



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu adalah kegiatan membandingkan penelitian yang sedang dilakukan dengan penelitian-penelitian sebelumnya. Tujuan dari perbandingan ini adalah untuk mengidentifikasi persamaan maupun perbedaan yang ada, sehingga penulis dapat mengetahui kelebihan serta keterbatasan dari penelitian yang sedang dilaksanakan.

Bagian ini mencantumkan berbagai referensi penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian yang akan dilakukan, lalu merangkumnya. Penelitian dapat berupa jurnal, skripsi, tesis, disertasi. Berikut beberapa penelitian terdahulu:

1. Rachardi, Reffanda Kurniawan, Universitas PGRI Palembang (2018), dengan judul *“Analisis Tebal Perkerasan Jalan Rigid Di Kecamatan Sinar Peninjauan”*. Hasil analisis menunjukkan bahwa Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR) di Jalan Kecamatan Sinar Peninjauan pada tahun 2016 mencapai 1.628 kendaraan per hari untuk ruas 2 jalur 2 arah. Perkerasan jalan menggunakan tebal 18 cm dengan tulangan memanjang Ø14-100 mm serta tulangan melintang Ø12-300 mm. Untuk meningkatkan mutu konstruksi, disarankan penggunaan material sesuai standar Bina Marga agar jalan lebih kokoh dan memberikan kenyamanan bagi pengguna.
2. Ahmad Irwan Hanafi, Totok Yulianto, Titin Sundari, Universitas Hasyim Asy'ari Tebuireng Jombang (2023), dengan judul *“Perencanaan Jalan Rigid Pavement Pada Kawasan Perumahan Bunda Asri Kecamatan Bandarkedungmulyo Kabupaten Jombang”*. Penelitian ini menggunakan metode Pd T-2003 dalam perencanaan. Hasil perhitungan menunjukkan terdapat dua tipe jalan, yaitu jalan desa dengan tebal perkerasan kaku 165 mm dan jalan lokal dengan tebal perkerasan kaku 170 mm.
3. Maya Sari, Universitas Islam Indragiri (2021), dengan judul *“Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku Jalan Tembilaan – Terusan Mas”*. Perencanaan perkerasan kaku menghasilkan desain pelat beton K-350 dengan ketebalan 20 cm dan lapisan fondasi bawah beton K-125 setebal 15 cm. Total anggaran yang diperlukan untuk pekerjaan ini adalah Rp 25.035.692.000,00.



4. Hidayah Ryiski, Universitas Medan Area (2022), dengan judul “*Evaluasi Tebal Perkerasan Kakupada Proyek Jalan Tol Tebing Tinggi – Inderapura*”. Ketebalan perkerasan kaku yang dihasilkan dari perencanaan telah memenuhi standar kekuatan dan keamanan struktur. Pada metode Bina Marga 2017, diperoleh tebal 30,5 cm, sementara pada metode AASHTO 1993 diperoleh ketebalan 20 cm.
5. Rut Magdalena Silitonga, Universitas Palangka Raya (2020), dengan judul “*Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku Dengan Metode Aashto 1993 Pada Ruas Jalan Dusun Betung Kabupaten Katingan*”. Penelitian pada ruas jalan akses menuju Dusun Betung (STA 0+000 – STA 2+200) menggunakan metode AASHTO 1993 dengan nilai CBR 18,5% diperoleh tebal pelat beton adalah 25,5 cm, dengan *lean concrete* setebal 10 cm, dan lapis fondasi agregat kelas A setebal 15 cm, dan perhitungan dengan Nomogram AASHTO 1993 menghasilkan tebal pelat 26 cm.

2.2 Jalan

Pengertian umum mengenai jalan sesuai dengan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2022 Pasal 1 tentang Jalan adalah sebagai berikut:

1. Jalan merupakan prasarana transportasi darat yang mencakup seluruh bagiannya, termasuk bangunan penghubung, pelengkap, maupun perlengkapannya yang digunakan untuk lalu lintas. Jalan dapat berada di atas permukaan tanah, di bawah tanah, di atas air, maupun di bawah permukaan air. Namun, jalan tidak termasuk jalan rel, jalan lori, maupun jalan kabel.
2. Jalan Umum adalah jalan digunakan untuk kepentingan lalu lintas secara umum.
3. Jalan bebas hambatan merupakan jenis jalan umum yang dirancang untuk lalu lintas dengan akses masuk yang sepenuhnya terkendali, tanpa persimpangan sebidang, serta dilengkapi pagar pada ruang milik jalan.
4. Jalan tol adalah jalan bebas hambatan yang termasuk dalam sistem jaringan jalan serta berstatus sebagai jalan nasional, di mana para pengguna diwajibkan untuk membayar biaya penggunaan.
5. Jalan khusus merupakan jalan yang dibangun serta dikelola untuk kepentingan tertentu oleh pihak selain penyelenggara jalan, baik itu BUMN, BUMD, badan usaha berbadan hukum maupun tidak, perseorangan, kelompok masyarakat, ataupun instansi pemerintah pusat maupun daerah.



2.2.1 Klasifikasi Jalan

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

2.2.1.1 Klasifikasi jalan menurut fungsi jalan

Klasifikasi jalan menurut fungsi jalan sebagai berikut:

1. Jalan arteri merupakan jalan yang difungsikan untuk melayani pergerakan utama, dengan karakteristik perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, serta akses jalan masuk yang dibatasi secara efisien.
2. Jalan kolektor adalah jalan yang berperan sebagai penghubung dan pembagi arus lalu lintas, memiliki karakter perjalanan jarak menengah, kecepatan rata-rata sedang, dan jumlah akses masuk yang dibatasi.
3. Jalan lokal berfungsi melayani pergerakan lalu lintas setempat dengan ciri perjalanan jarak pendek, kecepatan rata-rata rendah, serta akses masuk yang tidak dibatasi.
4. Jalan lingkungan adalah jalan umum yang digunakan untuk pergerakan di dalam lingkungan, dengan ciri perjalanan jarak dekat dan kecepatan rata-rata rendah.

2.2.1.2 Klasifikasi jalan menurut kelas jalan

Klasifikasi jalan menurut kelasnya ditentukan berdasarkan kemampuan jalan dalam menahan beban lalu lintas, yang dinyatakan dengan Muatan Sumbu Terberat (MST) dalam satuan ton, serta kesesuaiannya dalam melayani kendaraan dengan ukuran tertentu. Rincian mengenai klasifikasi kelas jalan, fungsi jalan, serta batas maksimum dimensi kendaraan yang diperbolehkan melintas 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)



2.2.1.3 Klasifikasi jalan menurut medan jalan

Pengelompokan medan jalan dilakukan berdasarkan kondisi kemiringan utama dari medan, yang diukur tegak lurus terhadap 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))

2.2.1.4 Klasifikasi jalan menurut Status jalan

Berdasarkan kewenangan atau statusnya, jalan umum diklasifikasikan sesuai dengan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2022 Pasal 9 tentang Jalan:

1. Berdasarkan statusnya, jalan umum dibedakan menjadi beberapa kategori, yaitu jalan nasional, jalan provinsi, jalan kabupaten, jalan kota, dan jalan desa.
2. Jalan Nasional adalah jalan arteri maupun kolektor dalam sistem jaringan jalan primer yang berfungsi menghubungkan antar-ibu kota provinsi, termasuk jalan tol serta jalan strategis nasional.
3. Jalan Provinsi merupakan jalan kolektor pada jaringan jalan primer yang menghubungkan ibu kota provinsi dengan ibu kota kabupaten atau kota, antar-ibu kota kabupaten/kota, serta jalan strategis provinsi.
4. Jalan kabupaten adalah jalan lokal dalam jaringan jalan primer yang berfungsi menghubungkan ibu kota kabupaten dengan ibu kota kecamatan, antar-ibu kota kecamatan, serta pusat kegiatan lokal. Jalan ini juga mencakup jaringan jalan sekunder di wilayah kabupaten serta jalan strategis kabupaten.
5. Jalan kota termasuk dalam jaringan jalan sekunder yang melayani hubungan antar-pusat pelayanan, persil, dan kawasan permukiman di dalam wilayah kota.
6. Jalan desa merupakan jalan umum yang menghubungkan antarpermukiman atau kawasan dalam wilayah desa, termasuk jalan lingkungan di sekitarnya.

2.2.2 Bagian – Bagian Jalan

Ada beberapa bagian jalan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.1. Adapun bagian-bagian jalan tersebut adalah sebagai berikut:

2.1.2.1 Ruang Manfaat Jalan

Ruang manfaat jalan (Rumaja) meliputi lebar hingga batas ambang pengaman konstruksi pada kedua sisi jalan, dengan tinggi 5 m di atas permukaan perkerasan pada sumbu jalan, serta kedalaman ruang bebas hingga 1,5 m di bawah permukaan jalan.

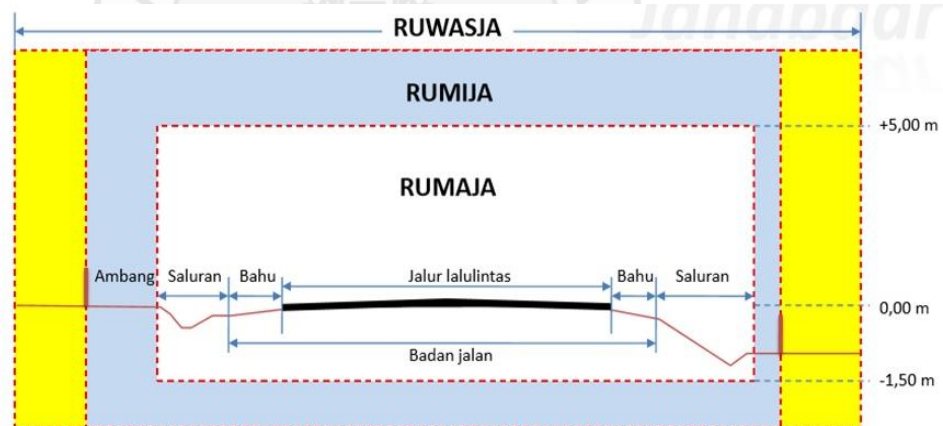
2.1.2.2 Ruang Milik Jalan

Ruang milik jalan (Rumija) dibatasi oleh lebar yang sama dengan Rumaja ditambah dengan ambang pengaman konstruksi, dengan tinggi 5 dan kedalaman 1,5 m.

2.1.2.3 Ruang Pengawasan Jalan

Ruang pengawasan jalan (Ruwasja) merupakan area sepanjang jalan yang berada di luar Rumaja, dibatasi oleh ukuran lebar dan tinggi tertentu dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Jalan Arteri minimum 20 meter.
2. Jalan Kolektor minimum 15 meter.
3. Jalan Lokal minimum 10 meter.



Gambar 2. 1 Bagian – Bagian Jalan Antar Kota
(Sumber: FLLAJ NTB (2017))

2.3 Kriteria Desain

Jalan harus memiliki karakteristik konstruksi yang kokoh, tahan lama, dan mampu menahan penetrasi air. Dari segi penggunaan, jalan harus memberikan pengalaman berkendara yang nyaman, memenuhi standar jalan, dan efisien secara ekonomi. Oleh karena itu, Perlu dirancang suatu perkerasan yang dapat menanggung berbagai beban dari lalu lintas yang melintasi jalan tersebut.

Kriteria desain ini mengacu pada buku “Manual Desain Perkerasan Jalan”, meliputi beberapa bagian sebagai berikut:



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.
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.

1. Desain umur rencana.

Pada umumnya, perkerasan baik lentur maupun kaku direncanakan dengan umur rencana (UR) antara 20 hingga 40 tahun.

2. Pemilihan struktur perkerasan.

Pemilihan jenis perkerasan akan bervariasi berdasarkan volume lalu lintas, umur rencana, dan kondisi fondasi jalan. perencana teknis harus mempertimbangkan biaya terendah selama umur rencana, keterbatasan, dan kepraktisan pelaksanaan.

3. Desain lalu lintas.

Data lalu lintas menjadi parameter utama dalam analisis perkerasan, karena digunakan untuk menghitung beban rencana yang diproyeksikan sepanjang umur rencana berdasarkan volume lalu lintas saat survei.

4. Desain drainase perkerasan jalan.

Drainase pada perkerasan jalan berfungsi penting dalam mencegah air agar tidak merusak atau memengaruhi struktur perkerasan (AASHTO, 1993).

5. Desain fondasi jalan.

Tiga faktor utama dalam desain perkerasan adalah lalu lintas, tanah dasar, dan pengaruh air. Pada daerah dengan tanah bermasalah seperti gambut atau tanah ekspansif, diperlukan analisis khusus karena metode standar tidak selalu menghasilkan perkerasan yang optimal.

Pada perkerasan tipis, kesalahan kecil dalam evaluasi tanah dasar dapat memangkas umur layanan hingga sepersepuluh dari rencana. Pada perkerasan tebal dampaknya lebih kecil namun tetap signifikan, sehingga ketepatan penentuan daya dukung tanah dasar sangat penting untuk kinerja optimal.

6. Desain perkerasan lentur.

Dasar dari prosedur desain perkerasan lentur dengan campuran beraspal dalam manual ini adalah karakteristik mekanik material serta analisis struktur perkerasan secara mekanistik.

7. Desain perkerasan kaku.

Perkerasan beton semen merupakan struktur yang tersusun dari pelat beton, baik tanpa tulangan, dengan tulangan, maupun menerus dengan tulangan, yang diletakkan di atas tanah dasar atau lapisan fondasi bawah, serta dapat dilapisi aspal di bagian permukaan. Kekuatan utama perkerasan ini ditopang oleh pelat beton,



sementara daya dukung, sifat, dan keseragaman tanah dasar sangat memengaruhi keawetan serta performa perkerasan beton semen.

8. Desain perkerasan jalan kerikil atau perkerasan dengan penutup tipis.
Perkerasan kerikil dibuat dari agregat yang dipadatkan langsung di atas tanah dasar tanpa lapisan aspal, biasanya digunakan untuk jalan pedesaan atau lalu lintas ringan. Sementara itu, perkerasan berpenutup tipis menambahkan lapisan aspal tipis di atas kerikil guna mengurangi debu, meningkatkan kenyamanan, serta melindungi lapisan bawah dari air. Perbedaannya terletak pada keberadaan lapisan aspal pada penutup tipis, sedangkan perkerasan kerikil tidak memilikinya.
9. Masalah pelaksanaan yang mempengaruhi desain
Untuk mendapatkan perkerasan yang berkualitas, persyaratan mutu konstruksi harus terpenuhi. Kualitas pelaksanaan yang kurang baik tidak bisa diperbaiki hanya dengan melakukan penyesuaian desain. Misalnya, kepadatan lapisan yang tidak sesuai standar tidak dapat digantikan dengan menambah ketebalan perkerasan yang direncanakan

2.4 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan adalah lapisan konstruksi dari campuran agregat dan bahan pengikat untuk menahan beban lalu lintas. Agregat yang digunakan antara lain batu pecah, batu belah, batu kali, atau limbah peleburan baja, sedangkan bahan pengikatnya dapat berupa aspal, semen, maupun tanah liat (Silitonga, 2020)

Fungsi utama perkerasan jalan yaitu menyebarkan beban dari roda kendaraan ke area tanah dasar yang lebih luas dibandingkan titik kontak roda dengan permukaan jalan (Silitonga, 2020). Secara umum, perkerasan jalan memiliki beberapa fungsi antara lain:

1. Untuk memberikan struktur yang kuat dalam mendukung beban lalu lintas.
2. Untuk memberikan permukaan rata bagi pengendaraan.
3. Untuk memberikan kekasatan atau bahan gelincir di permukaan perkerasan.
4. Menyebarkan beban kendaraan secara merata ke tanah dasar, sehingga lapisan tanah dasar terlindungi dari tekanan berlebih.

Beban jalan bersifat repetitif atau berulang, menyebabkan penurunan kinerja perkerasan seiring bertambahnya usia dan beban lalu lintas. Beban berlebih (*overloading*) muncul apabila beban gandar kendaraan melampaui batas desain umur rencana, sehingga sering menimbulkan kerusakan pada perkerasan lebih cepat dari yang diperkirakan.

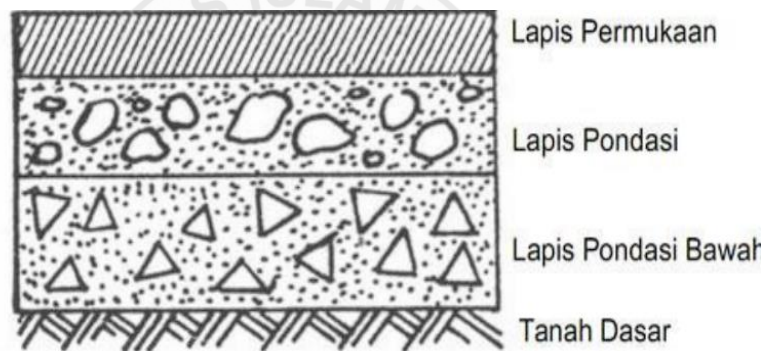
1. Dilarang memperbanyak atau mendistribusikan dokumen ini untuk tujuan komersial tanpa izin tertulis dari penulis atau pihak berwenang.
2. Penggunaan untuk kepentingan akademik, penelitian, dan pendidikan diperbolehkan dengan mencantumkan sumber.
3. Penggunaan tanpa izin untuk kepentingan komersial 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.

2.5 Jenis Konstruksi Perkerasan dan Komponennya

Konstruksi perkerasan jalan adalah proses pembangunan lapisan-lapisan yang membentuk struktur jalan, sedangkan komponennya adalah bagian-bagian yang membentuk setiap lapisan tersebut, antara lain:

2.5.1 Perkerasan Lentur (*Flexible pavement*)

Perkerasan lentur (*flexible pavement*) merupakan jenis perkerasan umumnya memanfaatkan campuran beraspal sebagai lapisan permukaannya, sementara lapisan di bawahnya terdiri dari material berbutir. Kombinasi ini memberikan sifat fleksibilitas atau kelenturan pada perkerasan, sehingga mampu meningkatkan kenyamanan bagi kendaraan yang melintas di atasnya (Rachardi, 2018).



Gambar 2. 2 Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*).
(sumber: (Rachardi, 2018))

2.5.2 Semenisasi

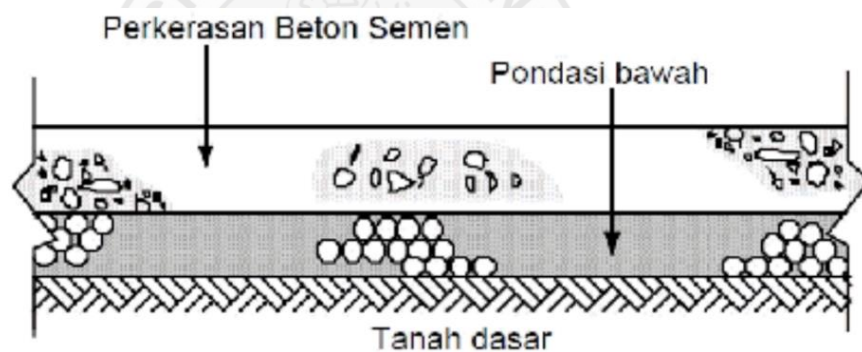
Semenisasi jalan adalah proses pembangunan atau perbaikan jalan dengan menggunakan campuran beton semen sebagai bahan utama untuk lapisan perkerasan. Beton semen adalah bahan konstruksi, terdiri dari campuran agregat seperti kerikil atau batu pecah, pasir, semen, dan air. Proses semenisasi ini melibatkan beberapa tahapan, seperti persiapan dasar, pencampuran bahan, pengecoran, pemadatan, dan penyelesaian permukaan.

Semenisasi jalan umumnya digunakan untuk proyek kecil atau perbaikan dengan kebutuhan teknis sederhana, sementara *rigid pavement* diterapkan pada proyek besar seperti jalan raya dan bandara yang memerlukan ketahanan tinggi. Secara umum, Semenisasi dapat dianggap sebagai versi sederhana dari *rigid pavement* yang lebih mudah diterapkan.

2.5.3 Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Perkerasan kaku adalah struktur perkerasan yang terdiri dari tanah dasar, lapisan fondasi bawah, serta pelat beton semen Portland, yang dapat digunakan dengan atau tanpa tulangan (Silitonga, 2020). Adapun rinciannya sebagai berikut:

1. Perkerasan beton memiliki tingkat kekakuan serta modulus elastisitas yang lebih besar dibandingkan dengan perkerasan lentur.
2. Sebagian besar beban lalu lintas ditopang oleh pelat beton, sedangkan sisanya hanya sedikit yang diteruskan ke tanah dasar.
3. Ketebalan pelat beton direncanakan agar mampu menahan beban roda, pengaruh suhu, kadar air, serta perubahan volume pada lapisan bawah.
4. Perhitungan ketebalan pelat beton mempertimbangkan prinsip kelelahan (*fatigue*) guna menyesuaikan dengan pengulangan beban lalu lintas.



Gambar 2. 3 Tipikal Struktur Perkerasan Beton Semen
(Sumber: (Rachardi, 2018))

Lapis Perkerasan Kaku memiliki beberapa lapisan antara sebagai berikut:

1. Tanah Dasar (*Subgrade*)
Tanah dasar adalah lapisan yang dipadatkan dari tanah asli, timbunan, atau galian (Labuhan et al., 2022). Daya dukung tanah dasar sangat berpengaruh terhadap kualitas jalan, sehingga dalam perencanaan ketebalan perkerasan, digunakan nilai CBR. Jika nilai CBR tanah dasar kurang dari 2%, diperlukan fondasi beton bertulang setebal 15 cm untuk meningkatkan stabilitas (Timang et al., 2020).
2. Fondasi Bawah (*Subbase*)
Lapisan ini berfungsi untuk mengontrol pemompaan, sistem drainase, serta mengurangi pembengkakan dan penyusutan tanah dasar. Selain itu, fondasi bawah membantu mempercepat proses konstruksi dan menjaga kerataan bagian bawah pelat beton (Sidabutar & Saragi, 2021).



3. Susunan Pelat Beton (Concrete Slab)

Campuran dari susunan pelat beton ialah semen, agregat, air serta bahan adiktif. Pelat beton terdiri dari campuran semen, agregat, air, dan bahan aditif. Karena sifatnya kaku, pelat beton mampu mendistribusikan beban dengan baik, sehingga tegangan pada lapisan bawah lebih rendah. Untuk meningkatkan kenyamanan, sering ditambahkan lapisan aspal setebal 5 cm (*Khairiyah et al., 2021*).

4. Baja Tulangan

Tulangan baja tidak mencegah retak pada beton, tetapi berfungsi membatasi pelebaran retakan di area dengan beban tinggi agar kekuatan beton tetap terjaga.

Perkerasan kaku memiliki beberapa keuntungan, antara lain:

1. Dapat menahan beban kendaraan yang berat.
2. Tahan terhadap genangan air dan banjir.
3. Biaya perawatan lebih murah dibandingkan aspal.
4. Dapat digunakan pada tanah lemah atau ekspansif dengan CBR rendah, namun perbaikan tanah diperlukan tergantung pada kondisi lapangan.
5. Pengadaan material lebih mudah didapat.
6. Direkomendasikan untuk tanah dasar lemah dan lalu lintas berat.

Kerugian menggunakan perkerasan kaku sebagai berikut:

1. Kualitas jalan beton ditentukan oleh proses pengerjaan. Jika beton mengering terlalu cepat bisa muncul retak, sehingga perlu penanganan seperti menambah bahan kimia atau melakukan perawatan dengan air setelah pengecoran.
2. Kehalusan dan gelombang jalan sangat ditentukan pada saat proses pengecoran sehingga diperlukan pengawasan yang ketat.

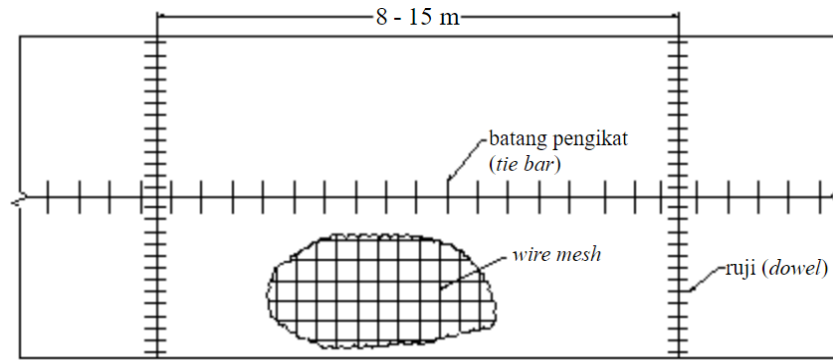
2.5.4 Jenis perkerasan kaku

Perkerasan kaku dibagi menjadi 3 jenis sambungan dan tulangan pelat beton perkerasan kaku adalah sebagai berikut:

2.5.4.1 Perkerasan Beton Bersambung Dengan Tulangan (BBDT) / *Jointed*

Reinforced Concrete Pavement (JRCP)

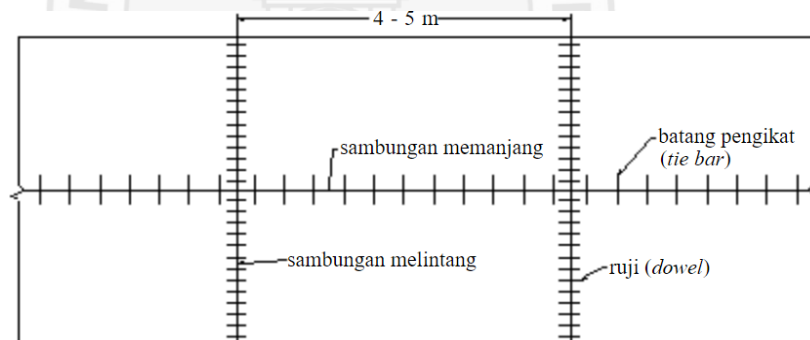
Perkerasan beton semen bertulang umumnya berbentuk pelat persegi panjang, dengan ukuran panjang dibatasi oleh adanya sambungan melintang. Panjang pelat biasanya berkisar antara 8 hingga 15 meter. Terlihat pada gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Perkerasan Beton Bersambung Dengan Tulangan (BBDT)
(Sumber: Perancangan perkerasan jalan dan penyelidikan tanah. (2011))

2.5.4.2 Perkerasan Beton Bersambung Tanpa Tulangan (BBTT) / *Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP)*

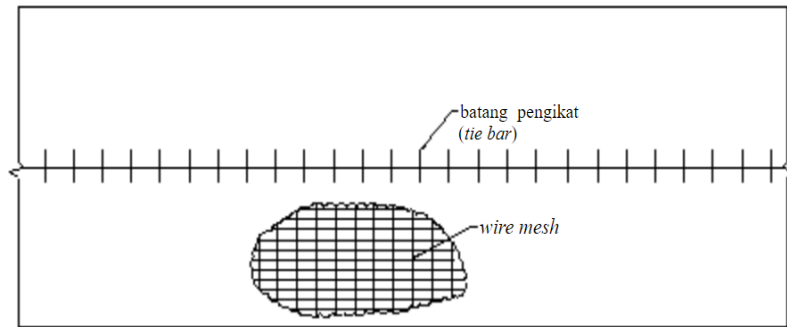
Jenis perkerasan beton semen tanpa tulangan biasanya dibuat dalam bentuk pelat mendekati bujur sangkar, dengan panjang pelat dibatasi oleh sambungan melintang untuk mencegah retak. Lebar perkerasan umumnya satu lajur dengan panjang 4 – 5 meter. Meskipun tidak menggunakan tulangan, perkerasan ini tetap dilengkapi dengan ruji (*dowel*) dan batang pengikat (*tie bar*), seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Perkerasan Beton Bersambung Tanpa Tulangan (BBTT)
(Sumber: Perancangan perkerasan jalan dan penyelidikan tanah (2011))

2.5.4.3 Perkerasan Beton Menerus Dengan Tulangan (BMDT) / *Continuously Reinforced Concrete Pavement (CRCP)*

Jenis perkerasan beton semen yang di buat dengan tulangan dan dengan panjang pelat yang menerus yang hanya dibatasi adanya sambungan-sambungan muai melintang. Panjang pelat kurang lebih ± 75 m.



Gambar 2. 6 Perkerasan Beton Menerus Dengan Tulangan (BMDT)
(Sumber: Perancangan perkerasan jalan dan penyelidikan tanah (2011))

2.5.5 Pengisi dan Penutup Sambungan (Joint Filter and Joint Sealer)

Penutup sambungan berfungsi mencegah masuknya air maupun kotoran ke dalam celah perkerasan. Material penutup sambungan (joint sealer) bisa berupa expandite plastic, campuran bitumen-karet yang diaplikasikan dalam kondisi panas (gambar 2.7(a)), atau bahan siap pakai seperti Neoprena (gambar 2.7(b)). Sebelum pemasangan, celah sambungan harus dibersihkan terlebih dahulu agar penutup dapat berfungsi.



a



b

Gambar 2. 7 Bahan Penutup sambungan (a), dan Material Neoprena (b)
(Sumber: depobeta.com)

2.5.6 Baja Tulangan (Wire Mesh)

Baja tulangan harus dalam kondisi bersih dari kotoran, minyak, atau zat lain yang dapat mengurangi daya lekat dengan beton. Jika perkerasan menggunakan tulangan, biasanya berupa anyaman kawat las atau susunan batang baja. Adapun tujuan penggunaan tulangan adalah:

1. Membatasi lebar retak agar kekuatan pelat tetap terjaga.
2. Memungkinkan penggunaan pelat dengan ukuran lebih panjang sehingga jumlah sambungan melintang berkurang dan kenyamanan berkendara meningkat.
3. Menekan biaya pemeliharaan jalan.



2.6 Perencanaan Perkerasan Kaku Metode Bina Marga 2024

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

2.6.1 Umur Rencana

Umur rencana perkerasan jalan baru dinyatakan pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Umur rencana perkerasan jalan baru (UR)

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

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

2.6.2 Beban lalu lintas

Desain perkerasan kaku didasarkan pada Jumlah Kelompok Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN) sebagai satuan beban lalu lintas, bukan nilai ESA. Analisis lalu lintas dilakukan dengan mempertimbangkan volume kendaraan serta konfigurasi sumbu.

Dalam perencanaan perkerasan beton semen, kendaraan yang diperhitungkan adalah yang memiliki berat total minimal 5 ton. Konfigurasi sumbu yang digunakan dalam perhitungan terdiri dari lima jenis kelompok sumbu, yaitu:

1. Sumbu tunggal roda tunggal (STRT).
2. Sumbu tunggal roda ganda (STRG).
3. Sumbu tandem roda tunggal (STdRT).
4. Sumbu tandem roda ganda (STdRG)
5. Sumbu tridem roda ganda (STrRG)
6. Sumbu empat roda ganda (SQdRG).

Tahapan dalam menentukan lalu lintas rencana meliputi beberapa prosedur berikut:



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.
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

1. Menentukan umur rencana.
2. Menghitung jumlah rata-rata kendaraan harian.
3. Menentukan jumlah JSKN untuk setiap jenis kendaraan berat per hari.
4. Menghitung total kumulatif JSKN pada jalur rencana sepanjang umur layanan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$JSKN = (\sum LHR_{JK} \times JSKN_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R \dots \dots \dots (2.1)$$

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
 $JSKN$: Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga selama umur rencana
 R : Pertumbuhan lalu lintas kumulatif

Tabel 2. 4 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))

2.6.3 Drainase Perkerasan Jalan

Drainase pada perkerasan jalan memiliki peran penting untuk mencegah kerusakan akibat air. Kehadiran air dapat memengaruhi kinerja perkerasan dalam beberapa aspek (AASHTO, 1993), di antaranya:

1. Air pada permukaan aspal dapat menurunkan modulus campuran serta kekuatan tarik, bahkan hingga 30% saat kondisi jenuh.
2. Pada lapisan *Asphalt Concrete Base* (AC-Base), keberadaan air mampu menurunkan modulus sekitar 30% serta meningkatkan potensi erosi pada *Cement Treated Base* (CTB) maupun *Lime Treated Base*.
3. Kelebihan kadar air pada lapisan fondasi agregat (*base* maupun *subbase*) dapat mengurangi modulus hingga 50% atau lebih.
4. Tanah dasar berbutir halus (*roadbed soil*) yang jenuh air dapat mengalami penurunan modulus lebih dari 50%.



Tinggi minimum permukaan tanah dasar di atas muka air tanah dan level muka air banjir dapat dilihat di tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Tinggi minimum tanah dasar di atas muka air tanah dan muka air banjir

Kelas Jalan (berdasarkan spesifikasi penyediaan prasarana jalan)	Tinggi Tanah Dasar di Atas Muka Air Tanah (mm)	Tinggi Tanah Dasar di Atas Muka Air Banjir (mm)
Jalan Bebas Hambatan	1200	500 (banjir 50 tahunan)
Jalan Raya	800 (tanah lunak jenuh atau gambut) 600 (tanah dasar normal)	
Jalan Sedang	600	500 (banjir 10 tahunan)
Jalan Kecil	400	NA

(Sumber: Manual Desain perkerasan jalan (2024))

2.6.4 Struktur Fondasi Jalan

struktur lapisan fondasi jalan ada beberapa lapisan dengan disesuaikan perencanaan kondisi lapangan.

2.6.4.1 Bagan desain

Bagan desain lapisan fondasi jalan lentur dan kaku untuk struktur fondasi jalan dapat ditentukan sebagai berikut berikut.

CBR Tanah Dasar (%)	Kelas Kekuatan Tanah Dasar	Uraian Struktur Fondasi	Perkerasan Lentur		Perkerasan Kaku
			Beban Lalu Lintas Pada Jalur Rencana Dengan Umur Rencana 40 Tahun (Juta ESAs)		
			<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				
Kekuatan tanah dasar < 2,5% atau tanah lunak			Untuk tebal tanah lunak > 1 m harus ditangani dengan penanganan geoteknik, sedangkan untuk ketebalan ≤ 1 m dapat diganti tanah timbunan dengan tebal minimum yang sama dengan ketentuan dan berlaku untuk tanah SG2,5 Bagan Desain ini.		
Tanah ekspansif			Penanganan sesuai dengan kajian geoteknik terhadap besaran potensi pemuaian dengan ketebalan penutup tidak kurang dari 600 mm berupa material dengan potensi pemuaian tidak lebih besar dari 1,5%. Di atas lapis penutup tersebut harus ditambahkan lapis perbaikan SG2,5.		

Gambar 2. 8 Bagan Desain Fondasi Jalan Minimum

(Sumber: Manual Desain perkerasan jalan (2024))

1. Jika tanah dasar masih berbutir halus, maka perkerasan kaku maupun lentur perlu dilengkapi lapisan tambahan setebal 200 mm. Lapisan ini dapat berupa timbunan pilihan berbutir kasar (CBR $\geq$ 30%, PI antara 6–15, ukuran butir maksimum 50 mm), LFA Kelas C, atau lapisan stabilisasi semen dengan UCS $\geq$ 10 kg/cm².



2.6.4.2 Tanah Dasar Normal

Tanah dasar normal ialah tanah dengan nilai CBR in-situ lebih dari 2,5%, pada area timbunan, galian, atau permukaan tanah asli. Untuk mencegah terjadinya pumping pada perkerasan kaku, apabila tanah dasar memiliki CBR efektif 6% atau telah diberi timbunan pilihan dengan CBR minimal 10%, maka diperlukan tambahan lapisan setebal 200 mm. Lapisan ini bisa berupa timbunan pilihan berbutir kasar ($\text{CBR} \geq 30\%$, PI 6–15, ukuran butir ≤ 50 mm), LFA Kelas C, atau lapisan stabilisasi semen dengan $\text{UCS} \geq 10 \text{ kg/cm}^2$

2.6.4.3 Gambut

Fondasi pada area wilayah bergambut, diperlukan penyelidikan geoteknik yang mendetail, mencakup analisis durasi pra-pembebanan, besarnya penurunan, serta nilai CBR efektif pada lapisan penopang.

Proses konstruksi harus dilaksanakan secara bertahap untuk menyesuaikan dengan konsolidasi tanah, yang dipantau melalui *settlement plate*. Apabila belum terdapat jalan eksisting di atas lahan gambut, perlu dilakukan timbunan percobaan (*trial embankment*) guna memastikan stabilitas serta menentukan waktu pra-pembebanan. Pekerjaan konstruksi tidak boleh dimulai sebelum data hasil percobaan tersebut tersedia.

2.6.4.4 Lunak

Tanah lunak adalah tanah terkonsolidasi normal atau sedikit over konsolidasi (*lightly over consolidated*), umumnya berupa lempung atau lempung kelanauan dengan $\text{CBR} < 2,5\%$. Tanah ini mengalami pergerakan lebih besar saat mendapat beban statik dan dinamik dibandingkan tanah yang dipadatkan secara mekanis, sehingga menyebabkan kerusakan berbeda pada jalan di atasnya.

Untuk kedalaman < 1 m, penggantian tanah sepenuhnya perlu dipertimbangkan. Jika kedalaman 1–4 m, solusinya menggunakan micro piling (cerucuk kayu), penggantian sebagian tanah lunak, atau pra-pembebanan sesuai ketentuan MDP 2024 Tabel 6.3.

2.6.4.5 Tanah Ekspansif

Tanah ekspansif merupakan jenis tanah yang berpotensi mengembang lebih dari 2,5%, sesuai hasil uji CBR rendaman SNI 1744:2012 pada kondisi kadar air optimum dan kepadatan kering 100%. Tanah ini dikenal sebagai tanah kembang susut karena sifatnya yang berubah akibat fluktuasi kadar air, terutama dipengaruhi oleh perubahan musim, sehingga dapat menyebabkan ketidakstabilan tanah.



2.6.4.6 Material Timbunan

Bagan desain memperlihatkan ketebalan minimum timbunan, baik tanah biasa maupun timbunan pilihan, yang diperlukan untuk mencapai nilai CBR desain 6%. Apabila digunakan untuk lalu lintas kendaraan konstruksi, ketebalan tersebut dapat ditambah sesuai kebutuhan

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pekerjaan timbunan:

1. Timbunan di bawah muka air harus menggunakan batuan yang tahan terhadap pengaruh air.
2. Harus berfungsi sebagai lantai kerja yang stabil selama konstruksi berlangsung.
3. Permukaan timbunan wajib memenuhi elevasi standar terhadap muka air tanah maupun banjir.
4. Alur roda akibat lalu lintas konstruksi tidak boleh lebih dari 40 mm.
5. Timbunan harus cukup tebal agar dapat dipadatkan dengan alat berat.
6. Pemadatan dilakukan sesuai metode yang ditetapkan, dengan tingkat kepadatan yang disetujui pengawas. Untuk perkerasan kaku, pemadatan optimal penting agar tidak terjadi retak karena penurunan diferensial.
7. Jika tanah asli jenuh atau berisiko jenuh, gunakan geotekstil dengan timbunan berbutir di atasnya.

2.6.4.7 Fondasi Bawah

fondasi bawah menggunakan bahan berupa:

1. Bahan dengan Pengikat (BP)
Stabilisasi semen (*Cement Treated based – CTB*);
Beton kurus giling padat (*Lead Rolled Concrete*); atau campuran beraspal.
2. Beton kurus (*BK/Lean mix Concrete*)

Lapis fondasi bawah pada perkerasan beton semen harus diperlebar 400 mm di luar tepi perkerasan. Pemasangan fondasi hingga ke tepi luar jalan membantu mengurangi pengaruh tanah lunak maupun ekspansif. Beton kurus yang digunakan wajib memenuhi standar SNI 6388:2015, AASHTO M-155, dan SNI 1743:2008, dengan ketebalan minimal 150 mm bila lokasi rawan erosi.

Pada konstruksi perkerasan beton semen tanpa sambungan ruji, direkomendasikan penggunaan lapis fondasi bawah dari beton kurus dengan ketebalan minimum yang mengacu pada Tabel 2.6 (Bahan Berpengikat) dan BK (Beton Kurus).



Tabel 2. 6 Tebal fondasi bawah minimum pada perkerasan beton semen

Lalu Lintas Desain (JSKN)	Jenis Lapis Fondasi
Sampai dengan 10^6	BP 125 mm
106 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))

2.6.5 Struktur lapisan perkerasan

lapisan perkerasan pada bagian ini direncanakan berdasarkan Bagan Desain Perkerasan Kaku, yang disesuaikan dengan variasi beban lalu lintas sebagai berikut:

Tabel 2. 7 Bagan Desain Perkerasan kaku

Jenis perkerasan	Perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan (<i>Jointed Plain Concrete Pavement</i>), dengan tulangan (JRCP), beton semen menerus dengan tulangan (CRCP).
Sambungan melintang	Sambungan ini harus dipotong dengan kedalaman antara seperempat hingga sepertiga dari tebal beton. Dowel yang digunakan berupa baja tulangan polos (BjTP 280) dengan jarak antar tulangan 300 mm, panjang 450 mm, dan diameter minimal seperdelapan dari tebal beton.
Sambungan memanjang	Batang pengikat dipasang menggunakan baja tulangan sirip (BjTS 420A) dengan jarak antar tulangan 600 mm, panjang 700 mm, dan diameter minimum 16 mm.
Bahu jalan	Bahu jalan dibuat menyatu dengan pelat beton utama minimal selebar 600 mm, atau memakai batang pengikat jika lebarnya lebih dari 1500 mm. Mutu beton harus sama dengan lajur utama, termasuk pada kereb dan saluran.
Lapis fondasi	Lapis fondasi disesuaikan dengan Subbab 2.6.4.7
Lapis drainase	Lapis fondasi agregat kelas A yang berfungsi sebagai lapis drainase dengan tebal 200 mm untuk 2 lajur per arah dan untuk yang lebih dari 2 lajur per arah setebal 300 mm.
Lapis pemecah ikatan fondasi bawah dengan pelat (<i>base bond breaker</i>)	Berupa membran kedap air dengan tebal minimum 125 mikron khusus pada lapis fondasi 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. 8 Ketebalan beton minimum

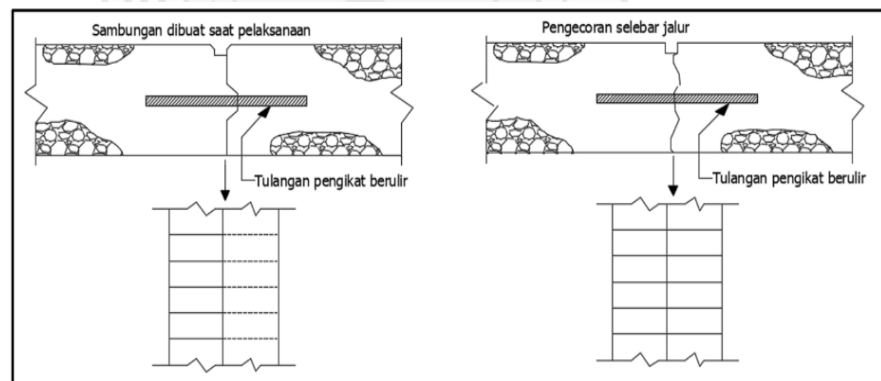
Jenis Perkerasan	Lalu Lintas Rencana		
	$1 \times 10^6 \leq \text{JSKN} < 1 \times 10^7$	$1 \times 10^7 \leq \text{JSKN} < 5 \times 10^7$	$\text{JSKN} \geq 5 \times 10^7$
JPCP	150 mm	200 mm	250 mm
JRCP	150 mm	180 mm	230 mm
CRCP	150 mm	180 mm	230 mm

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

2.6.6 Jenis sambungan

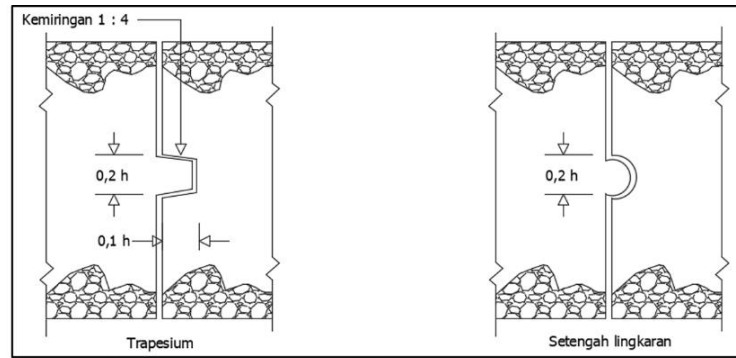
Pada perkerasan beton semen terdapat beberapa jenis sambungan yaitu:

1. Sambungan memanjang dengan batang pengikat (*tie bars*) sambungan memanjang dengan tie bar. Fungsinya untuk mencegah retak memanjang, dengan jarak pemasangan sekitar 3–4 meter, seperti gambar 2.9.



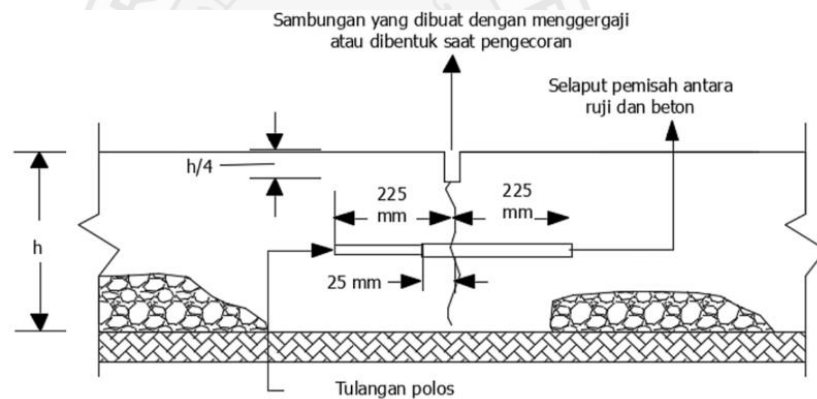
Gambar 2. 9 Tipikal sambungan memanjang
(Sumber: *Manual Desain perkerasan jalan (2024)*)

2. Sambungan susut memanjang dapat dibuat dengan cara digergaji atau dibentuk saat beton masih plastis, dengan kedalaman sekitar sepertiga tebal pelat.
3. Sambungan susut dan sambungan melintang dipasang tegak lurus terhadap sumbu jalan, sedangkan sambungan melintang diberi kemiringan 1:10 searah jarum jam untuk mengurangi beban dinamis.
4. Sambungan pelaksanaan memanjang biasanya dibuat dengan sistem penguncian. Sebelum pengecoran pelat beton di sisi sebelahnya, permukaan sambungan harus dicat dengan aspal atau kapur tembok untuk mencegah ikatan antara beton lama dan beton baru. Terlihat pada gambar 2.10.



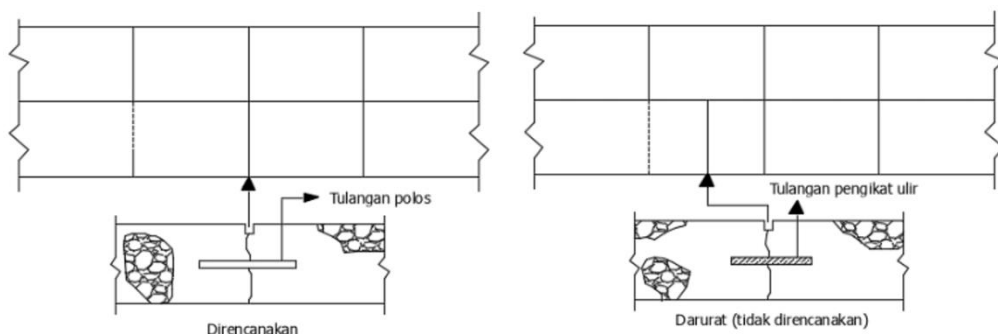
Gambar 2. 10 ukuran standar penguncian sambungan memanjang
(Sumber: Manual Desain perkerasan jalan (2024))

5. Sambungan susut melintang memiliki kedalaman sekitar seperempat dari tebal pelat (Gambar 2.11). Jarak sambungan susut melintang bervariasi, yaitu 4-5 m untuk perkerasan beton tanpa tulangan, 8-15 m untuk perkerasan beton dengan tulangan, dan pada perkerasan beton menerus dengan tulangan disesuaikan dengan kondisi pelaksanaan.



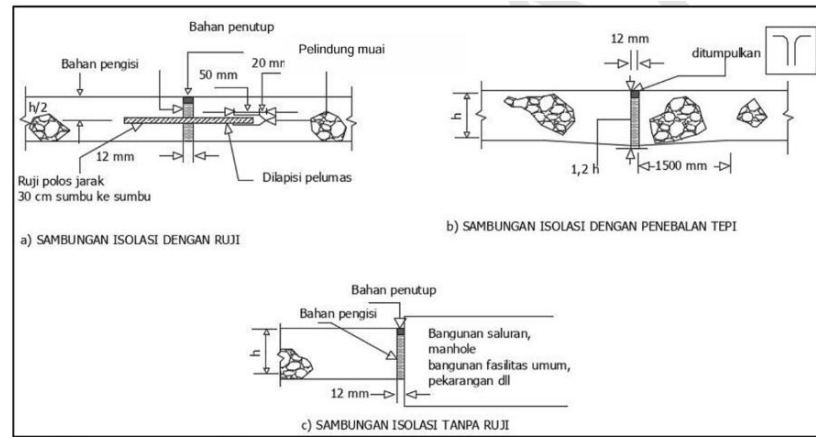
Gambar 2. 11 Sambungan susut melintang dengan ruji
(Sumber: Manual Desain perkerasan jalan (2024))

6. Sambungan pelaksanaan melintang yang tidak direncanakan (darurat) harus menggunakan batang pengikat berulir, sedangkan sambungan yang direncanakan harus menggunakan batang tulangan polos yang diposisikan di tengah tebal pelat.



Gambar 2. 12 Sambungan pelaksanaan melintang
(Sumber: Manual Desain perkerasan jalan (2024))

7. Sambungan isolasi digunakan untuk memisahkan perkerasan dari elemen lain seperti manhole, jembatan, tiang listrik, jalan lama, atau persimpangan. Sambungan ini dilengkapi bahan penutup (*joint sealer*) setebal 5–7 mm, sedangkan ruang sisanya diisi dengan bahan pengisi (*joint filler*).

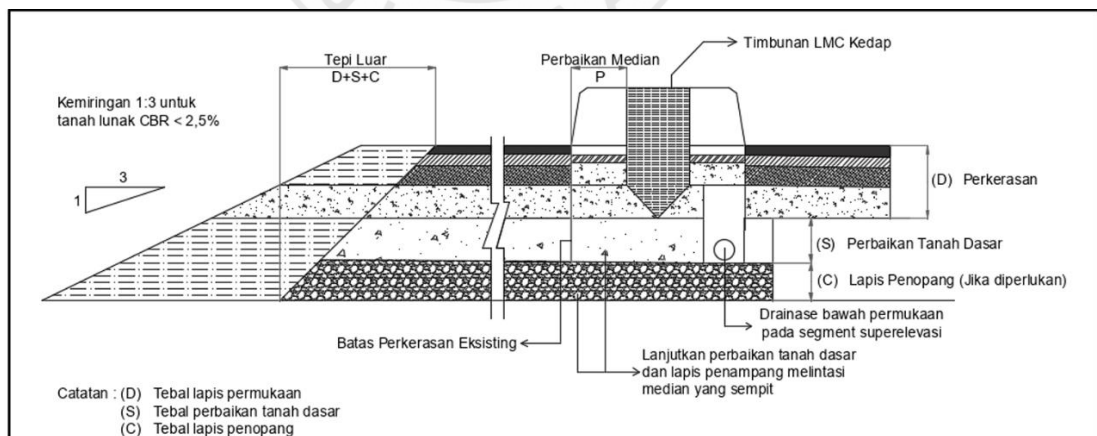


Gambar 2. 13 Sambungan isolasi
(Sumber: Manual Desain perkerasan jalan (2024))

2.6.7 Kebutuhan Daya Dukung Tepi Perkerasan

Struktur perkerasan harus memiliki daya dukung tepi yang memadai, terutama pada tanah lunak atau gambut. Ketentuan ini harus dijelaskan secara detail dalam gambar kontrak (drawings). Ketentuan minimum meliputi:

1. Setiap lapisan perkerasan harus memiliki lebar minimal sesuai atau lebih dari yang ditetapkan pada Gambar 2.14.
2. Pada tanah lunak ($CBR < 2,5\%$) atau gambut, timbunan tanpa penahan harus memiliki kemiringan tidak lebih curam dari 1V : 3H.



Gambar 2. 14 Dukungan tepi perkerasan
(Sumber: Manual Desain perkerasan jalan (2024))



2.6.8 Desain Perkerasan Kaku

Perencanaan tebal perkerasan kaku, termasuk dimensi pelat beton, penulangan, penempatan *dowel* dan *tie bar*, serta aturan sambungan, mengacu pada standar Pd T-14-2003 tentang perencanaan beton semen di Indonesia, dijelaskan pada subbab 2.7.

2.7 Parameter Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku Metode Bina Marga

Dalam perhitungan perencanaan perkerasan kaku (*rigid pavement*) ini mengacu pada standar Pd T-14-2003 untuk perencanaan perencanaan beton semen indonesia.

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

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

Parameter yang digunakan dalam merencanakan perkerasan kaku meliputi:

1. Tanah Dasar

Daya dukung tanah dasar ditentukan melalui pengujian CBR in situ (SNI 03-1731-1989) atau CBR laboratorium (SNI 03-1744-1989) untuk perencanaan perkerasan lama maupun baru. Jika nilai CBR tanah dasar kurang dari 2%, maka harus dipasang fondasi bawah dari beton kurus (*Lean-Mix Concrete*) setebal 15 cm, yang dianggap memiliki nilai CBR efektif sebesar 5%. terlihat pada gambar 2.15.

2. Fondasi Bawah

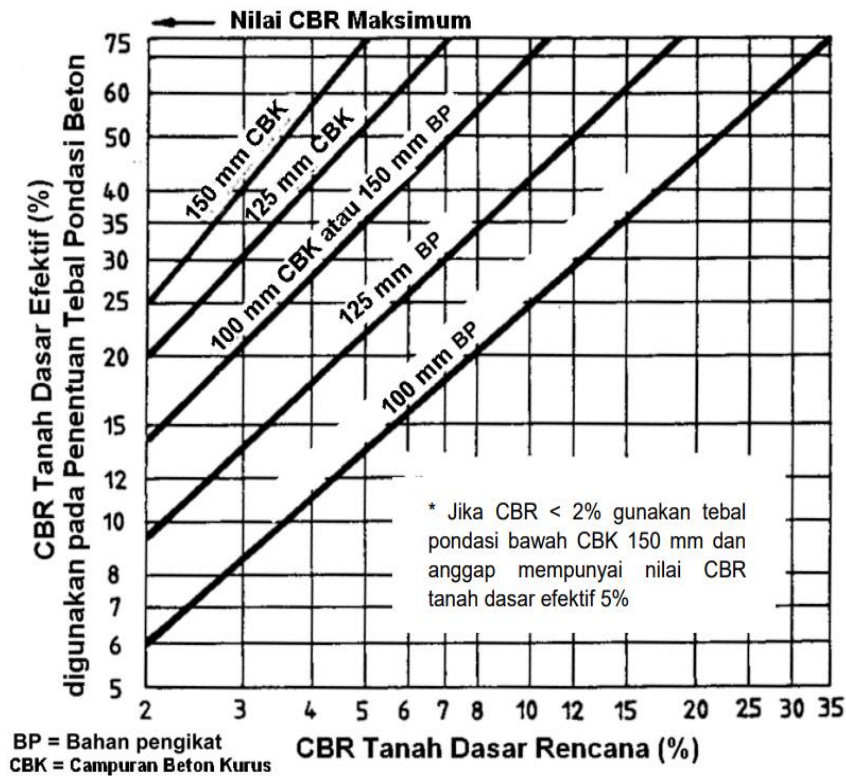
Bahan fondasi bawah dapat berupa:

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

Lapis fondasi bawah harus diperlebar 60 cm di luar tepi perkerasan beton dengan tebal minimum 10 cm. Lapisan ini harus sesuai SNI 03-6388-2000, AASHTO M-155, dan SNI 03-1743-1989. Apabila digunakan perkerasan beton bersambung tanpa ruji, lapis fondasi bawah harus dibuat dari campuran beton kurus (CBK).

3. Fondasi bawah campuran beton kurus (*Lean-Mix Concrete*)

Beton kurus adalah beton dengan kadar semen rendah yang digunakan sebagai lapis fondasi bawah. Perannya adalah meratakan permukaan, mengurangi penyerapan air dari beton utama oleh tanah, serta menyalurkan beban awal. Umumnya memiliki tebal 10–15 cm, digunakan sebagai lapisan stabilisasi sebelum pengecoran beton struktural, dengan kuat tekan karakteristik 8–11 MPa pada umur 28 hari.



Gambar 2. 15 CBR tanah dasar efektif dan tebal fondasi bawah
(Sumber: Pd T-14-2003)

4. Kekuatan Beton

Untuk desain perkerasan kaku, kekuatan beton yang diperhitungkan adalah kekuatan lentur (*flexural strength*) pada umur 28 hari. Nilai ini diperoleh melalui pengujian metode ASTM C-78 atau dikorelasikan dari kuat tekan beton umur 28 hari. Secara umum, nilai kekuatan lentur beton berkisar antara 3–5 MPa (30–50 kg/cm²), dengan rumus sebagai 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_{cf} = Kuat tarik lentur beton 28 hari (kg/cm²)

f_c' = Kuat tekan beton karakteristik 28 (kg/cm²)

K = Konstanta 0,75 untuk agregat pecah

5. Lalu – Lintas

Beban lalu lintas rencana pada perkerasan beton semen dinyatakan dalam jumlah sumbu kendaraan niaga (commercial vehicle) berdasarkan konfigurasi sumbu pada lajur rencana selama umur rencana. Analisis lalu lintas dilakukan dengan



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.
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.

menghitung volume lalu lintas dan konfigurasi sumbu menggunakan data terbaru atau data dari dua tahun terakhir. Kendaraan yang diperhitungkan adalah yang memiliki berat total minimal 5 ton.

Konfigurasi sumbu dalam perencanaan terdiri dari empat kelompok, yaitu:

Sumbu tunggal roda tunggal (STRT)

Sumbu tunggal roda ganda (STRG)

Sumbu tandem roda ganda (STdRG)

Sumbu tridem roda ganda (STrRG)

6. Umur rencana

Umur rencana perkerasan jalan adalah periode sejak jalan dibuka hingga memerlukan perbaikan struktural. Perkerasan beton semen umumnya dirancang dengan umur rencana antara 20 hingga 40 tahun.

7. Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Volume lalu lintas akan meningkat seiring dengan umur rencana atau hingga kapasitas jalan terpenuhi. Faktor pertumbuhan lalu lintas dihitung menggunakan rumus berikut:

$$R = \frac{(1+i)^{UR}-1}{i} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif

i = Laju pertumbuhan lalu lintas tahunan (%)

UR = Umur rencana (tahun)

Faktor pertumbuhan lalu-lintas (i) dapat menggunakan Tabel 2.9

Tabel 2. 9 Faktor Pertumbuhan lalu-lintas, R

Umur Rencana (Tahun)	Laju Pertumbuhan (i) per tahun (%)					
	0	2	4	6	8	10
5	5	5,2	5,4	5,6	5,9	6,1
10	10	10,9	12	13,2	14,5	15,9
15	15	17,3	20	23,3	27,2	31,8
20	20	24,3	29,8	36,8	45,8	57,3
25	25	32	41,6	54,9	73,1	98,3
30	30	40,6	56,1	79,1	113,3	164,5
35	35	50	73,7	111,4	172,3	271
40	40	60,4	95	154,8	259,1	442,6

(Sumber: Pd T-14-2003)



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 juga dilarang 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.

8. Lalu lintas rencana

Lalu lintas rencana merupakan total kumulatif sumbu kendaraan niaga pada lajur rencana selama umur rencana, termasuk proporsi dan distribusi beban tiap jenis sumbu kendaraan. Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN) selama umur rencana dihitung dengan rumus:

$$JSKN = 365 \times JSKNH \times R \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

JSKN = Jumlah sumbu total kendaraan niaga selama umur rencana.

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

R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif.

9. Jumlah Repetisi yang akan terjadi selama umur rencana

$$JSKN \text{ rencana} = c \times JSKN \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana:

c = Koefisien Distribusi Kendaraan

JSKN = Jumlah sumbu total kendaraan niaga selama umur rencana.

10. Lajur Rencana dan Koefisien Distribusi (c)

Lajur rencana adalah lajur pada ruas jalan yang menampung volume kendaraan niaga terbanyak. Jika tidak terdapat marka batas lajur, jumlah lajur dan koefisien distribusi (c) kendaraan niaga dapat ditentukan berdasarkan lebar perkerasan, seperti yang tercantum dalam Tabel 2.10.

Tabel 2. 10 Jumlah Lajur Berdasarkan Lebar Perkerasan

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

(Sumber: Pd T-14-2003)

11. Faktor Keamanan Beton

Pada penentuan beban rencana, beban sumbu dikalikan dengan faktor keamanan beban (F_{KB}) yang ditunjukkan dalam Tabel 2.11.

Tabel 2. 11 Faktor Keamanan Beban (F_{KB})

No	Peranan Jalan	Nilai F_{KB}
1.	Jalan Tol	1,2
2.	Jalan Arteri	1,1
3.	Jalan Kolektor/Lokal	1,0

(Sumber: Pd T-14-2003)

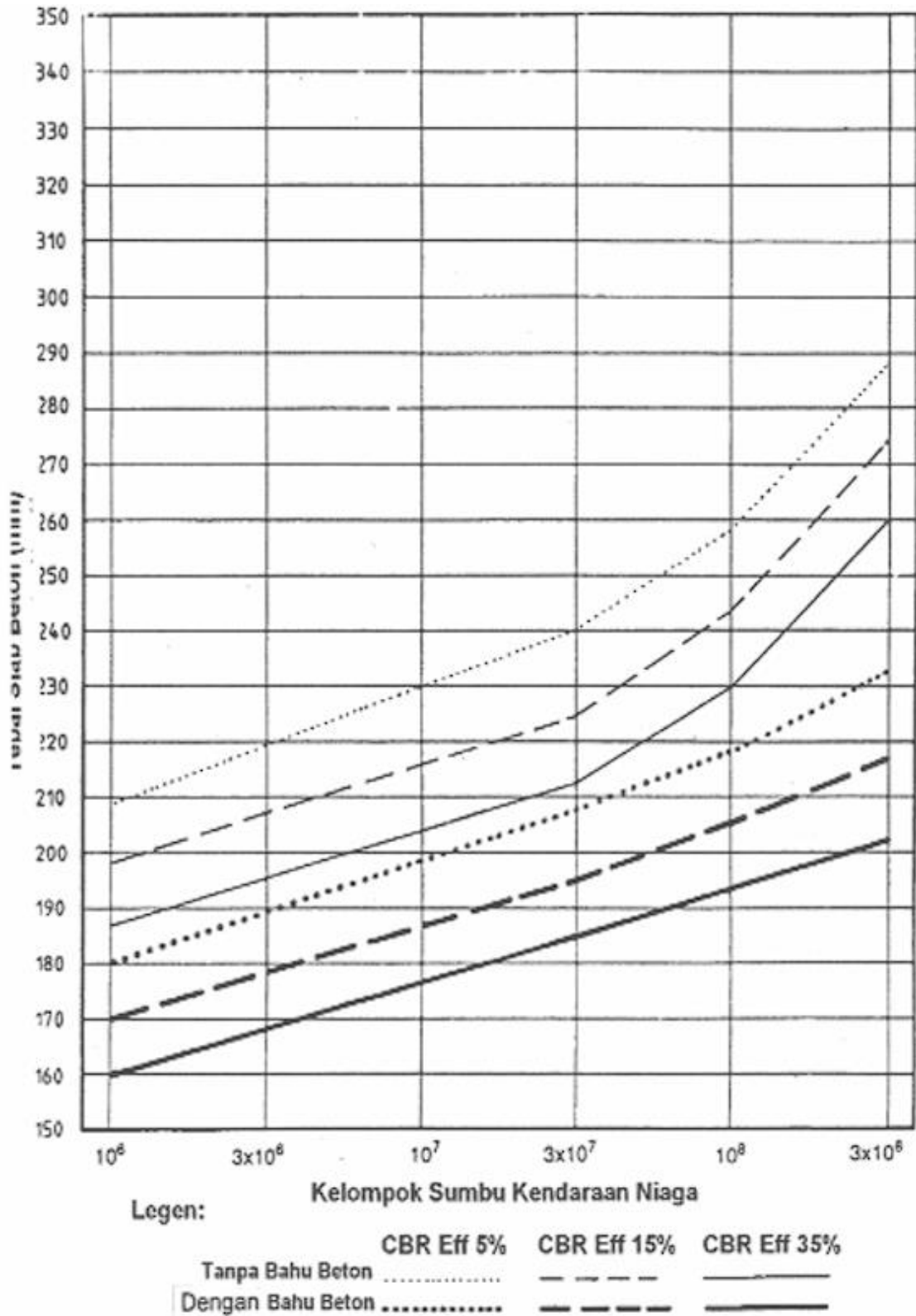
12. Bahu

Bahu jalan bisa dibuat dari lapisan fondasi bawah dengan atau tanpa lapisan penutup aspal maupun beton. Perbedaan kekuatan antara bahu dan jalur lalu lintas dapat memengaruhi kinerja perkerasan, sehingga penggunaan bahu beton semen menjadi solusi. Bahu beton semen dapat meningkatkan daya tahan perkerasan sekaligus memungkinkan pengurangan tebal pelat beton. Bahu beton semen dibuat menyatu dengan lajur lalu lintas selebar 0,60 m atau dikunci dengan lebar minimum 1,50 m, termasuk kereb dan saluran.

13. Taksir tebal pelat beton atau perkiraan awal dengan tebal tertentu berdasarkan contoh Gambar 24 sampai dengan Gambar 31 di Pd T-14-2003. Untuk Gambar Penulis menggunakan gambar 30 (Pd T-14-2003). Bisa dilihat pada Gambar 2. 16 Grafik Perencanaan, $F_{cf} = 4,25$ Mpa, Lalu-Lintas Luar Kota
14. Tentukan tegangan ekuivalen (TE) dan faktor erosi (FE) dari Tabel 2. 12 Tegangan Ekuivalen & Faktor Erosi untuk Perkerasan Dengan Bahu Beton.
15. Tentukan faktor rasio tegangan (FRT) dengan membagi tegangan ekuivalen (TE) oleh kuat tarik-lentur (f_{cf}).
16. Untuk setiap rentang beban kelompok sumbu tersebut, tentukan beban per roda dan kalikan dengan faktor keamanan beban (F_{kb}) untuk menentukan beban rencana per roda pada Gambar 2. 17 Analisis fatik dan beban repetisi ijin berdasarkan dan Gambar 2. 18 Analisis erosi dan jumlah repetisi beban
17. Hitung persentase repetisi erosi yang direncanakan terhadap jumlah repetisi ijin.
18. Hitung jumlah total kerusakan akibat fatik dan jumlah total kerusakan akibat erosi untuk seluruh jenis kelompok sumbu.
19. Ketebalan pelat beton yang dipilih atau ditaksir dianggap sesuai jika total kelelahan (*fatigue*) dan erosi yang dihitung tidak melebihi 100%. Hal ini memastikan bahwa perkerasan mampu menahan beban lalu lintas selama umur rencana tanpa mengalami kegagalan struktural yang signifikan.

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.
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.

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.



Gambar 2. 16 Grafik Perencanaan, $F_{cf} = 4,25$ Mpa, Lalu-Lintas Luar Kota Dengan Ruji, FKB = 1,1 (Sumber: Pd T-14-2003)



Tabel 2. 12 Tegangan Ekuivalen & Faktor Erosi untuk Perkerasan Dengan Bahu Beton

Tebal Slab (mm)	CBR Eff Tanah Dasar (%)	Tegangan Setara				Faktor Erosi							
		STRT	STRG	STdRG	STrRG	Tanpa Ruji				Dengan Ruji/Beton Bertulang			
						STRT	STRG	STdRG	STrRG	STRT	STRG	STdRG	STrRG
150	5	1,42	2,16	1,81	1,45	2,34	2,94	2,99	3	2,14	2,74	2,78	2,81
150	10	1,36	2,04	1,7	1,39	2,32	2,92	2,94	2,94	2,13	2,72	2,73	2,75
150	15	1,33	1,98	1,65	1,36	2,32	2,92	2,91	2,91	2,12	2,72	2,7	2,72
150	20	1,32	1,94	1,62	1,35	2,31	2,91	2,9	2,9	2,11	2,71	2,69	2,7
150	25	1,3	1,9	1,59	1,33	2,3	2,9	2,88	2,88	2,1	2,7	2,67	2,67
150	35	1,27	1,82	1,53	1,3	2,29	2,89	2,85	2,84	2,08	2,69	2,64	2,63
150	50	1,23	1,74	1,49	0,1	2,27	2,87	2,82	2,81	2,06	2,67	2,6	2,59
150	75	1,2	1,65	1,43	1,26	2,25	2,85	2,79	2,77	2,04	2,65	2,57	2,56
160	5	1,29	1,98	1,67	1,33	2,26	2,87	2,93	2,95	2,06	2,66	2,72	2,77
160	10	1,24	1,87	1,56	1,26	2,24	2,85	2,88	2,89	2,04	2,64	2,67	2,69
160	15	1,21	1,82	1,51	1,23	2,24	2,84	2,85	2,86	2,04	2,64	2,64	2,66
160	20	1,2	1,79	1,49	1,21	2,23	2,83	2,84	2,84	2,03	2,63	2,62	2,64
160	25	1,18	1,75	1,46	1,2	2,23	2,83	2,82	2,82	2,02	2,62	2,6	2,62
160	35	1,15	1,67	1,41	1,17	2,22	2,82	2,79	2,78	2	2,61	2,56	2,57
160	50	1,12	1,6	1,36	1,15	2,2	2,8	2,75	2,75	1,98	2,59	2,53	2,53
160	75	1,1	1,52	1,3	1,13	2,18	2,78	2,72	2,69	1,97	2,57	2,5	2,49
170	5	1,17	1,83	1,55	1,22	2,19	2,8	2,88	2,9	1,99	2,59	2,66	2,72
170	10	1,13	1,73	1,45	1,16	2,17	2,78	2,83	2,84	1,97	2,57	2,61	2,64
170	15	1,11	1,68	1,4	1,13	2,17	2,77	2,8	2,81	1,96	2,57	2,58	2,61
170	20	1,1	1,65	1,38	1,12	2,16	2,76	2,79	2,79	1,95	2,56	2,57	2,59
170	25	1,08	1,62	1,35	1,1	2,16	2,76	2,77	2,77	1,95	2,55	2,55	2,57
170	35	1,05	1,55	1,3	1,07	2,15	2,75	2,73	2,73	1,94	2,53	2,51	2,53
170	50	1,03	1,49	1,25	1,04	2,13	2,73	2,7	2,7	1,91	2,51	2,47	2,48
170	75	1,02	1,41	1,19	1,03	2,11	2,71	2,66	2,64	1,89	2,49	2,43	2,43
180	5	1,07	1,7	1,44	1,13	2,13	2,73	2,83	2,86	1,92	2,52	2,61	2,68
180	10	1,03	1,6	1,35	1,07	2,11	2,71	2,78	2,79	1,9	2,5	2,56	2,6
180	15	1,01	1,55	1,3	1,04	2,1	2,71	2,75	2,76	1,89	2,5	2,53	2,57
180	20	1,01	1,53	1,28	1,03	2,09	2,7	2,73	2,74	1,88	2,49	2,51	2,54
180	25	1	1,5	1,25	1,01	2,09	2,69	2,71	2,72	1,88	2,48	2,49	2,52
180	35	0,98	1,44	1,2	0,98	2,08	2,68	2,67	2,68	1,87	2,46	2,45	2,47
180	50	0,95	1,38	1,16	0,96	2,06	2,66	2,64	2,64	1,84	2,44	2,42	2,42
180	75	0,94	1,31	1,1	0,94	2,04	2,64	2,61	2,6	1,82	2,42	2,36	2,37
190	5	0,99	1,58	1,35	1,05	2,07	2,67	2,78	2,82	1,86	2,46	2,57	2,64
190	10	0,96	1,49	1,26	0,99	2,05	2,65	2,72	2,75	1,84	2,44	2,51	2,56
190	15	0,94	1,44	1,21	0,97	2,04	2,64	2,7	2,72	1,83	2,43	2,48	2,53
190	20	0,93	1,42	1,19	0,96	2,03	2,63	2,69	2,7	1,82	2,42	2,46	2,5
190	25	0,92	1,4	1,17	0,94	2,03	2,63	2,67	2,68	1,81	2,41	2,44	2,48
190	35	0,9	1,35	1,12	0,91	2,02	2,62	2,63	2,64	1,79	2,4	2,4	2,43
190	50	0,88	1,29	1,08	0,88	2	2,6	2,6	2,6	1,77	2,38	2,36	2,38
190	75	0,87	1,22	1,02	0,86	1,98	2,58	2,55	2,55	1,76	2,36	2,32	2,31
200	5	0,91	1,47	1,27	0,99	2,01	2,61	2,74	2,78	1,8	2,4	2,52	2,6
200	10	0,89	1,39	1,18	0,93	1,99	2,59	2,69	2,71	1,78	2,38	2,46	2,52
200	15	0,87	1,35	1,15	0,9	1,98	2,59	2,66	2,68	1,77	2,37	2,43	2,49
200	20	0,86	1,33	1,12	0,89	1,97	2,58	2,64	2,66	1,76	2,36	2,42	2,48
200	25	0,85	1,3	1,1	0,87	1,97	2,57	2,62	2,64	1,75	2,35	2,4	2,44
200	35	0,83	1,25	1,05	0,84	1,96	2,56	2,58	2,6	1,73	2,33	2,36	2,39
200	50	0,82	1,2	1,01	0,82	1,94	2,54	2,54	2,55	1,71	2,31	2,32	2,33
200	75	0,81	1,14	0,95	0,8	1,92	2,52	2,51	2,5	1,69	2,3	2,27	2,28
210	5	0,85	1,38	1,2	0,93	1,96	2,56	2,7	2,75	1,74	2,34	2,48	2,57
210	10	0,82	1,3	1,11	0,87	1,94	2,54	2,65	2,67	1,72	2,32	2,42	2,49
210	15	0,8	1,27	1,08	0,84	1,93	2,53	2,62	2,64	1,71	2,31	2,39	2,45
210	20	0,8	1,24	1,05	0,83	1,92	2,52	2,6	2,62	1,7	2,3	2,37	2,43
210	25	0,79	1,22	1,03	0,81	1,91	2,51	2,58	2,6	1,69	2,29	2,35	2,4
210	35	0,77	1,17	0,98	0,78	1,9	2,49	2,54	2,56	1,67	2,28	2,31	2,34
210	50	0,76	1,13	0,94	0,76	1,88	2,48	2,51	2,51	1,65	2,26	2,27	2,29
210	75	0,75	1,07	0,9	0,74	1,86	2,47	2,45	2,46	1,64	2,24	2,22	2,22

STRT: Sumbu Tunggal Roda Tunggal; STRG: Sumbu Tunggal Roda Ganda; STdRG: Sumbu Tandem Roda Ganda; STrRG: Su

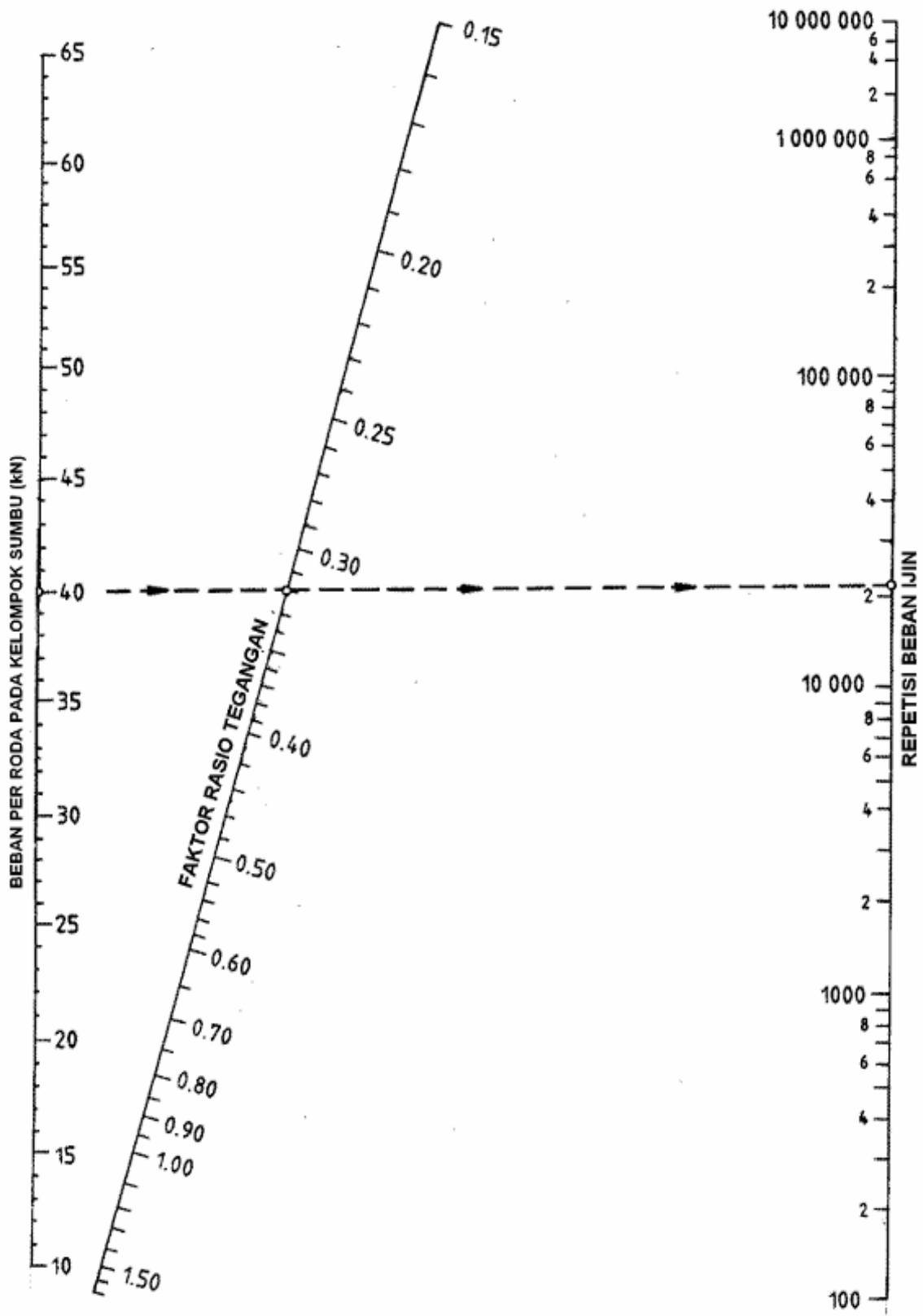
(Sumber: Pd T-14-2003)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Universitas Islam Indragiri

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.
- 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.

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.



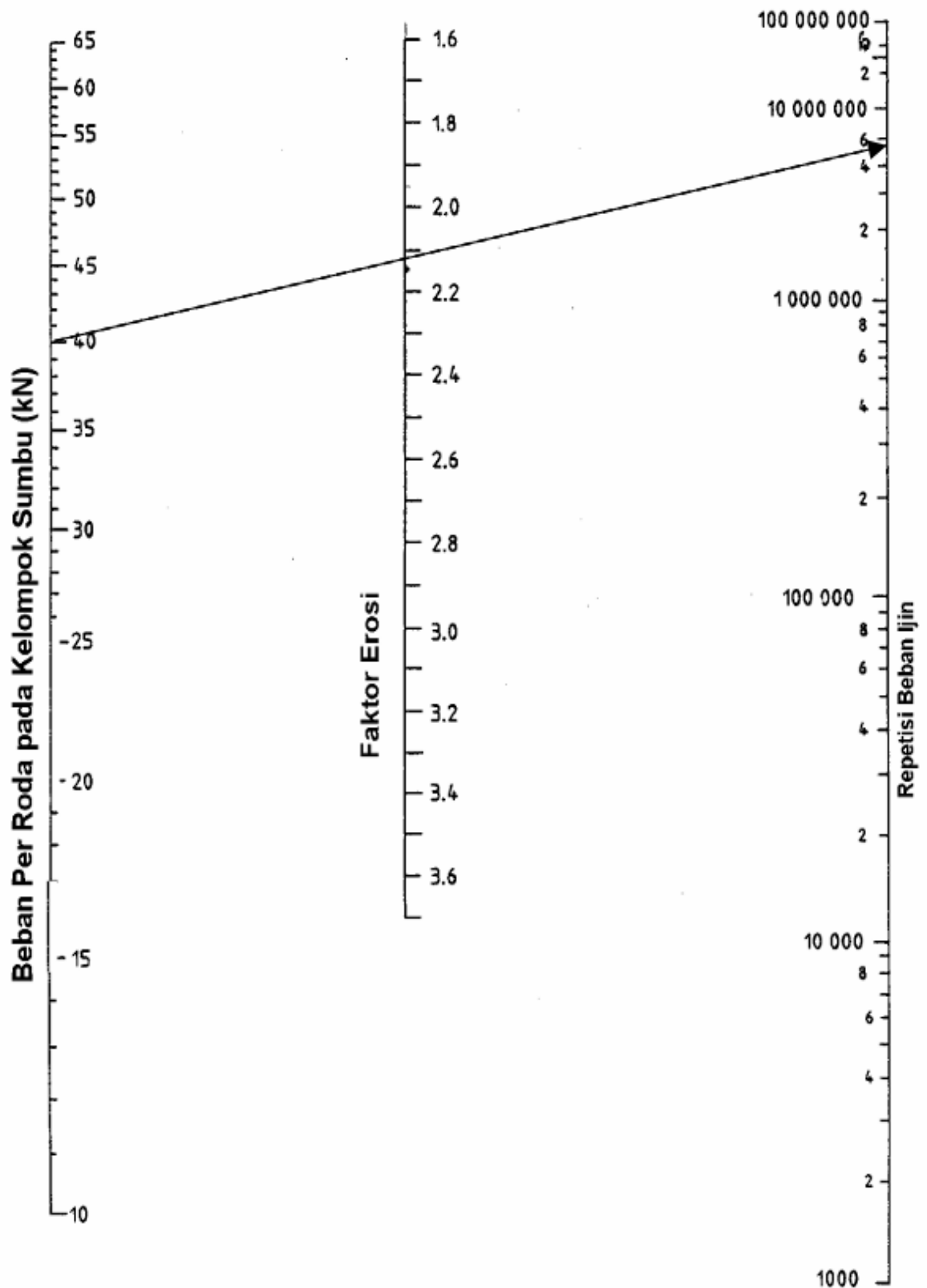
Gambar 2. 17 Analisis fatik dan beban repetisi ijin berdasarkan rasio tegangan, dengan /tanpa bahu beton
(Sumber: Pd T-14-2003)



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Universitas Islam Indragiri

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.



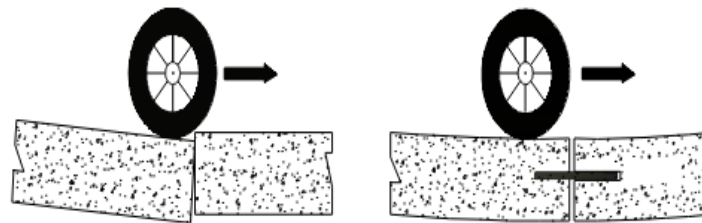
Gambar 2. 18 Analisis erosi dan jumlah repetisi beban berdasarkan faktor erosi, dengan bahu beton
(Sumber: Pd T-14-2003)

2.8 Parameter Perencanaan Ruji, Batang Pengikat, dan Tulangan

Perencanaan ruji, batang pengikat, dan tulangan mengacu pada standar Pd T-14-2003, dengan mempertimbangkan beberapa parameter berikut:

2.8.1 Diameter Ruji (*Dowel*)

Dowel merupakan sepotong baja polos lurus yang dipasang pada setiap sambungan melintang guna menyalurkan beban Batang ruji diletakkan ditengah tebal pelat, sehingga pelat yang berdampingan dapat bekerja sama tanpa terjadi penurunan.



Tanpa Penyaluran Beban = 0%

Penyaluran Beban=100%

Gambar 2. 19 Ilustrasi penyaluran beban

(Sumber: *Perancangan perkerasan jalan dan penyelidikan tanah*. (2011))

Jarak sambungan susut melintang pada perkerasan beton bervariasi tergantung pada jenis perkerasan:

1. Perkerasan beton tanpa tulangan: jarak sambungan 4–5 m.
2. Perkerasan beton dengan tulangan: jarak sambungan 8–15 m.
3. Perkerasan beton menerus bertulangan: ditentukan sesuai kondisi pelaksanaan.

Sambungan ini harus menggunakan ruji polos dengan panjang 45 cm, dipasang dengan jarak 30 cm antar ruji. Ruji harus dipasang lurus dan bebas dari tonjolan tajam agar dapat bergerak bebas saat pelat beton menyusut. Diameter ruji disesuaikan dengan ketebalan pelat beton, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.13.

Tabel 2. 13 Diameter Ruji (*Dowel*)

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: *Pd T-14-2003*)



2.8.2 Batang Pengikat (Tie Bars)

Sambungan memanjang berfungsi mencegah retak arah memanjang, dengan jarak antar sambungan sekitar 3–4 m. Sambungan ini menggunakan batang ulir mutu minimum BJTU 24 berdiameter 16 mm, dipasang dengan jarak 75 cm. Perhitungan ukuran batang pengikat adalah sebagai berikut:

$$I = (38,3 \times \varphi) + 75 \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan:

I = panjang batang pengikat (mm).

φ = Diameter batang pengikat yang dipilih (mm).

2.8.3 Perkerasan Beton Bersambung Dengan Tulangan (BBDT)

Luas penampang tulangan yang diperlukan dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$A_s = \frac{\mu \cdot L \cdot M \cdot g \cdot h}{2 \cdot f_s} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana:

A_s = Luas penampang tulangan (mm^2/m lebar pelat)

f_s = Kuat tarik ijin tulangan (MPa). Biasanya 0,6 kali tegangan leleh

g = Gravitasi (m/detik^2)

h = Tebal pelat beton (m)

L = Jarak antar sambungan yang tidak diikat / tepi bebas pelat (m)

M = Berat per satuan volume pelat (kg/m^3)

μ = Koefisien gesek antara pelat beton dengan fondasi bawah dari tabel 2.14

Tabel 2. 14 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: Pd T-14-2003)

2.8.4 Perkerasan Beton Bersambung Tanpa Tulangan (BBTT)

Pada perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan, penulangan dapat dipasang jika diperlukan untuk mengendalikan retak. Jika ada bagian pelat yang berisiko retak akibat konsentrasi tegangan yang tidak dapat dihindari dengan pola sambungan, maka pelat harus diberi tulangan.



2.8.5 Perkerasan Beton Menerus Dengan Tulangan (BMDT)

Tulangan memanjang pada perkerasan BMDT dihitung menggunakan persamaan:

$$P_s = \frac{100 \cdot f_{ct} \cdot (1,3 - 0,2 \mu)}{f_y - n \cdot f_{ct}} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana:

- P_s = Presentase luas tulangan yang dibutuhkan terhadap luas penampang beton (%).
 f_{ct} = Kuat tarik langsung beton = $(0,4 - 0,5 f_{ct})$ (kg/cm²)
 f_y = Tegangan leleh rencana baja (kg/cm²)
 n = Angka ekivalensi antara baja & beton (E_s/E_c), dapat dilihat pada Tabel 2.15 atau dihitung dengan rumus.
 μ = koefisien gesekan antara pelat beton dengan lapisan di bawahnya
 E_s = Modulus elastisitas baja = $2,1 \times 10^6$ (kg/cm²)
 E_c = Modulus elastisitas beton = $1485 \sqrt{f'_c}$ (kg/cm²)

Tabel 2. 15 Hubungan kuat tekan beton dan angka ekivalen baja dan beton (n)

f'_c (kg/cm ²)	n
175 - 225	10
235 - 285	8
290 - ke atas	6

(Sumber: Pd T-14-2003)

Persentase minimum tulangan memanjang pada perkerasan beton menerus adalah 0,6% dari luas penampang beton. Tulangan dipasang untuk mengontrol jarak dan lebar retak. Secara teoritis jarak antara retakan dihitung dari persamaan berikut:

$$L_{cr} = \frac{f_{ct}^2}{n \cdot p^2 \cdot u \cdot f_b \cdot (\epsilon_s \cdot E_c \cdot f_{ct})} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana:

- L_{cr} = Jarak teoritis antar retakan (cm)
 P = Perbandingan luas tulangan memanjang dengan luas penampang beton.
 u = Perbandingan keliling terhadap luas tulangan = $4/d$
 f_b = Tegangan lekat antara tulangan dengan beton = $(1,97 \sqrt{f'_c})/d$ (kg/cm²).
 ϵ_s = Koefisien susut beton = (400×10^{-6})
 f_{ct} = Kuat tarik langsung beton = $(0,4 - 0,5 f_{ct})$ (kg/cm²)
 n = Angka ekivalensi antara baja dan beton = (E_s/E_c)
 E_s = Modulus elastisitas baja = $2,1 \times 10^6$ (kg/cm²)
 E_c = Modulus elastisitas beton = $14850 \sqrt{f'_c}$ (kg/cm²)



Jarak retakan teoritis yang dihitung dengan persamaan di atas harus memberikan hasil antara 150 dan 250 cm. Jarak antar tulangan 100 mm - 225 mm. Diameter batang tulangan memanjang berkisar antara 12 mm dan 20 mm.

2.9 Beban Lalu Lintas

Dalam perencanaan teknik jalan, data lalu lintas menjadi faktor utama karena mempengaruhi kapasitas dan desain jalan. Volume lalu lintas menentukan jumlah dan lebar lajur, sedangkan jenis kendaraan memengaruhi kelas beban atau Muatan Sumbu Terberat (MST), yang berperan langsung dalam perencanaan perkerasan.

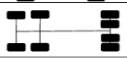
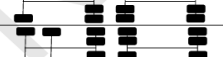
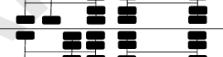
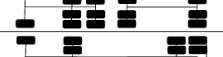
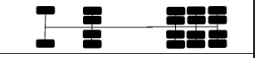
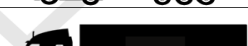
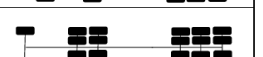
Pergerakan lalu lintas mencakup kendaraan dan pejalan kaki sebagai bagian dari sistem transportasi. Kendaraan sendiri dikategorikan berdasarkan bobot dan konfigurasi sumbunya untuk menentukan distribusi beban terhadap perkerasan jalan. Data dan parameter lalu lintas untuk perencanaan tebal perkerasan meliputi:

2.9.1 Jenis kendaraan

Secara umum ciri pengenalan penggolongan kendaraan seperti dibawah ini:

1. Golongan 1: Sedan, jeep, station wagon, kendaraan penumpang dengan 4-6 kursi.
2. Golongan 2: Minibus, mikrolet, angkot, pick-up tertutup, kapasitas maksimal 12 penumpang, beroperasi dalam kota atau pedesaan.
3. Golongan 3: Truk 2 sumbu (L), kendaraan barang dengan sumbu belakang tunggal, beban maksimal 3,5 ton dengan bagian belakang STRT.
4. Golongan 5a: Bus kecil, kapasitas 16-26 kursi, panjang maksimal 9 m, contoh: Metromini, Elf dengan bagian belakang STRT.
5. Golongan 5b: Bus besar, kapasitas 30-50 kursi, panjang ± 12 m dan STRG ontok: bus kota, bus antar kota.
6. Golongan 6: Truk 2 sumbu (H), kendaraan barang dengan beban sumbu belakang 5-10 ton (MST 5, 8, 10 dan STRG).
7. Golongan 7a: Truk 3 sumbu, kendaraan barang dengan kombinasi sumbu tunggal dan ganda (STRT dan SGRG).
8. Golongan 7b: Truk gandengan, terdiri dari truk golongan 6 atau 7 dengan gandengan tambahan.
9. Golongan 7c: Truk semi-trailer, terdiri dari kepala truk 2-3 sumbu yang tersambung dengan bak beroda belakang 2-3 sumbu.

Penggolongan lalu-lintas berdasarkan Manual desain perkerasan jalan 2024.

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				

Gambar 2. 20 Klasifikasi dan konfigurasi sumbu kendaraan
(Sumber: Manual Desain perkerasan jalan (2024))

2.9.2 Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR)

LHR merupakan rata-rata jumlah kendaraan yang melintas di suatu titik per hari, dan menjadi dasar dalam penentuan jumlah serta lebar lajur jalan. Dalam perencanaan tebal perkerasan, LHR bersama faktor pertumbuhan lalu lintas tahunan, VDF (*Vehicle Damage Factor*), umur rencana, jumlah lajur, serta faktor distribusi arah dan lajur digunakan untuk menghitung *Equivalent Single Axle Load (ESAL)*.

Pertumbuhan lalu lintas tahunan menunjukkan persentase kenaikan jumlah kendaraan setiap tahun. Misalnya, jika lalu lintas tahun lalu 10.000 kendaraan dan tahun ini 12.000 kendaraan, maka pertumbuhan tahunan adalah 20%, yang mencerminkan peningkatan arus lalu lintas.





2.9.3 Vehicle damage factor (VDF)

VDF menggambarkan tingkat kerusakan jalan yang disebabkan oleh kendaraan tertentu dibandingkan dengan kendaraan standar. Semakin berat beban kendaraan, terutama truk dengan muatan berlebih, semakin besar nilai VDF dan *Equivalent Single Axle Load* (ESAL) yang dihasilkan.

Standar axle load dengan daya rusak setara 1 ESAL adalah 18.000 lbs (8,16 ton). Nilai VDF dapat dihitung melalui beberapa metode, seperti pengukuran langsung beban kendaraan di lapangan atau berdasarkan data klasifikasi kendaraan dan distribusi beban sumbu. Berikut beberapa cara mengetahui nilai VDF:

1. Bina Marga (MST-10)

Metode ini mengacu pada SNI 1732-1989-F dan Manual Perkerasan Jalan No. 01/MN/BM/83, yang menggunakan Muatan Sumbu Terberat (MST) 10 ton sebagai acuan dalam perhitungan *Vehicle Damage Factor* (VDF). MST-10 mengasumsikan bahwa sumbu roda belakang kendaraan, khususnya truk, dapat menahan beban hingga 10 ton. Jika terjadi *overloading*, formula ini tetap dapat digunakan untuk menghitung VDF dengan menyesuaikan bobot kendaraan.

Angka ekivalen beban sumbu menunjukkan tingkat kerusakan jalan akibat beban kendaraan dibandingkan dengan beban standar sumbu tunggal 8,16 ton (18.000 lbs). Semakin berat muatan sumbu kendaraan, semakin besar pula dampak kerusakannya terhadap perkerasan jalan. Angka Ekivalen (E) masing-masing golongan beban sumbu (setiap kendaraan) ditentukan menurut rumus:

$$\text{Sumbu tunggal} = \left(\frac{\text{Beban satu sumbu tunggal dalam Kg}}{8160} \right)^4 \dots\dots\dots (2.11)$$

$$\text{Sumbu ganda} = 0,086 \left(\frac{\text{Beban satu sumbu tunggal dalam Kg}}{8160} \right)^4 \dots\dots\dots (2.12)$$

Konfigurasi beban sumbu berbagai jenis kendaraan, beserta angka ekivalennya dalam kondisi kosong (minimum) maupun bermuatan penuh (maksimum), mengacu pada Manual No. 01/MN/BM/83 dan ditampilkan pada Tabel 2.17.

Perhitungan VDF menggunakan formula diatas dengan konfigurasi pada Tabel 2.17 serta muatan sumbu terberat 10 ton menghasilkan nilai yang disajikan pada Tabel 2.16.



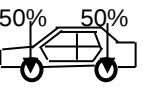
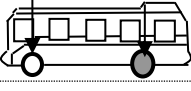
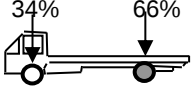
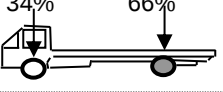
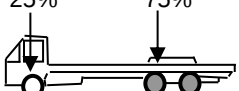
1. Dilarang memperbanyak atau mendistribusikan dokumen ini untuk tujuan komersial tanpa izin tertulis dari penulis atau pihak berwenang.
 2. Penggunaan untuk kepentingan akademik, penelitian, dan pendidikan diperbolehkan dengan mencantumkan sumber.
 3. Penggunaan tanpa izin untuk kepentingan komersial 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.

Tabel 2. 16 *Vehicle damage factor* berdasar Bina Marga MST-10 ton

No.	Type kendaraan & golongan				Nilai VDF
1	Sedan, jeep, st. wagon	2	Gol-1	1.1	0,0005
2	Pick-up, combi	3	Gol-2	1.2	0,1619
3	Truck 2 as (L), micro truck, mobil hantaran	4	Gol-2	1.2L	0,2174
4	Bus kecil	5a	Gol-2	1.2	0,2174
5	Bus besar	5b	Gol-9	1.2	0,3006
6	Truck 2 as (H)	6	Gol-3	1.2H	2,4134
7.	Truck 3 as	7a	Gol-4	1.2.2	2,7416
8.	Trailer 4 as, truck gandengan	7b	Gol-6	1.2+2.2	3,9083
9.	Truck s. trailer 5 as	7c	Gol-8	1.2.2+2.2	4,1546

(Sumber: Suryawan, Ari. (2023). *Perkerasan Jalan Beton Semen Portland*)

Tabel 2. 17 Konfigurasi beban sumbu

KONFIGURASI SUMBU & TIPE	BERAT KOSONG (ton)	BEBAN MUATAN MAKSIMUM (ton)	BERAT TOTAL MAKSIMUM (ton)	UE 18 KSAL KOSONG	UE 18 KSAL MAKSIMUM	 RODA TUNGGAL PADA UJUNG SUMBU  RODA GANDA PADA UJUNG SUMBU
1,1 HP	1,5	0,5	2,0	0,0001	0,0005	
1,2 BUS	3	6	9	0,0037	0,3006	
1,2L TRUK	2,3	6	8,3	0,0013	0,2174	
1,2H TRUK	4,2	14	18,2	0,0143	5,0264	
1,22 TRUK	5	20	25	0,0044	2,7416	



1,2+2,2 TRAILER	6,4	25	31,4	0,0085	3,9083	
1,2-2 TRAILER	6,2	20	26,2	0,0192	6,1179	
1,2-2,2 TRAILER	10	32	42	0,0327	10,1830	

(Sumber: Suryawan, Ari. (2023). Perkerasan Jalan Beton Semen Portland

2.10 Parameter Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku Metode AASHTO 1993

AASHTO (*American Association of State Highway Transportation Officials*) *Guide for Design of Pavement Structures* 1993. AASHTO 1993 merupakan salah satu metode perencanaan perkerasan kaku yang umum digunakan.

Pada perencanaan ini mengacu pada AASHTO *guide for design of pavement* 1993. Metode ini memuat mengenai landasan teori dan tahapan dalam perencanaan *rigid pavement* dengan berbagai kondisi / parameter perkerasan jalan beton semen portland.

2.10.1 Analisis lalu lintas (*Traffic Design*)

1. Umur rencana

Umur rencana perkerasan jalan adalah periode sejak jalan mulai digunakan hingga membutuhkan perbaikan struktural. Pada perkerasan beton semen, umur rencana umumnya ditetapkan antara 20 hingga 40 tahun.

2. Jenis kendaraan

Mengetahui tipe kendaraan, golongan yang didapat dari survei lhr berdasarkan penggolongan kendaraan yg telah dijelaskan sebelumnya.

3. Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR)

Volume lalu lintas adalah jumlah kendaraan yang melewati titik tertentu dalam periode waktu tertentu. Satuan yang umum digunakan adalah Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR), yang menjadi dasar dalam menentukan jumlah dan lebar lajur. Dalam perhitungan tebal perkerasan, data LHR, pertumbuhan lalu lintas, VDF, umur rencana, jumlah lajur, faktor distribusi arah, dan faktor distribusi lajur dipakai untuk menghitung *Equivalent Single Axle Load* (ESAL).

$$W_{18} = \sum_{N_i}^{N_n} LHR_j \times VDF_j \times DD \times DL \times 365 \dots\dots\dots (2.16)$$

mencari nilai W18 pada jenis kendaraan:



$$W18 = LHR \times VDF \times 365 \dots\dots\dots (2.17)$$

$$Wt = W18 \times \frac{(1+g)^n - 1}{g} \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana:

W18 = Equivalent Single Axle Load (ESAL)

LHRj = Jumlah lalu lintas harian rata-rata 2 arah

VDF = Faktor kerusakan

DD = Faktor distribusi arah

DL = Faktor distribusi lajur

Nn = Lalu lintas pada tahun pertama

Ni = Lalu lintas pada tahun akhir (umur rencana)

W18 = Jumlah beban gandar standar kumulatif selama 1 tahun.

Wt = Jumlah beban gandar tunggal standar kumulatif.

g = Tingkat pertumbuhan per tahun.

N = Umur rencana

Lalu lintas harian rata-rata diambil selama 9 jam pada ruas jalan yang menjadi akses keluar masuk kendaraan dari atau menuju desa, dusun, maupun kecamatan.

4. *Vehicle damage factor* (VDF)

Vehicle damage factor merupakan angka menggambarkan tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh suatu kendaraan terhadap perkerasan jalan.

5. Pertumbuhan Lalu lintas Tahunan (*Growth Factor*)

Setelah diperoleh volume lalu lintas harian rata-rata, tahap berikutnya adalah menghitung laju pertumbuhan lalu lintas. Berikut rumusnya:

$$\text{Growth Factor} = \frac{(1+g)^n - 1}{g} \dots\dots\dots (2.19)$$

Dimana:

g = Perkembangan lalu lintas

n = Umur rencana

6. *Equivalent Single Axle Load* (ESAL)

Merupakan salah satu paramater menghitung Traffic design sebagai acuan untuk mencari nilai W18 desain atau minimum untuk menentukan tebal perkerasan. Dalam traffic desain, ESAL merupakan hasil akhir yang mencerminkan total kerusakan kumulatif yang akan digunakan dalam desain jalan.



7. Faktor Distribusi Arah (DD) dan Faktor Distribusi Lajur (DL)

Nilai faktor distribusi arah (DD) umumnya adalah 0,3 – 0,5. Dan faktor distribusi lajur (DL) mengacu pada Tabel 2.21 berdasarkan AASHTO 1993.

Tabel 2. 18 Faktor Distribusi Lajur (DL)

Jumlah Lajur	Jumlah Lalu Lintas Pada Lajur Rencana (%)
1	100
2	80 – 100
3	60 – 80
4	50 – 75

(sumber: AASHTO, 1993))

2.10.2 Keandalan (Reliability)

Reliability (R) mengacu pada tabel 2.19, adalah tingkat probabilitas bahwa perkerasan tetap berfungsi baik sepanjang umur rencana. Semakin tinggi nilai R, semakin kecil kemungkinan kegagalan akibat deviasi desain. Nilai Standard Normal Deviasi (Z_R) ditentukan berdasarkan Tabel 2.20, sedangkan untuk perkerasan kaku digunakan standar deviasi (S_o) sebesar 0,30–0,40.

Tabel 2. 19 Nilai Reliabilitas (R)

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

(sumber: AASHTO, 1993))

Tabel 2. 20 Nilai Standar Deviasi Normal (Z_R) untuk Tingkatan Reliability (R)

R (%)	Z _R	R (%)	Z _R	R (%)	Z _R
50	0,000	93	-1,576	90	-1,282
60	-0,253	94	-1,555	91	-1,340
70	-0,524	95	-1,645	92	-1,405
75	-0,674	96	-1,751	99	-2,327
80	-0,841	97	-1,881	99,9	-3,09
85	-1,037	98	-2,054	99,99	-3,75

(sumber: AASHTO, 1993))

2.10.3 Kemampuan Layanan (Serviceability)

Terminal Serviceability indeks pelayanan akhir (P_t) diperoleh dari survei pendapat yang menyatakan sejauh mana perkerasan masih bisa diterima. Indeks pelayanan awal *Initial serviceability* untuk *rigid pavement* (P_o) = 4,5 (diambil dari AASTHO 1993)



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.
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. 21 Indeks Kemampuan Pelayanan Akhir (Pt)

Pt	Persen orang berpendapat tidak setuju
3,0	12%
2,5	55%
2,0	85%

(sumber: AASHTO, 1993))

Kehilangan kemampuan pelayanan (ΔPSI)

$$\Delta PSI = P_o - P_t \dots \dots \dots (2.20)$$

Pada perkerasan kaku, nilai Pt ditetapkan berdasarkan volume lalu lintas, untuk lalu lintas tinggi Pt = 3,0, untuk sedang Pt = 2,5 dan Pt = 2,0 untuk rendah.

2.10.4 Modulus Reaksi Tanah (*Modulus of Subgrade Reaction*)

Modulus reaksi tanah dasar (k) ditentukan melalui kombinasi rumus dan grafik berdasarkan nilai CBR tanah dasar. AASHTO 1993 menyarankan nilai *modulus of subgrade reaction* (k) dapat dihitung dengan persamaan, sedangkan *faktor Loss of Support* mengacu pada Tabel 2.22.

Lapis subbase : *Cement aggregate mixture*

Loss of Support : LS = 1

$$MR = 1.500 \times CBR \dots \dots \dots (2.21)$$

$$K = \frac{MR}{19,4} \dots \dots \dots (2.22)$$

Dimana:

MR = Modulus ketahanan

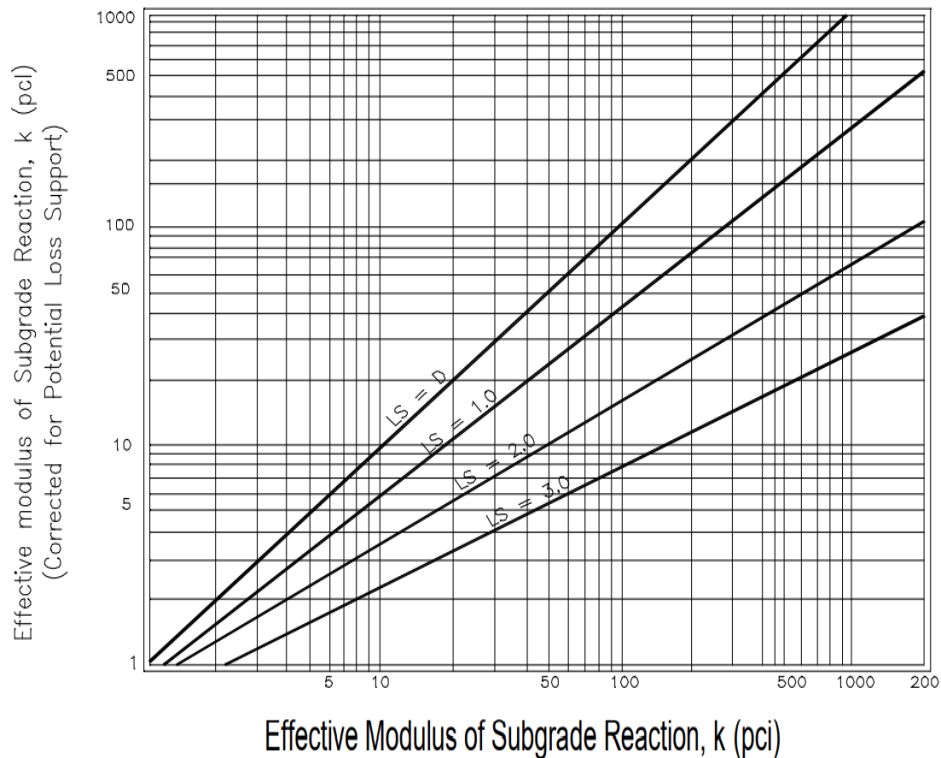
CBR = nilai California Bearing Ratio

K = Modulus reaksi tanah dasar

Tabel 2. 22 *Faktor Loss of Support* (LS)

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

(sumber: AASHTO, 1993))



Gambar 2. 21 Koreksi modulus efektif reaksi tanah dasar untuk potensial LS
(sumber: AASHTO, 1993))

Fondasi bawah menggunakan *Wet Lean Concrete*, yaitu beton kurus dengan kadar air tinggi yang lebih cair. Beton ini berfungsi untuk meratakan permukaan dan mendukung beton utama dengan kekuatan rendah. Umumnya, ketebalan 100-150 mm.

2.10.5 Modulus Elastisitas Beton

Modulus Elastisitas Beton memperlihatkan kekakuan beton saat menahan beban. Semakin tinggi, makin kaku beton tersebut. Kuat tekan beton f_c' ditetapkan di Indonesia saat ini umumnya digunakan 350 kg/cm^2 . Perhitungan Modulus Elastisitas Beton yaitu:

$$E_c = 57000\sqrt{f_c'} \dots\dots\dots (2.23)$$

Dimana:

E_c = Modulus Elastisitas beton (psi)

f_c' = Kuat tekan beton, silinder (psi)

2.10.6 Kuat tarik lentur beton (*Flextural Strength*)

Flextural Strength adalah kemampuan beton dalam menahan gaya lentur (*bending*) dan beban vertikal tanpa mengalami retak atau patah. Kekuatan beton diukur berdasarkan kuat tarik lentur pada umur 28 hari, diperoleh melalui pengujian balok dengan metode pembebanan tiga titik (ASTM C-78). Nilai tipikalnya berkisar antara 3-5 MPa (30-50 kg/cm^2). Spesifikasi yang disarankan (Sc') adalah $45 \text{ kg/cm}^2 = 640 \text{ psi}$.



Pendekatan dilakukan sebagai berikut:

$$f_r = 0,70\sqrt{f_c'} \dots\dots\dots (2.24)$$

dimana:

f_r = *Flextural Strength (modulos of rupture)* = S_c' , dalam Mpa

f_c' = Kuat tekan beton (benda uji silinder 15 × 30 cm, umur 28 hari), dalam Mpa

Dari pendekatan tersebut diatas, hubungan kuat tekan beton dengan *Flextural Strength* untuk desain *rigid pavement* menurut SNI 1991 sebagai berikut:

Tabel 2. 23 Korelasi kuat tekan - *Flextural Strength* menurut SNI 1991

No.	Kuat tekan (kg/cm ²)	<i>Flextural Strength</i> (kg/cm ²)
1	347,14	45,00
2	350,00	45,18
3	375,00	46,77

(Sumber: Suryawan, Ari. (2023). *Perkerasan Jalan Beton Semen Portland*)

2.10.7 Koefisien Drainase (*Drainage Coefficient* (C_d))

2.11.7.1 Variabel faktor drainase

AASHTO memberikan 2 variable untuk mentukan nilai koefisien drainase

1. Mutu drainase, mutu ini ditentukan seberapa cepat air dapat dikeluarkan dari fondasi perkerasan. Pada Tabel 2. 24 Kualitas Drainase.
2. Persentase perkerasan yang terpapar air hingga jenuh dalam setahun mempengaruhi ketahanan dan kinerjanya. Pada Tabel 2. 26 Koefisien drainase (C_d).

2.11.7.2 Penetapan variable mutu drainase

1. Air hujan atau air dari atas permukaan jalan yang akan masuk kedalam fondasi jalan cukup kecil, sekitar 70-95% air yang jatuh di atas jalan aspal/beton akan mengalir ke sistem drainase berdasarkan analisis hidrologi. Kondisi ini dapat dilihat pada Tabel 2. 25 Koefisien pengaliran C (Hidrologi, Iman Subarkah)
2. Air dari samping jalan umumnya tidak masuk ke fondasi karena sudah ditahan oleh saluran drainase, seperti selokan atau saluran silang, serta desain muka air yang lebih rendah dari lapisan subgrade.
3. Berdasarkan pola curah hujan, rata-rata hujan terjadi selama 3 jam per hari, dan sangat jarang hujan berlangsung terus-menerus selama satu minggu penuh.



Tabel 2. 24 Kualitas Drainase

Kualitas Drainase	Air Tersingkir Dalam waktu
Sempurna	2 jam
Baik	1 hari
Sedang	1 minggu
Buruk	1 bulan
Sangat Buruk	Air tidak mengalir

(sumber: AASHTO, 1993))

Tabel 2. 25 Koefisien pengaliran C (Hidrologi, Iman Subarkah)

Type daerah aliran	C
jalan	Beraspal
	Beton
	Batu

(Sumber: Suryawan, Ari. (2023). Perkerasan Jalan Beton Semen Portland)

2.11.7.3 Penetapan variable prosen perkerasan terkena air

Penetapan variabel persentase perkerasan yang terkena air hingga jenuh dalam satu tahun cukup sulit karena keterbatasan data pembandingan dari jalan lain. Namun, dengan pendekatan, pengamatan, dan perkiraan, nilai faktor ini dapat diestimasi. Persentase perkerasan yang terkena air dalam 1 tahun dapat diperkirakan persamaan berikut:

$$P_{heff} = \frac{T_{jam}}{24} \times \frac{T_{hari}}{365} \times W_L \times 100 \dots\dots\dots (2.25)$$

Dimana:

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

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

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

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

Tabel 2. 26 Koefisien drainase (C_d)

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

(sumber: AASHTO, 1993))



2.10.8 Koefisien Transfer Beban (*Load transfer coefficient*)

Menurut AASHTO 1993, perkerasan kaku bersambung sebaiknya dilengkapi dengan alat transfer beban pada sambungan. Rekomendasi nilai transfer beban berkisar antara 2,5 – 3,1, sementara koefisien transfer beban (J) yang digunakan dalam desain dapat ditemukan pada Tabel 2.27.

Tabel 2. 27 Koefisien transfer beban (J)

Bahu Jalan	Aspal		Pelat Beton Semen Portland Terikat	
	Ya	Tidak	Ya	Tidak
Type Perkerasan				
Perkerasan Beton Tak Bertulang bersambung (JPCP)	3,2	3,8 – 4,4	2,5 – 3,1	3,6 - 4,2
Perkerasan Beton Bertulang Bersambung (JRCP)				
Perkerasan Beton Bertulang Menerus (CRCP)	2,9 – 3,2	Tidak ada	2,3 – 2,9	Tidak ada

(sumber: AASHTO, 1993))

2.10.9 Menentukan Tebal Plat Beton

Penentuan tebal perkerasan beton harus mempertimbangkan kombinasi paling optimal dan ekonomis antara tebal pelat beton dan lapisan fondasi. Menurut AASHTO 1993, tebal perkerasan beton dapat dihitung menggunakan formulasi sebagai berikut:

$$Log_{10}W_{18} = Z_R S_o + 7,35 \times log_{10}(D + 1) - 0,06 + \frac{log_{10}\left[\frac{\Delta PSI}{4,5-1,5}\right]}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(D+1)^{8,46}}} +$$

$$(4,22 - 0,32 P_t) \times log_{10} \frac{Sc' \times Cd \times [D^{0,75} - 1,132]}{215,63 \times J \left[D^{0,75} - \frac{18,42}{(E_C/k)^{0,25}} \right]} \dots\dots\dots (2.26)$$

Dimana:

- W₁₈ = Traffic design, *Equivalent Single Axle Load* (ESAL)
- Z_R = Standar normal deviasi
- S_o = Standar deviasi
- D = Tebal pelat beton (inchi)
- ΔPSI = Serviceability Loss = P_o – P_t
- P_o = Initial Serviceability
- P_t = Terminal serviceability index
- Sc' = Modulus of repture (psi)
- Cd = Drainage coefficient



- J = Load transfer coefficient
Ec = Modulus elastisitas
K = Modulus reaction subgrade (pci)

2.10.10 Material Konstruksi Perkerasan

Material perkerasan yang digunakan dengan parameter yang terkait dalam perencanaan tebal perkerasan sebagai berikut:

1. Pelat beton
 $Flexural\ strenght\ (S_c')$ = 45 kg/cm²
Kuat tekan (benda uji silinder) f_c' = 350 kg/cm² (disarankan)
2. *Wet lean concrete*
Kuat tekan (benda uji silinder) f_c' = 105 kg/cm²

S_c' digunakan parameter *Flexural strenght* dan f_c' untuk modulus elastisitas beton (E_c).

2.10.11 Jenis Lapisan Perkerasan Beton

Lapisan perkerasan beton dapat diklasifikasikan atas 2 tipe sebagai berikut:

1. Perkerasan beton menggunakan *dowel* dan *tie bar*, serta *wire mesh* jika diperlukan untuk mengendalikan retak.
2. Perkerasan beton bertulang menerus memiliki kandungan besi yang lebih banyak tanpa siar, kecuali untuk kebutuhan konstruksi dan siar muai tertentu.

Saat ini, perkerasan beton semen Portland dengan *dowel* dan *tie bar* menjadi tipe yang paling umum digunakan di Indonesia.

2.11 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.

Berdasarkan cara mendapatkan contoh tanahnya adalah sebagai berikut:

1. CBR Lapangan (CBR *inplace* atau *field inplace*)
Digunakan untuk mengetahui nilai CBR asli tanah di lokasi tanpa pemadatan tambahan. Umumnya diterapkan pada perencanaan perkerasan dengan kondisi tanah dasar apa adanya. Pengujian menggunakan alat DCP (*Dynamic Cone*



Penetrometer), di mana pemukul dijatuhkan dari ketinggian 57,5 cm dan kedalaman penetrasi dicatat hingga mencapai 1000 mm atau batas yang ditentukan.

2.12 *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)*

Dynamic Cone Penetrometer (DCP) adalah alat uji di bidang teknik sipil yang digunakan untuk mengevaluasi kepadatan dan kekuatan tanah di lapangan. Alat ini umum dipakai pada konstruksi jalan, landasan pacu, maupun bangunan. Prinsip kerjanya dengan menjatuhkan konus dari ketinggian tertentu sehingga menembus tanah, lalu mencatat kedalaman penetrasi. Hasil pengujian digunakan untuk menilai kondisi tanah sebagai dasar perencanaan dan konstruksi.

Dalam menggunakan alat DCP menggunakan pedoman “*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 perlahan hingga mencapai batas pegangan bagian atas;

Lepaskan penumbuk sehingga jatuh bebas dan tertahan pada landasan;

catat jumlah tumbukan dan kedalaman, sesuai ketentuan-ketentuan sebagai berikut:

Pada lapis fondasi bawah atau tanah dasar dengan material lunak, kedalaman penetrasi cukup dicatat setiap 1–2 tumbukan.

Pada lapis fondasi dari material berbutir yang lebih keras, pencatatan kedalaman dilakukan setiap 5–10 tumbukan.

Cara menentukan nilai CBR

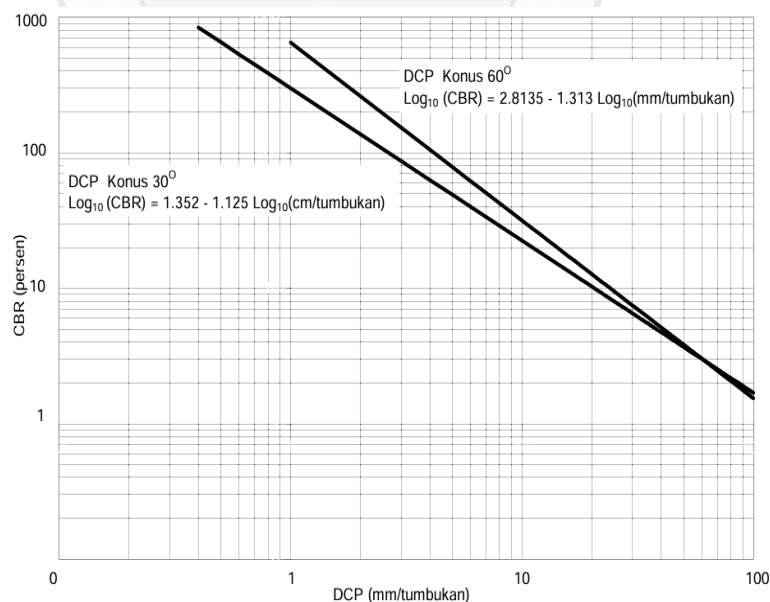
1. Periksa hasil pengujian lapangan yang terdapat pada formulir pengujian penetrometer konus dinamis (DCP) dan hitung akumulasi jumlah tumbukan dan akumulasi penetrasi setelah dikurangi pembacaan awal pada mistar penetrometer konus dinamis (DCP);



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.
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.

- 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;
- Plotkan hasil pengujian lapangan pada salib sumbu di grafik.
- Tarik garis yang mewakili titik-titik koordinat tertentu yang menunjukkan lapisan yang relatif seragam;
- Hitung kedalaman lapisan yang mewakili titik-titik tersebut, yaitu selisih antara perpotongan garis-garis yang dibuat pada no. 4, dalam satuan mm;
- Hitung kecepatan rata-rata penetrasi (DCP, mm/tumbukan atau cm/tumbukan) untuk lapisan yang relatif seragam;
- Nilai DCP diperoleh dari selisih penetrasi dibagi dengan selisih tumbukan.
- 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° ;
- Tarik garis dari titik potong tersebut ke arah kiri sehingga nilai CBR dapat diketahui.

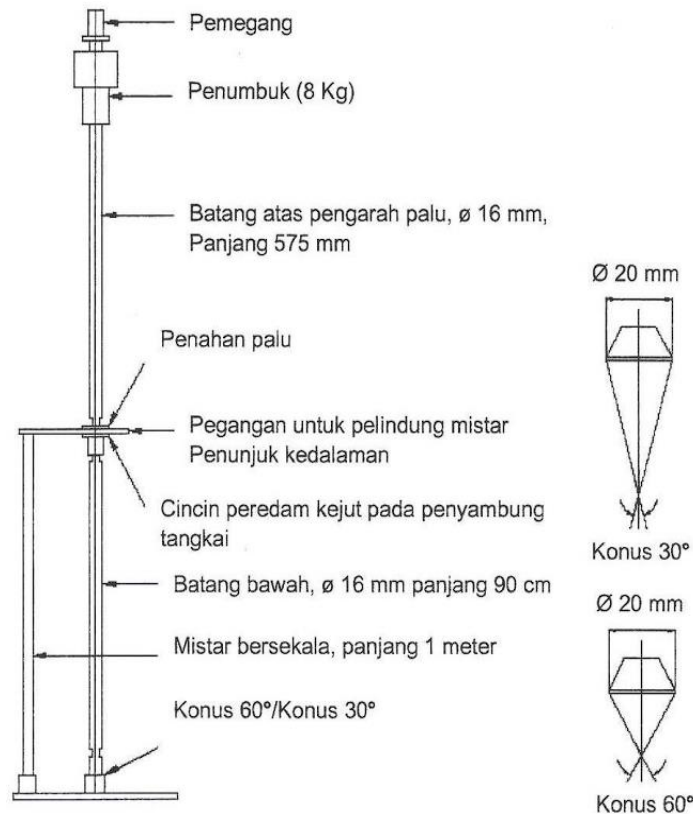
Adapun Gambar dibawah ini untuk menentukan nilai CBR didapat dari DCP.



Gambar 2. 22 Hubungan nilai DCP dengan CBR)

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

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



Gambar 2. 23 Alat Dynamic Cone Penetrometer (DCP)

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

2.13 Pengaruh Musim Hujan

Musim hujan memiliki dampak yang signifikan dalam perencanaan perkerasan jalan kaku karena mempengaruhi beberapa aspek kunci yang harus dipertimbangkan. Pertama kelembaban tanah dasar di bawah perkerasan dapat meningkat selama musim hujan, menyebabkan penurunan daya dukung dan potensi kerusakan struktural. Selain itu, pemilihan material perkerasan juga menjadi pertimbangan penting. Material harus dipilih dengan hati-hati untuk memastikan tahan terhadap kondisi cuaca ekstrem yang sering terjadi selama musim hujan.

Perawatan jalan selama musim hujan penting untuk mencegah kerusakan akibat air, seperti dengan memperbaiki retak, membersihkan drainase, dan mengelola air permukaan. Langkah ini memperpanjang umur jalan dan memastikan kualitas serta keamanan bagi pengguna.





2.14 Penyusunan Rencana Anggaran Biaya

Rencana anggaran biaya adalah perkiraan jumlah biaya yang dibutuhkan untuk bahan, upah, dan keperluan lain dalam pelaksanaan proyek. Perhitungan ini harus dilakukan secara teliti dan sesuai ketentuan. Besarnya anggaran bisa berbeda antar daerah karena perbedaan harga bahan dan upah tenaga kerja.

Penyusunan anggaran biaya tebal perkerasan pada Ruas Jalan Sungai Ara – Harapan Tani mengacu pada Pedoman Dinas Pekerjaan Umum Bidang Bina Marga tahun 2024. Proses penyusunan dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

2.14.1 Daftar Harga Satuan Bahan dan Upah

Daftar satuan bahan dan upah adalah harga yang dikeluarkan oleh Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Indragiri Hilir. Harga satuan bahan dan upah digunakan untuk menghitung kebutuhan biaya tenaga kerja, bahan, dan peralatan untuk mendapatkan harga satuan untuk satu jenis pekerjaan tertentu. Harga satuan bahan dan upah dapat digunakan sebagai acuan atau panduan untuk merencanakan atau mengendalikan biaya suatu pekerjaan.

2.14.2 Analisa Harga Satuan Pekerjaan

Analisis harga satuan pekerjaan (AHSP) adalah perhitungan biaya yang diperlukan untuk mendapatkan harga satuan untuk satu jenis pekerjaan konstruksi tertentu. Perhitungan dilakukan dengan mengalikan volume kebutuhan bahan, upah tenaga kerja, serta peralatan dengan harga satuan material, standar upah, dan biaya sewa atau pembelian peralatan.

AHSP digunakan untuk merencanakan dan mengendalikan sumber daya seperti bahan material, upah tenaga kerja, dan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proyek.

2.14.3 Perhitungan volume pekerjaan

Volume pekerjaan merupakan total keseluruhan dari kapasitas atau besarnya suatu pekerjaan yang harus dilaksanakan. Volume ini berfungsi untuk menunjukkan seberapa banyak kuantitas dari setiap jenis pekerjaan, sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam penentuan harga satuan untuk pekerjaan-pekerjaan yang termasuk dalam suatu proyek.

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

2.14.4 RAB (Rencana Anggaran Biaya)

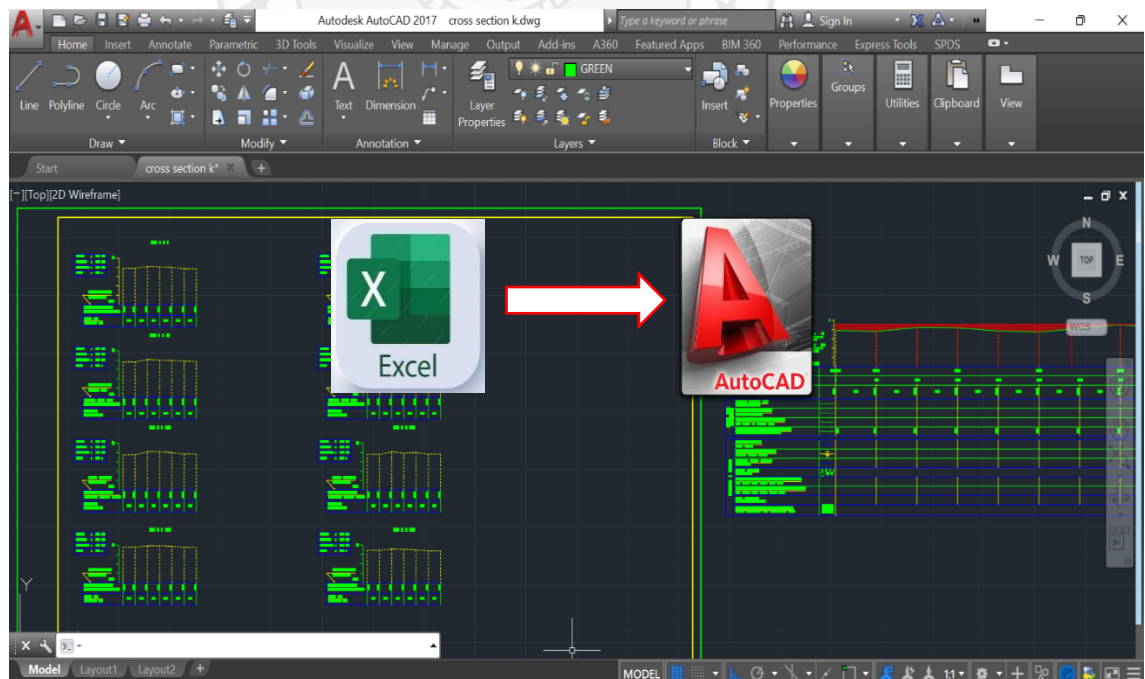
RAB atau Rencana Anggaran Biaya merupakan dokumen yang memuat rincian perkiraan biaya yang dibutuhkan untuk melaksanakan suatu kegiatan, misalnya proyek konstruksi. RAB dapat membantu pemilik proyek, kontraktor, dan pihak terkait dalam perencanaan keuangan, pengendalian biaya, dan pengawasan pelaksanaan proyek. Dengan adanya RAB, risiko kebocoran dana, kelebihan pembelian material, dan kesalahan pembayaran dapat diminimalisir.

2.14.5 Rekapitulasi biaya

Rekapitulasi biaya merupakan jumlah total biaya yang dibutuhkan setelah seluruh perhitungan dikalikan dengan harga satuan. Dalam rekapitulasi disajikan ringkasan pekerjaan utama beserta besaran biayanya.

2.15 Software PCLP

PCLP (*Plan, Cross Section and Longitudinal Profile Program*), adalah sebuah program yang dirancang untuk mentransfer data pada microsoft Excel menjadi sebuah file script AutoCAD. Sehingga apabila file tersebut di jalankan pada program AutoCAD dapat menghasilkan gambar penampang memanjang dan penampang melintang secara otomatis. Program ini dapat digunakan pada proyek jalan, irigasi dan sungai.



Gambar 2. 24 Ilustrasi PCLP
(Sumber: Data analisis (2024))



Dalam istilah pemrograman komputer, sebuah script adalah program yang akan berjalan tanpa interaksi pengguna. Di AutoCAD, sebuah file script adalah sebuah teks ASCII yang memuat kumpulan instruksi *command line* untuk diikuti AutoCAD. Script AutoCAD selalu memiliki file *extension* 'scr'. Dengan adanya Software ini mempermudah dan mempercepat proses pembuatan gambar profil jalan. Untuk pengoperasian software PCLP terbagi dalam tiga bagian yaitu :

1. Bagian Microsoft Excel

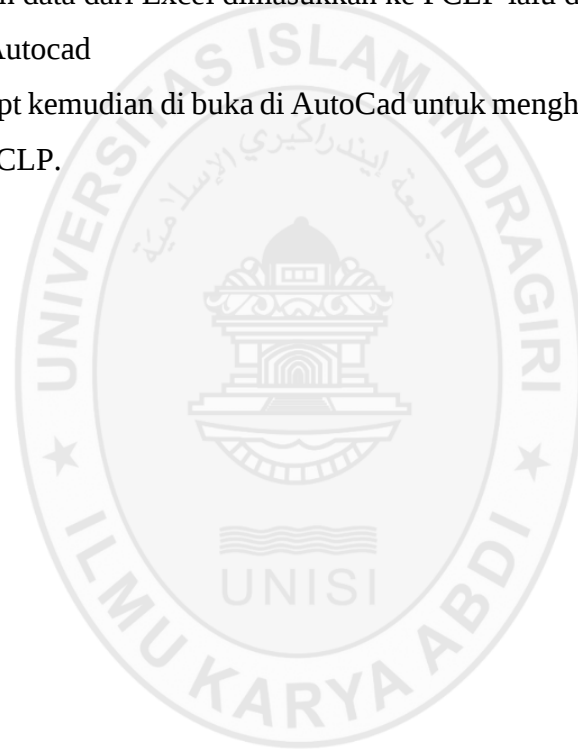
Data - data hasil pengukuran yang berisi data jarak dan elevasi.

2. Bagian PCLP

Hasil olah data dari Excel dimasukkan ke PCLP lalu disimpan sebagai script.

3. Bagian Autocad

Data script kemudian di buka di AutoCad untuk menghasilkan sebuah gambar sesuai format PCLP.



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.
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.