanah dasar efektif dengan lapisan subbase terikat atau beton kurus (LCS)
(Sumber: *Guide to Pavement Tecnology Part 2 (2017)*)



6. Keandalan Proyek (*Project Reliability*)

Dalam prosedur desain perkerasan, beban kelompok gandar (*axle group loads*, lihat Bagian 2.4.7) dikalikan dengan faktor keamanan beban (*Load Safety Factor* - LSF) dapat dilihat pada Tabel 2.30. Keandalan proyek ini penting untuk memastikan bahwa perkerasan yang dirancang dapat menahan beban lalu lintas selama umur layan yang direncanakan, dengan mempertimbangkan faktor keamanan terhadap variasi beban aktual di lapangan.

Tabel 2. 30 Faktor Keamanan Beban (LSF) untuk Perkerasan Kaku

Jenis Perkerasan	Keandalan Desain Proyek				
	80%	85%	90%	95%	97.5%
PCP	1.15	1.15	1.20	1.30	1.35
Dowel bar dan CRCP	1.05	1.05	1.10	1.20	1.25

(Sumber: *Guide to Pavement Technology Part 2* (2017))

2.4.10 Desain Ketebalan Lapisan Dasar (*Base Thickness Design*)

Prosedur untuk penentuan ketebalan perkerasan kaku didasarkan pada metode Austroads 2017 dari Australia. Ada dua mode kerusakan yang dipertimbangkan dalam prosedur ini adalah:

- Retakan kelelahan lentur pada lapisan dasar perkerasan
- Erosi subgrade/subbase yang timbul akibat defleksi berulang pada sambungan dan retakan yang direncanakan.

Desain ketebalan perkerasan mempertimbangkan sambungan dowel dan bahu beton. Perkerasan beton bertulang kontinu (CRCP) diperlakukan seperti perkerasan dengan sambungan dowel karena studi menunjukkan tekanan rata-rata keduanya serupa.

Ketebalan dasar yang dihitung kemudian harus dibulatkan ke atas hingga kelipatan 5 mm terdekat. Ketebalan dasar desain adalah nilai yang lebih besar antara ketebalan dasar yang dihitung (termasuk pembulatan) dan ketebalan dasar minimum yang terdapat dalam Tabel 2.35 untuk berbagai jenis lapisan dasar dan volume lalu lintas.

1. Prosedur Desain Ketebalan Lapisan Dasar

Sebuah ketebalan dasar percobaan dipilih, kemudian total kerusakan akibat kelelahan dan kerusakan akibat erosi dihitung untuk seluruh volume dan komposisi lalu lintas selama periode desain. Jika salah satu dari kerusakan akibat kelelahan atau erosi melebihi 100%, maka ketebalan perlu ditingkatkan dan proses desain diulang.



Ketebalan desain adalah ketebalan percobaan terkecil yang memiliki total kerusakan akibat kelelahan yang kurang dari atau sama dengan 100% dan total kerusakan akibat erosi yang kurang dari atau sama dengan 100%. Pengulangan beban gandar yang diizinkan dapat ditentukan dari persamaan berikut:

Mode Kerusakan Kelelahan (*Fatigue Distress Mode*)

Pengulangan beban yang diizinkan (N_f) untuk beban gandar tertentu adalah:

$$\log_{10} N_f = \left(\frac{0.919 - S_r}{0.0828} \right) \quad \text{Jika } S_r > 0.55 \quad \dots \dots \dots (2.16)$$

$$N_f = \left(\frac{4.258}{S_r - 0.4325} \right)^{3.268} \quad \text{Jika } 0.45 \leq S_r \leq 0.55 \quad \dots \dots \dots (2.17)$$

$$S_r = \frac{S_e}{0.944 f_{cf}} \left(\frac{P L_{SF}}{4.45 F_1} \right)^{0.94} \quad \dots \dots \dots (2.18)$$

Dimana:

- S_e = Tegangan beton ekuivalen (MPa)
- f_{cf} = Kekuatan lentur karakteristik desain pada hari ke-28 (MPa)
- P = Beban kelompok gandar (kN)
- L_{SF} = Faktor Keamanan Beban
- F_1 = 9 untuk gandar tunggal dengan ban tunggal (kelompok gandar SAST)
 = 18 untuk gandar tunggal dengan ban ganda (kelompok gandar SADT)
 = 18 untuk gandar tandem dengan ban tunggal (kelompok gandar TAST)
 = 36 untuk gandar tandem dengan ban ganda (kelompok gandar TADT)
 = 54 untuk gandar triaxle dengan ban ganda (kelompok gandar TRDT)
 = 72 untuk gandar quad dengan ban ganda (kelompok gandar QADT)

N_f dianggap tak terbatas atau disebut sebagai tidak terbatas jika S_r lebih kecil dari 0.45.

Tegangan ekuivalen (S_e) dan faktor erosi (F_3) ditentukan dari Persamaan 2.19 dengan menggunakan α koefisien j dalam Tabel 2.32 hingga Tabel 2.34.

$$S_e \text{ or } F_3 = \alpha + \frac{b}{D} + c \cdot \ln(E_f) + \frac{d}{D^2} + e [\ln(E_f)]^2 + f \cdot \frac{\ln(E_f)}{D} + \frac{g}{D^3} + h \cdot [\ln(E_f)]^3 + i \cdot \frac{[\ln(E_f)]^3}{D} + j \cdot \frac{\ln(E_f)}{D^2} \quad \dots \dots \dots (2.19)$$

Dimana: $a, b, c, d, e, f, g, h, i, j$, Koefisien terdapat dalam tabel 2.32 hingga tabel 2.34

- D = Tebal lapisan dasar beton (mm)
- E_f = CBR desain *subgrade* efektif (%)



Mode Kerusakan Erosi (*Erosion distress mode*)

Pengulangan beban yang diizinkan (*Allowable Load Repetitions, N_e*) untuk suatu beban sumbu tertentu dihitung menggunakan Persamaan 2.20.

$$\log_{10}(F_2 N_e) = 14.524 - 6.777 \left[\max \left(0, \left(\frac{P L_{SF}}{4.45 F_4} \right)^2 \cdot \frac{10^{F_3}}{41.35} - 9.0 \right) \right]^{0.103} \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana P dan LSF sesuai dengan Persamaan 2.19 dan 2.20.

- F_2 = penyesuaian untuk efek tepi pelat
 = 0,06 untuk lapisan dasar tanpa bahu beton
 = 0,94 untuk lapisan dasar dengan bahu beton
- F_3 = faktor erosi
- F_4 = penyesuaian beban untuk erosi akibat kelompok sumbu
 = 9 untuk sumbu tunggal dengan ban tunggal (*Single Axle Single Tyres – SAST*)
 = 18 untuk sumbu tunggal dengan ban ganda (*Single Axle Dual Tyres – SADT*)
 = 18 untuk sumbu ganda dengan ban tunggal (*Tandem Axle Single Tyres – TAST*)
 = 36 untuk sumbu ganda dengan ban ganda (*Tandem Axle Dual Tyres – TADT*)
 = 54 untuk sumbu tiga dengan ban ganda (*Triaxle Axle Dual Tyres – TRDT*)
 = 54 untuk sumbu empat dengan ban ganda (*Quad Axle Dual Tyres – QADT*)

Faktor erosi (F_3) ditentukan dari Persamaan (2.19) dengan menggunakan koefisien a hingga j dalam tabel 2.33 dan tabel 2.34.

Tabel 2. 31 Prosedur perancangan ketebalan dasar

No	Kegiatan	Bagian
1	Pilih jenis perkerasan kaku, baik yang bertulang sendi tanpa dowel, bertulang sendi dengan dowel, atau perkerasan beton bertulang terus-menerus.	2.5.1
2	Tentukan apakah bahu jalan beton yang diikat atau yang dicetak secara integral akan disediakan.	2.5.9. (4)
3	Menggunakan CBR desain <i>subgrade</i> dan jumlah perkiraan kelompok gandar kendaraan berat selama periode desain, tentukan ketebalan dan jenis <i>subbase</i> dari Tabel 2. 19 Persyaratan minimum untuk subbase pada perkerasan kaku.	2.5.2
4	Menggunakan CBR desain <i>subgrade</i> dan <i>subbase</i> yang dipilih, tentukan Kekuatan Subgrade Efektif (CBR) dari Gambar 2. 9 Peningkatan kekuatan tanah dasar efektif dengan lapisan.	2.5.9.(1) dan 2.5.9.(5)
5	Pilih kekuatan lentur karakteristik 28 hari dari beton dasar f_{cf} .	2.5.8 dan 2.5.10.(3)



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang memperbanyak atau mendistribusikan dokumen ini untuk tujuan komersial tanpa izin tertulis dari penulis atau pihak berwenang.
 2. Penggunaan untuk kepentingan akademik, penelitian, dan pendidikan diperbolehkan dengan mencantumkan sumber.
 3. Penggunaan tanpa izin untuk kepentingan komersial atau pelanggaran hak cipta dapat dikenakan sanksi sesuai dengan UU Hak Cipta di Indonesia.
 4. Universitas hanya berhak menyimpan dan mendistribusikan dokumen ini di repositori akademik, tanpa mengalihkan hak cipta penulis, sesuai dengan peraturan yang berlaku di Indonesia.

Universitas Islam Indragiri

No	Kegiatan	Bagian
6	Pilih tingkat keandalan proyek yang diinginkan dan dengan demikian faktor keamanan beban.	2.5.9 dan 2.5.9.(6)
7	Pilih ketebalan dasar percobaan (ketebalan dasar percobaan yang sesuai dapat ditentukan oleh ketebalan dasar minimum dari Tabel 2. 35 Ketebalan dasar minimum.	2.5.10.(1)
8	Hitung perkiraan repetisi beban untuk setiap beban kelompok gandar dari setiap jenis kelompok gandar.	2.5.7
9	Dari Distribusi Beban Lalu Lintas proyek (Bagian 2.5.7), dapatkan beban sumbu tertinggi untuk kelompok sumbu SAST dan tentukan jumlah repetisi yang diizinkan dalam hal kelelahan menggunakan Persamaan 2.16 dan Persamaan 2.18.	2.5.10.(1)
10	Hitung rasio antara repetisi kelelahan yang diperkirakan (Langkah 8) dengan repetisi yang diizinkan (Langkah 9). Kalikan dengan 100 untuk menentukan persentase kelelahan.	
11	Tentukan dari Persamaan 2.17 jumlah repetisi yang diizinkan untuk erosi untuk beban gandar tertinggi dari kelompok gandar SAST.	2.5.10.(1)
12	Hitung rasio antara repetisi erosi yang diperkirakan (Langkah 8) dengan repetisi yang diizinkan (Langkah 11). Kalikan dengan 100 untuk menentukan persentase kerusakan erosi.	
13	Ulangi langkah 9 hingga 12 untuk setiap beban kelompok gandar hingga tingkat beban di mana repetisi beban yang diizinkan melebihi 10^{11} , pada titik ini repetisi beban lebih lanjut tidak dianggap berkontribusi pada kerusakan perkerasan.	
14	Jumlahkan persentase kelelahan untuk semua beban relevan dari jenis kelompok gandar ini; demikian pula, jumlahkan persentase erosi untuk semua beban relevan dari jenis kelompok gandar ini.	
15	Ulangi langkah 9 hingga 14 untuk setiap jenis kelompok gandar (misalnya SADT, TAST, TADT, TRDT, dan QADT).	
16	Jumlahkan total kelelahan dan total kerusakan erosi untuk semua jenis kelompok gandar.	
17	Langkah 9 hingga 16 diulang hingga ketebalan terkecil yang memiliki total kelelahan kurang dari atau sama dengan 100% dan juga, total kerusakan erosi kurang dari atau sama dengan 100% ditemukan. Ini adalah ketebalan dasar desain.	
18	Dapatkan persyaratan ketebalan dasar minimum dari Tabel 2. 35 Ketebalan dasar minimum.	2.5.10.(2)
19	Hitung ketebalan dasar desain dan pertimbangkan penerapan toleransi ketebalan tambahan dijelaskan dalam Subbab 2.5.11.	2.5.10

(Sumber: Guide to Pavement Tecnology Part 2 (2017))



Tabel 2. 32 Koefisien untuk prediksi tegangan ekuivalen

	Tanpa bahu beton				Bahu beton			
	Tipe kelompok sumbu				Tipe kelompok sumbu			
Koefisien	SAST & TAST	SADT	TADT	TRDT & QADT	SAST & TAST	SADT	TADT	TRDT & QADT
<i>a</i>	0.118	0.560	0.219	0.089	-0.051	0.330	0.088	-0.145
<i>b</i>	125.4	184.4	399.6	336.4	26.0	206.5	3 01,5	258.6
<i>c</i>	-0,2396	-0.6663	-0.3742	-0.1340	0.0899	-0.4684	-0.1846	0.0080
<i>d</i>	26.969	44 405	-38	-10 007	35 774	28 661	4.418	1 408
<i>e</i>	0.0896	0.2254	0.1680	0.0830	-0.0376	0.1650	0.0939	0.0312
<i>f</i>	0.19	19.75	-71.09	-83.14	14.57	2.82	-59.93	-61.25
<i>g</i>	-352 174	-942 585	681 381	1 215 750	-861 548	-686 510	280 297	488 079
<i>h</i>	-0.0104	-0.0248	-0.0218	-0.0120	0.0031	-0.0186	-0.0128	-0.0058
<i>i</i>	- 1.2536	-4.6657	3.6501	5.2724	1.3098	-1.9606	4.1791	4.7428
<i>j</i>	-1 709	-4.082	2 003	4 400	-4 009	-2.717	1 768	2 564

(Sumber: Guide to Pavement Tecnology Part 2 (2017))

Tabel 2. 33 Koefisien untuk prediksi faktor erosi untuk dasar tanpa sambungan dowel

	Tanpa bahu beton				Bahu beton			
	Tipe kelompok sumbu				Tipe kelompok sumbu			
Koefisien	SAST & TAST	SADT	TADT	TRDT & QADT	SAST	SADT	TADT & TAST	TRDT & QADT
<i>a</i>	0.745	1.330	1.907	2.034	0.345	0.914	1.564	2.104
<i>b</i>	533.8	537.5	448.3	440.3	534.6	539.8	404.1	258.8
<i>c</i>	-0.2071	-0.1929	-0.1749	-0.2776	-0.1711	-0.1416	-0.1226	-0.2473
<i>d</i>	-42 419	-43 035	-35 827	-36 194	-44 908	-44 900	-32 024	-15 007
<i>e</i>	0.0405	0.0365	0.0832	0.0673	0.037	0.0275	0.0256	0.0469
<i>f</i>	27.27	26.44	0.64	15.77	20.49	16.37	-9.79	8.86
<i>g</i>	1 547 570	1 586 100	1 219 870	1 315 330	1 676 710	1 654 590	1 150 280	518 916
<i>h</i>	-0.0044	-0.0039	0.0060	-0.0084	-0.0038	-0.0032	-0.0052	-0.0075
<i>i</i>	-1.4656	-1.4547	1.0741	-1.2068	-13829	-0.9584	2.1997	1.5517
<i>j</i>	-1 384	-1 344	50	-625	-913	-765	469	-599

(Sumber: Guide to Pavement Tecnology Part 2 (2017))

Tabel 2. 34 Koefisien untuk prediksi faktor erosi untuk dasar dengan sambungan dowel atau dasar CRCP

	Tanpa bahu beton				Bahu beton			
	Tipe kelompok sumbu				Tipe kelompok sumbu			
Koefisien	SAST & TAST	SADT	TADT	TRDT & QADT	SAST	SADT	TADT & TAST	TRDT & QADT
<i>a</i>	0.072	0.643	1.410	2.089	-0.184	0.440	0.952	1.650
<i>b</i>	679.9	684.5	498.9	351.3	602.3	609.8	544.9	359.4



	Tanpa bahu beton				Bahu beton			
	Tipe kelompok sumbu				Tipe kelompok sumbu			
Koefisien	SAST & TAST	SADT	TADT	TRDT & QADT	SAST	SADT	TADT & TAST	TRDT & QADT
<i>c</i>	-0.0789	-0.0576	-0.1680	-0.3343	-0.0085	-0.0484	-0.0404	-0.1765
<i>d</i>	-58 342	-58.371	-39 430	-25 567	-50 996	-52 519	-47 500	-28 901
<i>e</i>	0.0179	0.0128	0.0322	0.0723	0.0122	0.0017	0.0179	0.0435
<i>f</i>	6.70	4.61	13.80	29.58	8.99	9.62	-31.54	-15.97
<i>g</i>	2 139 330	2 131 390	1 437 580	932 081	1 874 370	1 949 350	1 719 950	1 085 800
<i>h</i>	-0.0021	-0.0017	-0.0044	-0.0086	0.0008	-0.0007	-0.0051	-0.0084
<i>i</i>	-0.5199	-0.2056	0.0380	-1.6301	-0.4759	-0.6314	3.3789	3.2908
<i>j</i>	-187	-185	-697	-1 327	-374	-326	1 675	758

(Sumber: *Guide to Pavement Technology Part 2 (2017)*)

2. Ketebalan Dasar Minimum

Terlepas dari ketebalan dasar yang dihitung sesuai dengan prosedur ini, ketebalan minimum dasar beton yang akan dilalui kendaraan berat tercantum dalam Tabel 2.35. Nilai minimum untuk beban lalu lintas desain yang melebihi atau sama dengan 10^7 HVAG harus memperhitungkan faktor lingkungan seperti pembengkokan dan pengelupasan pelat.

Tabel 2. 35 Ketebalan dasar minimum.

Jenis perkerasan (dasar)	Lalu lintas desain		
	$1 \times 10^6 \leq \text{HVAG} < 1 \times 10^7$	$1 \times 10^7 \leq \text{HVAG} < 5 \times 10^7$	$\text{HVAG} \geq 5 \times 10^7$
PCP	150	200	250
JRCP	150	180	230
CRCP	125	180	230
SRCP	150	180	230

(Sumber: *Guide to Pavement Technology Part 2 (2017)*)

3. Contoh Grafik Desain

Grafik desain contoh untuk jalan kaku terdapat pada Gambar 2.10 dan 2.11. didasarkan pada:

- distribusi beban lalu lintas contoh (Lampiran G pada pedoman *Guide to Pavement Technology Part 2*)
- penyediaan bahu beton (subbab 2.5.10 bagian 5)
- kekuatan lentur desain beton dasar sebesar 4,5 Mpa

- d. faktor keselamatan beban yang sesuai dengan keandalan proyek yang diinginkan:
80% (LSF = 1,05 untuk sambungan dowel dan CRCP, LSF = 1,15 untuk PCP)
95% (LSF = 1,2 untuk sambungan dowel dan CRCP, LSF = 1,3 untuk PCP).

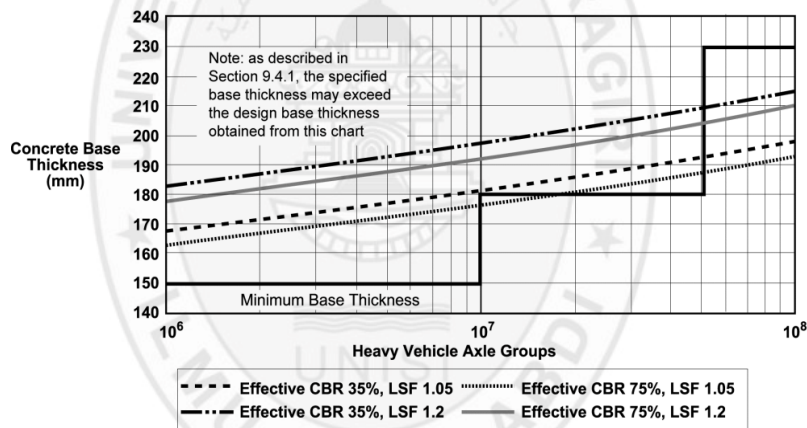
Grafik ini memungkinkan perancang membandingkan ketebalan dasar desain untuk berbagai volume lalu lintas, kekuatan subgrade efektif, dan faktor keselamatan beban.

Tabel 2. 36 Grafik desain untuk konfigurasi lalu lintas dan perkerasan

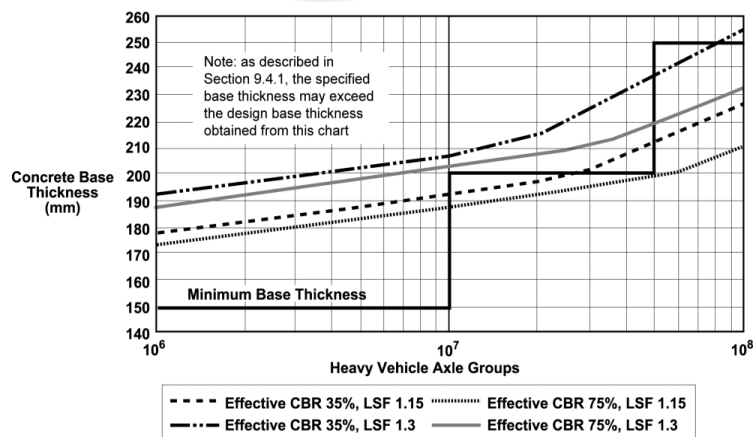
Tipe dasar	Kekuatan subgrade efektif (CBR)	Faktor keselamatan beban	diagram
PCP	35% & 75%	1.15 & 1.3	Gambar 2.10
Beton bertulang dengan sambungan dan dowel	35% & 75%	1.05 & 1.2	Gambar 2.11

(Sumber: Guide to Pavement Technology Part 2 (2017))

Berikut grafik desain contoh perkerasan beton polos tanpa (dengan) sambungan dowel untuk kombinasi dua kekuatan subgrade efektif dan dua faktor keselamatan beban.



Gambar 2. 10 Grafik desain contoh perkerasan beton polos tanpa dowel
(Sumber: Guide to Pavement Technology Part 2 (2017))



Gambar 2. 11 Grafik desain contoh CRCP atau perkerasan dengan dowel
(Sumber: Guide to Pavement Technology Part 2 (2017))



4. Penyediaan *Dowel*

Prosedur desain ketebalan memungkinkan sambungan kontraksi dengan atau tanpa dowel. Dowel harus berupa batang baja bulat polos Kelas 250 N, panjang 450 mm, dan berjarak 300 mm. Dowel harus lurus, dengan ujung ekspansi/kontraksi bebas burr. Lebih dari setengah panjangnya harus dilapisi bahan anti-lengket untuk mengurangi ikatan dengan beton. Pemasangan harus akurat secara horizontal dan vertikal untuk mencegah penguncian sambungan. Diameter dowel dapat dilihat pada Tabel 2.37.

Tabel 2. 37 Diameter minimum batang *dowel* untuk perkerasan beton.

Ketebalan dasar desain (D) (mm)	Diameter dowel
$150 < D \leq 175$	24
$175 < D \leq 200$	28
$200 < D \leq 260$	32
$D > 260$	36

(Sumber: *Guide to Pavement Technology Part 2* (2017))

5. Penyediaan *Tiebars*

Tiebars mencegah perkerasan terpisah di sambungan longitudinal, sekaligus memungkinkan sedikit pergerakan tanpa hambatan berlebih. *Tiebars* biasanya berupa batang baja diameter 12 mm, Kelas 500N, panjang 1 meter, ditempatkan di tengah sambungan. Jaraknya ditentukan berdasarkan teori seret subgrade (Persamaan 2.23) dan dipengaruhi oleh ketebalan dasar, gesekan antar lapisan, jarak ke tepi perkerasan terdekat.

2.4.11 Jenis dan Desain Sambungan

Terdapat dua jenis tegangan utama yang dapat terjadi pada perkerasan jalan beton:

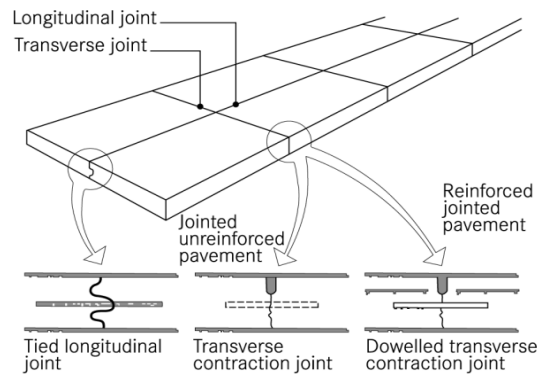
- Tegangan akibat beban eksternal – Disebabkan oleh lalu lintas yang melewati perkerasan.
- Tegangan akibat perubahan lingkungan – Muncul karena perubahan suhu dan kelembaban yang menyebabkan beton mengembang atau menyusut.

Desain ketebalan perkerasan lebih dipengaruhi oleh beban lalu lintas, sedangkan desain dan lokasi sambungan dipengaruhi oleh tegangan akibat perubahan lingkungan.

Beberapa jenis sambungan digunakan dalam perkerasan beton adalah:

- Transverse Contraction Joints* (Sambungan kontraksi melintang)
- Transverse Construction Joints* (Sambungan konstruksi melintang)

c. Longitudinal (Hinge) Joints (Sambungan longitudinal atau engsel)



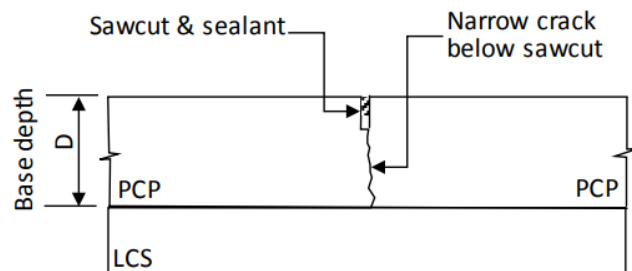
Gambar 2. 12 Sambungan khas pada perkerasan jalan beton
 (Sumber: *Guide to Pavement Tecnology Part 2 (2017)*)

5.1 Sambungan Kontraksi Melintang (Transversal)

Pergerakan utama pada perkerasan beton terjadi searah lalu lintas karena panjang jalan jauh lebih besar daripada lebarnya. Oleh karena itu, desain dan konstruksi sambungan transversal lebih penting dibandingkan sambungan lainnya. Untuk mengontrol retakan, jarak sambungan kontraksi pada perkerasan tanpa tulangan tergantung pada penyusutan beton, gesekan subbase/subgrade, dan ketebalan pelat.

Umumnya digunakan jarak 4,2 m. Pada perkerasan beton bertulang dengan sambungan dowel (JRCP), jarak sambungan bisa diperbesar hingga 8–10 m. Retakan mungkin tetap muncul pada jarak 4–6 m setelah pengecoran, tetapi akan terkendali oleh jaring penguat. Transfer beban pada sambungan dilakukan oleh dowel atau melalui kaitan agregat pada perkerasan tanpa dowel. Agar sambungan berfungsi dengan baik:

- Dowel harus dilapisi di salah satu sisi untuk mencegah ikatan dengan beton.
- Dowel harus dipasang sejajar dengan arah perkerasan dengan toleransi ketat agar tidak menyebabkan retakan tidak terkendali.



Gambar 2. 13 Contoh sambungan kontraksi transversal yang digergaji pada PCP
 (Sumber: *Guide to Pavement Tecnology Part 2 (2017)*)



5.2 Sambungan Konstruksi Melintang (*Transversal*)

Sambungan konstruksi melintang (*transverse*) diperlukan saat terjadi penghentian yang direncanakan, seperti di akhir hari kerja, di area kosong untuk jembatan dan persimpangan, atau saat terjadi keterlambatan tak terduga yang menyebabkan terbentuknya sambungan.

Perkerasan Beton Tanpa Tulangan

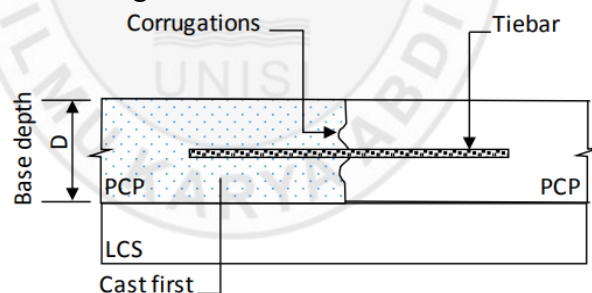
Sambungan konstruksi melintang dapat dibentuk dengan salah satu cara berikut:

a. Sambungan dengan Dowel

Sambungan konstruksi bisa dibuat di lokasi sambungan kontraksi yang direncanakan, tetapi harus dibiarkan bebas bergerak. Karena transfer beban pada sambungan tanpa ikatan lebih kecil, maka dowel diperlukan untuk membantu transfer beban antar pelat beton.

b. Sambungan yang dibentuk dan diikat

Sambungan yang dibentuk dan diikat bertujuan agar menjadi bagian integral dari pelat. Gelombang membantu transfer beban, sementara tiebars berulir menjaga sambungan tetap rapat untuk mencegah retak di jalur berdekatan. *Tiebars* biasanya dipasang dengan jarak 300–500 mm. (Gambar 2.14). Sambungan sebaiknya tegak lurus terhadap sumbu jalan, berada di sepertiga tengah pelat, dan minimal 1,5 m dari sambungan kontraksi melintang.

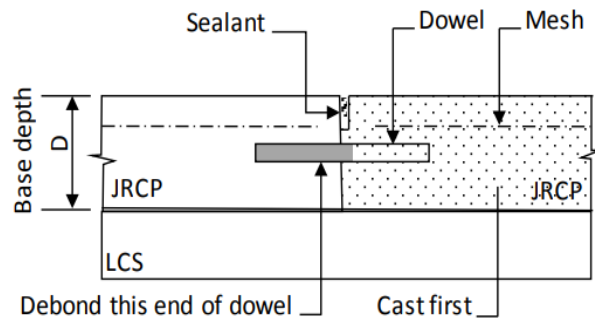


Gambar 2. 14 sambungan konstruksi transversal PCP yang dibentuk dan diikat
(Sumber: *Guide to Pavement Technology Part 2 (2017)*)

c. Perkerasan Beton Bertulang dengan Sambungan

Pada JRCP, terdapat dua pilihan untuk desain sambungan konstruksi transversal yaitu membentuk sambungan dengan dowel pada lokasi yang direncanakan (Gambar 2.15). dan menempatkan sambungan yang diikat dalam panjang pelat standar. Karena JRCP (*Jointed Reinforced Concrete Pavement*) sudah menggunakan dowel, opsi pertama lebih sesuai dibandingkan PCP (*Plain Concrete Pavement*). Namun, memastikan dowel

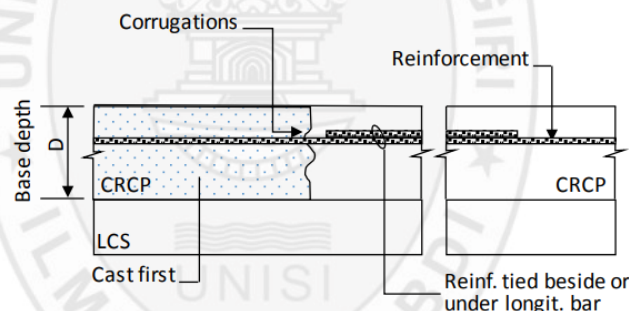
terpasang dengan tepat bisa sulit, sehingga opsi kedua lebih menguntungkan karena tiebars tidak perlu diselaraskan secara presisi.



Gambar 2. 15 Contoh sambungan konstruksi transversal JRCP
 (Sumber: Guide to Pavement Technology Part 2 (2017))

d. Pavemen Beton Bertulang Terus-Menerus (CRCP)

Dalam CRCP (*Continuously Reinforced Concrete Pavement*), baja memanjang harus tetap berlanjut di setiap sambungan konstruksi seperti pada Tabel 2.16. Baja tambahan ditambahkan untuk mengontrol pola retak di area dekat pengecoran sebelumnya. Sambungan bergelombang dengan cetakan khusus digunakan untuk memastikan transfer beban yang efektif.



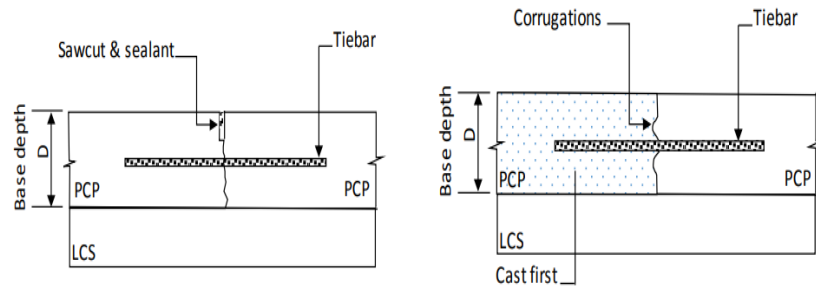
Gambar 2. 16 Sambungan konstruksi transversal CRCP yang dibentuk & diikat
 (Sumber: Guide to Pavement Technology Part 2 (2017))

5.3 Sambungan Longitudinal

Tujuan sambungan memanjang adalah mengontrol retak dengan melepaskan tegangan akibat lenturan. Sambungan ini diikat jika memungkinkan agar tetap rapat. Umumnya, sambungan yang dibentuk dibiarkan tanpa sealant, sedangkan yang dipotong dengan gergaji disegel, Seperti pada gambar 2.17. Sambungan memanjang dapat berupa:

- Sambungan konstruksi dengan permukaan bergelombang yang diikat *tiebars*.
- Sambungan yang diinduksi untuk pengecoran beberapa lajur, biasanya dengan pemotongan gergaji hingga sepertiga ketebalan pelat.

Tiebars hanya menjaga sambungan tetap rapat, sementara transfer beban terjadi melalui penguncian agregat (pada sambungan gergaji & disegel – gambar bagian kiri) atau gelombang permukaan (pada sambungan yang dibentuk – gambar bagian kanan).



Gambar 2. 17 Jenis sambungan longitudinal PCP
(Sumber: *Guide to Pavement Technology Part 2* (2017))

2.5 California bearing ratio (CBR)

California Bearing Ratio (CBR) adalah sebuah indeks yang digunakan dalam rekayasa geoteknik untuk mengukur kemampuan tanah dalam mendukung beban. CBR adalah parameter penting dalam perencanaan perkerasan jalan dan landasan bandara. Indeks ini memberikan informasi tentang sejauh mana tanah dapat mempertahankan kekuatan dan ketahanannya terhadap deformasi akibat beban. Selain itu, nilai CBR juga dapat diperkirakan menggunakan *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP). Pengujian DCP ini sering digunakan sebagai alternatif atau metode pendukung untuk menentukan nilai CBR di lapangan karena lebih praktis dan efisien.

Dynamic Cone Penetrometer (DCP) adalah alat uji yang digunakan dalam teknik sipil untuk mengevaluasi kepadatan relatif dari tanah di lapangan. Alat ini biasanya digunakan untuk mengukur kepadatan tanah pada lokasi konstruksi, seperti jalan, landasan pacu bandara, atau proyek bangunan lainnya. DCP bekerja dengan cara menembus tanah dengan konus yang jatuh bebas dari ketinggian tertentu, dan kemudian rekaman kedalaman penetrasi konus tersebut. Hal ini menilai kekuatan dan kepadatan tanah untuk perencanaan dan konstruksi yang tepat.

Dalam menggunakan alat DCP ini menggunakan pedoman yang mengacu pada “*Pemberlakuan Pedoman Cara Uji California Bearing Ratio (CBR) dengan Dynamic Cone Penetrometer (DCP)*”.

Pengujian DCP memerlukan 3 orang teknisi, yaitu:

1. satu orang memegang peralatan yang sudah terpasang dengan tegak;
2. satu orang untuk mengangkat dan menjatuhkan penumbuk;



3. satu orang untuk mencatat hasil.

Untuk cara pengujian DCP adalah sebagai berikut:

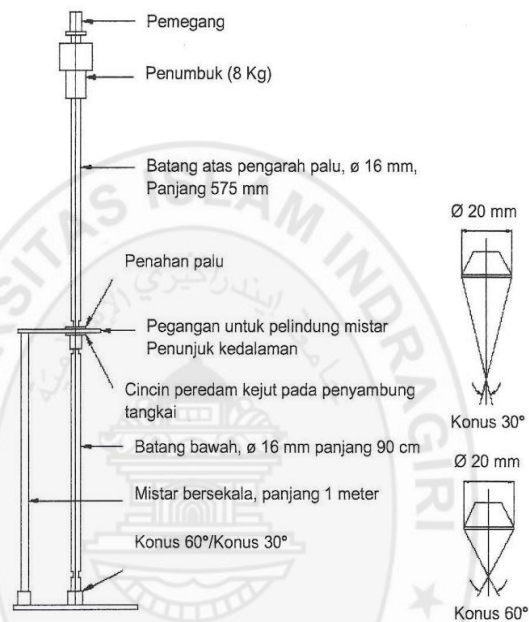
1. Letakkan alat DCP pada titik uji di atas lapisan yang akan diuji;
2. Pegang alat yang sudah terpasang pada posisi tegak lurus di atas dasar yang rata dan stabil, kemudian catat pembacaan awal pada mistar pengukur kedalaman;
3. Mencatat jumlah tumbukan;
Angkat penumbuk pada tangkai bagian atas dengan hati-hati sehingga menyentuh batas pegangan;
Lepaskan penumbuk sehingga jatuh bebas dan tertahan pada landasan;
catat jumlah tumbukan dan kedalaman, sesuai ketentuan-ketentuan sebagai berikut:
untuk lapis pondasi bawah atau tanah dasar yang terdiri dari bahan yang tidak keras maka pembacaan kedalaman sudah cukup untuk setiap 1 tumbukan atau 2 tumbukan;
untuk lapis pondasi yang terbuat dari bahan berbutir yang cukup keras, maka harus dilakukan pembacaan kedalaman pada setiap 5 tumbukan sampai dengan 10 tumbukan.

Cara menentukan nilai CBR

1. Periksa hasil pengujian lapangan yang terdapat pada formulir pengujian penetrometer konus dinamis (DCP) dan hitung akumulasi jumlah tumbukan dan akumulasi penetrasi setelah dikurangi pembacaan awal pada mistar penetrometer konus dinamis (DCP);
2. Gunakan formulir hubungan kumulatif (total) tumbukan dan kumulatif penetrasi, terdiri dari sumbu tegak dan sumbu datar, pada bagian tegak menunjukkan kedalaman penetrasi dan arah horizontal menunjukkan jumlah tumbukan;
3. Plotkan hasil pengujian lapangan pada salib sumbu di grafik.
4. Tarik garis yang mewakili titik-titik koordinat tertentu yang menunjukkan lapisan yang relatif seragam;
5. Hitung kedalaman lapisan yang mewakili titik-titik tersebut, yaitu selisih antara perpotongan garis-garis yang dibuat pada no. 4, dalam satuan mm;
6. Hitung kecepatan rata-rata penetrasi (DCP, mm/tumbukan atau cm/tumbukan) untuk lapisan yang relatif seragam;
7. Nilai DCP diperoleh dari selisih penetrasi dibagi dengan selisih tumbukan.

8. Gunakan gambar grafik atau hitungan formula hubungan nilai DCP dengan CBR dengan cara menarik nilai kecepatan penetrasi pada sumbu horizontal ke atas sehingga memotong garis tebal untuk sudut konus 60° atau garis putus-putus untuk sudut konus 30°;
9. Tarik garis dari titik potong tersebut ke arah kiri sehingga nilai CBR dapat diketahui.

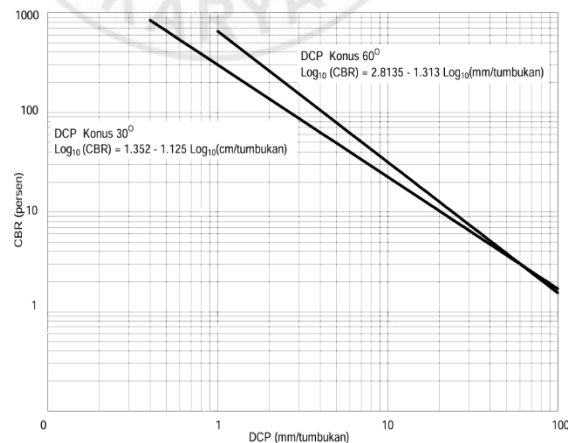
Adapun contoh alat uji DCP, bisa dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2. 18 Alat Dynamic Cone Penetrometer (DCP)

(Sumber: Pemberlakuan Pedoman Cara Uji California Bearing Ratio (CBR) dengan Dynamic Cone Penetrometer (DCP))

Adapun Gambar dibawah ini untuk menentukan nilai CBR didapat dari DCP.



Gambar 2. 19 Hubungan nilai DCP dengan CBR)

(Sumber: Pemberlakuan Pedoman Cara Uji California Bearing Ratio (CBR) dengan Dynamic Cone Penetrometer (DCP))



2.6 Penyusunan Rencana Anggaran Biaya

Rencana anggaran biaya (RAB) merupakan estimasi total biaya yang dibutuhkan untuk pengadaan material, pembayaran tenaga kerja, serta berbagai pengeluaran lain yang berkaitan dengan pelaksanaan sebuah proyek atau pembangunan. RAB ini mencerminkan nilai atau biaya keseluruhan dari sebuah bangunan yang dihitung secara teliti, akurat, dan sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Anggaran biaya pada bangunan yang sama akan berbeda-beda dimasing-masing daerah, disebabkan karena perbedaan harga bahan dan upah tenaga kerja. Penyusunan anggaran biaya untuk tebal perkerasan Pada Ruas Jalan Teluk Pinang – Teluk Pantaian menggunakan Pedoman Dinas Pekerjaan Umum Bidang Bina Marga tahun 2025. Dalam menyusun anggaran biaya dilakukan langkah - langkah sebagai berikut:

1. Daftar Harga Satuan Bahan dan Upah

Daftar satuan bahan dan upah merupakan data harga yang dikeluarkan oleh Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Indragiri Hilir. Informasi ini digunakan untuk menghitung biaya yang diperlukan dalam penggunaan tenaga kerja, material, dan peralatan guna menentukan harga satuan dari suatu jenis pekerjaan. Daftar ini berfungsi sebagai pedoman dalam merencanakan serta mengendalikan biaya pelaksanaan proyek agar sesuai anggaran.

2. Analisa Harga Satuan Pekerjaan

Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) merupakan proses perhitungan biaya untuk menentukan harga satuan dari suatu jenis pekerjaan konstruksi. Perhitungan ini mencakup pengalihan antara kebutuhan material, tenaga kerja, dan peralatan dengan harga masing-masing, termasuk harga bahan, upah pekerja, serta biaya sewa atau pembelian alat. AHSP berperan penting dalam merencanakan dan mengatur penggunaan sumber daya seperti material bangunan, tenaga kerja, serta waktu pelaksanaan agar proyek berjalan efisien dan sesuai anggaran.

3. Perhitungan volume pekerjaan

Volume pekerjaan adalah total jumlah atau kapasitas dari suatu jenis pekerjaan yang harus diselesaikan dalam sebuah proyek. Volume ini menunjukkan seberapa besar atau banyak suatu pekerjaan dilakukan, dan digunakan sebagai dasar untuk menghitung harga satuan dari setiap jenis pekerjaan yang ada dalam proyek tersebut.



4. RAB (Rencana Anggaran Biaya)

RAB atau Rencana Anggaran Biaya adalah dokumen yang memuat perkiraan total biaya yang dibutuhkan untuk melaksanakan suatu kegiatan, seperti proyek konstruksi. Dokumen ini berfungsi sebagai alat bantu bagi pemilik proyek, kontraktor, dan pihak terkait dalam menyusun rencana keuangan, mengendalikan pengeluaran, serta memantau jalannya proyek. Dengan adanya RAB, potensi pemborosan dana, kelebihan pembelian bahan, dan kesalahan dalam pembayaran dapat diminimalkan.

5. Rekapitulasi biaya

Rekapitulasi biaya merupakan jumlah keseluruhan biaya yang dibutuhkan setelah semua pekerjaan dihitung berdasarkan volume dan dikalikan dengan harga satuannya. Dalam rekapitulasi ini, tercantum rincian setiap jenis pekerjaan utama beserta estimasi biayanya secara lengkap.

1. Dilarang memperbanyak atau mendistribusikan dokumen ini untuk tujuan komersial tanpa izin tertulis dari penulis atau pihak berwenang.
2. Penggunaan untuk kepentingan akademik, penelitian, dan pendidikan diperbolehkan dengan mencantumkan sumber.
3. Penggunaan tanpa izin untuk kepentingan komersial atau pelanggaran hak cipta dapat dikenakan sanksi sesuai dengan UU Hak Cipta di Indonesia.
3. Universitas hanya berhak menyimpan dan mendistribusikan dokumen ini di repositori akademik, tanpa mengalihkan hak cipta penulis, sesuai dengan peraturan yang berlaku di Indonesia.





2.7 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan sebuah kegiatan membandingkan penelitian yang sedang dikerjakan penulis dengan penelitian yang sudah dilakukan dari peneliti sebelumnya. Bagian ini mencantumkan berbagai hasil penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian yang akan dilakukan, lalu merangkumnya. Penelitian dapat berupa jurnal, skripsi, tesis, disertasi. Berikut beberapa penelitian terdahulu:

1. Ros Anita Sidabutar, Universitas HKBP Nommensen (2021), dengan judul *“Evaluasi Perkerasan Jalan Kaku (Rigid Pavement) Pada Jalan Sm Raja Medan Dengan Metode Bina Marga”*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi tebal perkerasan dengan Metode Bina Marga. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, diambil kesimpulan bahwa tebal struktur perkerasan kaku Jl SM Raja berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan adalah tebal pelat adalah 30 cm, tebal lean concrete adalah 10 cm dan tebal pondasi agregat adalah 15 cm.
2. Mohammad Rafii Tiara Manggala, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya (2022), *“Perencanaan Perkerasan Kaku Jalan Lingkar Tuban Provinsi Jawa Timur”*. Metode bina marga. Tujuan penelitian ini dilakukan agar mendapatkan besarnya tebal perkerasan kaku yang telah direncanakan mengacu pada Manual Desain Perkerasan Jalan 2017. Hasil didapatkan nilai Tebal Pelat Beton 310 mm dan pondasi bawah dengan campuran beton kurus (CBK) sebesar 125 mm dengan tulangan anyaman berdiameter $\phi 10$ -250mm, batang pengikat (tie-bar) $\phi 16$ 750mm panjang batang pengikat 700 mm, dan ruji (dowel) $\phi 36$ -300mm panjang ruji (dowel) 450 mm.
3. Supiyono, Politeknik Negeri Malang (2023), *“Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Dan Rencana Anggaran Biaya”*. Metode bina marga. Skripsi ini bertujuan untuk merancang kedalaman perkerasan kaku dan memperkirakan biaya. Rancangan Rigid Pavement dengan panjang jalan 5000 meter dan lebar 4 meter dengan umur rencana 20 tahun diperoleh perkerasan kaku 20 cm dengan mutu beton K-350, teralis dowel $\phi 25$ mm, panjang 45 cm dengan jarak 30 cm dan tie bar $\phi 16$ mm, panjang 100 cm dengan jarak 60 cm, seharga Rp 8.520.735.274. Dan untuk hasil desain perkerasan lentur 10 cm dengan kualitas Laston MS 744, sebesar Rp 6.821.986.777.



1. Dilarang memperbanyak atau mendistribusikan dokumen ini untuk tujuan komersial tanpa izin tertulis dari penulis atau pihak berwenang.
2. Penggunaan untuk kepentingan akademik, penelitian, dan pendidikan diperbolehkan dengan mencantumkan sumber.
3. Plagiarisme juga dilarang dan dapat dikenakan sanksi.
3. Universitas hanya berhak menyimpan dan mendistribusikan dokumen ini di repositori akademik, tanpa mengalihkan hak cipta penulis, sesuai dengan peraturan yang berlaku di Indonesia.

4. Syah Razad Lutfhy Al Bahry, Universitas Ibn Khaldun Bogor (2023), *“Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku pada Ruas Jalan Lingkar Laladon, Kab. Bogor”*. Meningkatkan jalan menjadi perkerasan kaku (Rigid Pavement) yang dapat bertahan lama dan melakukan analisis geometric jalan dalam meningkatkan arus lalu lintas. Hasil penelitian dengan tebal perkerasan sebesar 20 cm metode AASHTO 1993, dengan tulangan memanjang dan melintang D12-300, dengan sambungan melintang menggunakan dowel yang digunakan diameter 12 dengan Panjang 450mm dan dari hasil analisis geometrik didapatkan 2 tikungan dengan menggunakan jenis full circle yaitu tikungan PI-1 dengan panjang lengkung tikungan sebesar 198,34m, tikungan PI-2 dengan panjang lengkung tikungan sebesar 139,64m.
5. Heri Sutanto, Universitas Mulawarman (2018) dengan judul *“Perencanaan Jalan Dengan perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Pada Jalan Rawa Indah Kota Sangatta Provinsi Kalimantan Timur”*. Perencanaan jalan untuk geometrik jalan dan tebal perkerasan jalan menggunakan metode bina marga. Mengetahui analisis Perencanaan Geometrik dan Tebal Perkerasan pada Jalan Rawa Indah Kota Sangatta Provinsi Kalimantan Timur. Dari hasil analisis Jalan sepanjang 7,3 km merupakan jalan kolektor kelas IIIA di medan datar, dengan kecepatan rencana 60 km/jam, lebar jalan 6 m, dan bahu 1,5 m. Perencanaan geometrik mencakup 12 tikungan spiral-spiral, 6 spiral-circle-spiral, 8 lengkung cekung, dan 5 lengkung cembung. Perkerasan menggunakan sistem kaku dengan lapisan: beton semen 285 mm, beton kurus 150 mm, dan agregat A 150 mm di atas tanah dasar asli.