



BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Konstruksi Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan elemen dari konstruksi jalan yang diperkuat dengan lapisan tertentu dan dirancang dengan ketebalan, kekakuan, serta kekuatan yang memadai agar mampu menyalurkan beban lalu lintas ke tanah dasar secara aman. Lapisan ini berada di antara roda kendaraan dan tanah dasar, berfungsi menunjang kelancaran transportasi. Selama umur rencana, perkerasan diharapkan tidak mengalami kerusakan signifikan. Untuk menghasilkan perkerasan dengan kualitas yang baik, diperlukan pemahaman mengenai karakteristik material, proses penyediaan, serta teknik pengolahannya (Sukirman, 2003 dalam Edison et al., n.d.)

Perkerasan jalan pada dasarnya merupakan kombinasi antara agregat dengan bahan pengikat yang berfungsi menahan sekaligus menyalurkan beban lalu lintas ke lapisan di bawahnya. Agregat yang sering digunakan meliputi batu pecah, batu belah, batu kali, hingga material hasil samping proses peleburan baja. Sedangkan bahan pengikat umumnya menggunakan semen, aspal, atau tanah liat.

Secara umum, struktur perkerasan jalan terdiri dari beberapa lapisan yang disusun berurutan dari bawah ke atas, yaitu:

1. Lapisan tanah dasar (sub grade)
2. Lapisan pondasi bawah (subbase course)
3. Lapisan pondasi atas (base course)
4. Lapisan bagian atas / epilog (surface course)

Lapisan perkerasan jalan berfungsi buat menerima beban lalu-lintas dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya terus ke tanah dasar.

Perkerasan jalan merupakan salah satu bagian penting dalam perencanaan jalan yang dirancang untuk memberikan pelayanan lalu lintas secara optimal, baik dari segi efisiensi, kenyamanan, maupun keamanan. Tujuan utama perkerasan adalah menyediakan konstruksi jalan dengan mutu yang sesuai fungsi, melalui lapisan-lapisan perkerasan yang tersusun secara sistematis.



Konstruksi perkerasan dipandang dari rasa nyaman dan keamanan berlalu lintas harus memenuhi syarat :

1. Dari aspek kenyamanan dan keselamatan lalu lintas, perkerasan harus memiliki permukaan yang rata, tidak bergelombang, tidak mengalami penurunan berlebihan, serta bebas dari lubang.
2. Permukaan jalan harus memiliki kekakuan yang cukup sehingga tidak mudah berubah bentuk akibat beban kendaraan.
3. Tekstur permukaan perlu cukup kasar agar tercipta gesekan yang baik antara roda kendaraan dengan lapisan jalan.
4. Dari sisi kekuatan memikul serta menyebarkan beban, konstruksi perkerasan harus memenuhi beberapa ketentuan berikut:
5. Ketebalan lapisan perkerasan memadai sehingga beban lalu lintas dapat didistribusikan ke tanah dasar.
6. Memiliki sifat kedap air untuk mencegah masuknya air ke dalam lapisan konstruksi.
7. Permukaan jalan harus dirancang agar air dapat mengalir dengan mudah.
8. Memiliki kekakuan yang cukup sehingga dapat menahan beban tanpa menimbulkan deformasi yang berarti

Secara alami, tanah jarang memiliki kemampuan untuk menahan beban berulang dari lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk yang besar. Karena itu, diperlukan suatu lapisan konstruksi yang dapat melindungi tanah dari tekanan roda kendaraan, yang disebut **perkerasan (pavement)**. Fungsi utama perkerasan adalah menjaga tanah dasar (*subgrade*) serta lapisan penyusunnya agar tidak menerima tegangan dan regangan berlebihan akibat beban lalu lintas. Perkerasan ditempatkan di atas tanah dasar sebagai pemisah antara roda kendaraan dengan lapisan tanah di bawahnya. Selain itu, perkerasan harus mampu menyediakan permukaan yang rata dengan tingkat kekesatan tertentu, memiliki umur layan yang cukup panjang, serta membutuhkan perawatan yang minimal (Hardiyatmo, 2011 dalam Nisa, 2017).

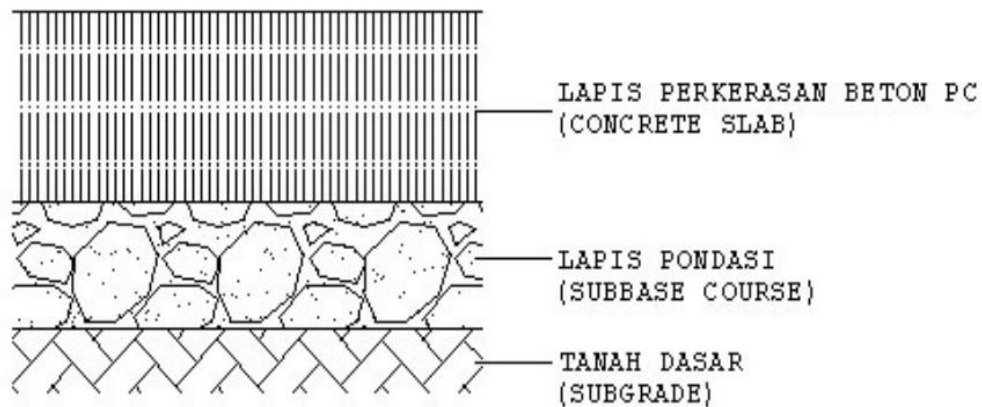
2.2 Struktur Konstruksi Perkerasan Jalan dan Bagian-Bagiannya

Konstruksi perkerasan terdiri dari beberapa jenis sesuai dengan bahan ikat yang digunakan serta komposisi dari komponen konstruksi perkerasan itu sendiri (Bahan Kuliah PPJ Teknik Sipil UNDIP), antara lain:

2.2.1 Konstruksi Perkerasan Kaku (Rigid Pavement)

Perkerasan kaku (rigid pavement) merupakan jenis perkerasan yang menggunakan semen sebagai material pengikat. Konstruksi ini berupa pelat beton, baik yang bertulang maupun tidak, yang dipasang di atas tanah dasar dengan atau tanpa tambahan lapisan pondasi bawah.

1. Semen portland (PC) dipakai sebagai material pengikat utama
2. Lapisan utama berupa pelat beton berfungsi menahan sebagian besar beban lalu lintas.
3. Akibat beban berulang, pada permukaan jalan dapat muncul retak-retak.
4. Terhadap penurunan tanah dasar, pelat beton bekerja seperti balok yang terletak di atas permukaan.



Gambar 2.1 Kontruksi Perkerasan Kaku

(Sumber : google.com)

2.2.2 Fungsi Lapis Perkerasan

Untuk memperoleh daya dukung yang memadai serta umur layanan yang panjang dengan tetap mempertimbangkan aspek ekonomis, konstruksi perkerasan jalan dirancang dalam bentuk berlapis. Lapisan paling atas disebut **lapis permukaan**, yaitu lapisan dengan mutu terbaik. Di bawahnya terdapat **lapis pondasi** yang berfungsi sebagai penopang, diletakkan di atas tanah dasar yang sebelumnya telah dipadatkan (Suprpto, 2004 dalam Edison et al., n.d).

2.2.2.1 Lapis Permukaan (LP)

Lapis permukaan adalah bagian perkerasan yang paling atas. Fungsi lapis permukaan dapat meliputi:

Struktural :



Ikut mendukung dan menyebarkan beban kendaraan yang diterima oleh perkerasan, baik beban vertikal maupun beban horizontal (gaya geser). Untuk hal ini persyaratan yang dituntut adalah kuat, kokoh, dan stabil.

Non Struktural, dalam hal ini mencakup :

1. Lapis kedap air, mencegah masuknya air ke dalam lapisan perkerasan yang ada di bawahnya.
2. Menyediakan permukaan yang tetap rata, agar kendaraan dapat berjalan dan memperoleh kenyamanan yang cukup.
3. Membentuk permukaan yang tidak licin, sehingga tersedia koefisien gerak (skid resistance) yang cukup untuk menjamin tersedianya keamanan lalu lintas.
4. Sebagai lapisan aus, yaitu lapis yang dapat aus yang selanjutnya dapat diganti lagi dengan yang baru

Lapis permukaan itu sendiri masih bisa dibagi lagi menjadi dua lapisan lagi, yaitu:

1. Lapis Aus (Wearing Course)

Lapis aus (wearing course) merupakan bagian dari lapis permukaan yang terletak di atas lapis antara (binder course). Fungsi dari lapis aus adalah (Nono, 2007) dalam (Edison et al., n.d.) :

- a. Mengamankan perkerasan dari pengaruh air.
- b. Menyediakan permukaan yang halus.
- c. Menyediakan permukaan yang kesat.

2. Lapis Antara (Binder Course)

Lapis antara (binder course) merupakan bagian dari lapis permukaan yang terletak di antara lapis pondasi atas (base course) dengan lapis aus (wearing course). Fungsi dari lapis antara adalah (Nono, 2007): dalam (Edison et al., n.d.)

- a. Berfungsi untuk menurunkan atau mengurangi tegangan yang terjadi.
- b. Menahan beban terbesar dari lalu lintas, sehingga diperlukan kekuatan yang memadai.

2.2.2.2 Base Course atau Lapis Pondasi Atas (LPA)

Lapis pondasi atas adalah bagian dari perkerasan yang terletak antara lapis permukaan dan lapis pondasi bawah atau dengan tanah apabila tidak menggunakan lapis pondasi bawah. Fungsi lapis ini adalah :



1. Sebagai lapisan penopang untuk lapis permukaan.
2. Berfungsi menahan beban baik secara horizontal maupun vertikal.
3. Menjadi perkerasan yang mendukung lapisan pondasi bawah.
4. Lapisan Pondasi Bawah (LPB) atau disebut juga Subbase Course

2.2.2.3 Lapis Pondasi Bawah (LPB) atau Subbase Course

bagian perkerasan yang terletak antara lapis pondasi dan tanah dasar. Fungsi lapis ini adalah :

1. Penyebar beban roda.
2. Lapis peresapan.
3. Lapis pencegah masuknya tanah dasar ke lapis pondasi.
4. Lapis pertama pada pembuatan perkerasan.

2.2.2.4 Tanah Dasar (TD) atau Subgrade

Tanah dasar (subgrade) adalah permukaan tanah semula, permukaan tanah galian atau permukaan tanah timbunan yang dipadatkan dan merupakan permukaan tanah dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya.

2.2.2.5 Penyebaran Gaya Pada Perkerasan Kaku

Penyebaran gaya pada perkerasan kaku, seperti jalan beton, terjadi melalui proses distribusi beban yang dihasilkan oleh kendaraan atau beban lainnya

1. Beban Kendaraan
Saat kendaraan melintas di atas perkerasan kaku, beban dari roda kendaraan akan diteruskan ke perkerasan.
2. Penyebaran Beban
Beban dari roda kendaraan akan tersebar melalui permukaan perkerasan. Distribusi beban ini harus merata untuk mencegah terjadinya deformasi yang berlebihan pada perkerasan.
3. Lapisan Subgrade
Beban kemudian menyebar ke lapisan subgrade, yang merupakan tanah di bawah perkerasan. Kondisi subgrade yang baik diperlukan agar daya dukung yang memadai dapat dihasilkan.
4. Distribusi Gaya Geser
Selain menyebar secara merata, gaya dari beban juga menciptakan gaya geser di

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.

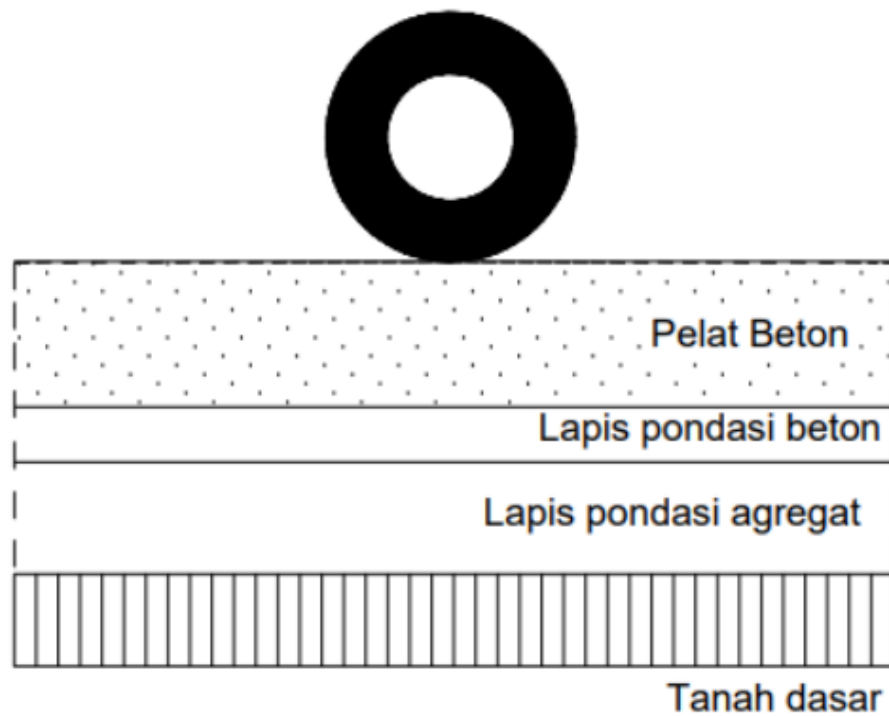
antara lapisan perkerasan dan subgrade. Kemampuan perkerasan untuk menahan gaya geser ini sangat penting untuk mencegah kerusakan.

5. Kemampuan Perkerasan

Perkerasan kaku, seperti beton, memiliki kemampuan untuk menahan tekanan dan gaya geser. Struktur perkerasan terdiri dari beberapa lapisan dengan kualitas dan karakteristik tertentu untuk memastikan daya tahan dan stabilitas.

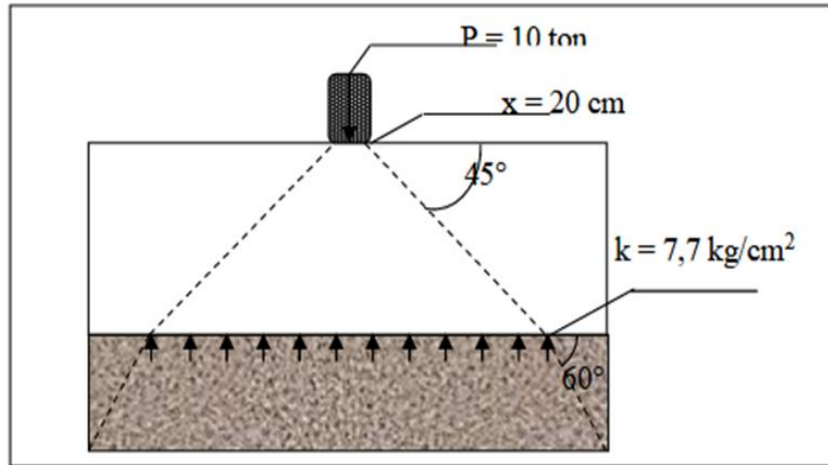
6. Distribusi Vertikal dan Horizontal

7. Gaya dari beban kendaraan akan didistribusikan secara vertikal ke bawah melalui lapisan perkerasan dan subgrade. Secara horizontal, gaya geser akan diteruskan melalui interface antara lapisan perkerasan.



Gambar 2.2 Penyebaran gaya pada perkerasan lentur dan perkerasan kaku
(Sumber : Kontruksi Jalan Raya (2004))

Derajat kemiringan garis penyebaran gaya juga dapat digunakan untuk menghitung tebal perkerasan yang akan direncanakan, dengan contoh perhitungan sebagai berikut



Gambar 2.3 Ilustrasi Pembebanan dan Penyebaran Gaya

(Sumber : Gambar Olahan)

Dimana :

P = Beban Sumbu Kendaraan

x = Lebar Bidang kontak Ban Kendaraan

k = Daya dukung tanah dasar

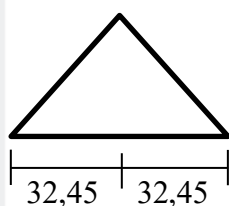
$$k = \frac{p}{b \cdot x} \dots \dots \dots (2.1)$$

$$7,7 \frac{kg}{cm} = \frac{10000 kg}{b \cdot 20 cm}$$

$$b = \frac{10000 kg}{7,7 \frac{kg}{cm} \cdot 20 cm}$$

$$b = \frac{10000}{154}$$

$$b = 64,9$$



32,45 cm (Tebal Perkerasan)

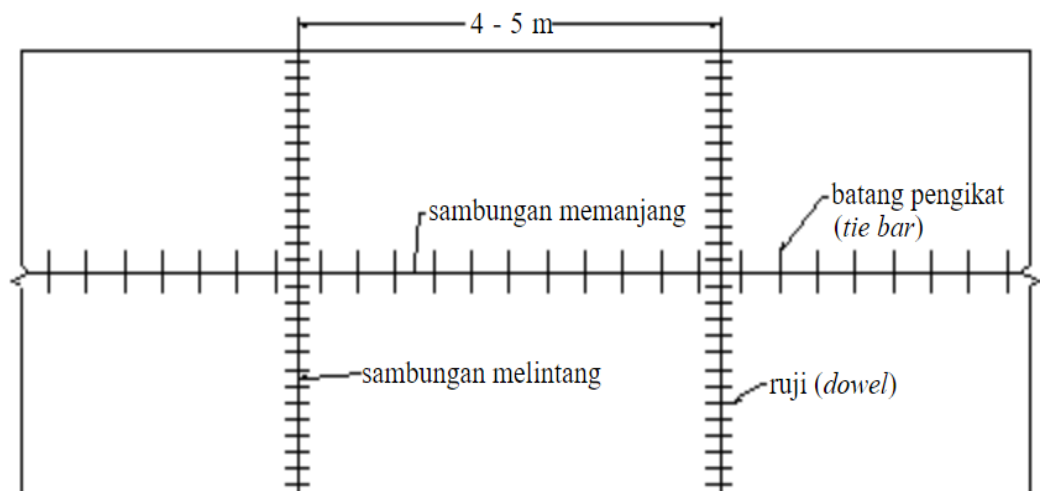
1. Dilarang memperbanyak atau mendistribusikan dokumen ini untuk tujuan komersial tanpa izin tertulis dari penulis atau pihak berwenang.
2. Penggunaan untuk kepentingan akademik, penelitian, dan pendidikan diperbolehkan dengan mencantumkan sumber.
3. Penggunaan tanpa izin untuk kepentingan komersial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

2.3 Jenis Perkerasan Kaku

Berdasarkan penggunaan sambungan serta adanya tulangan pada pelat betonnya, perkerasan kaku dapat diklasifikasikan menjadi tiga tipe utama, yaitu:

2.3.1 Perkerasan Beton Bersambung Tanpa Tulangan (BBTT) / Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP).

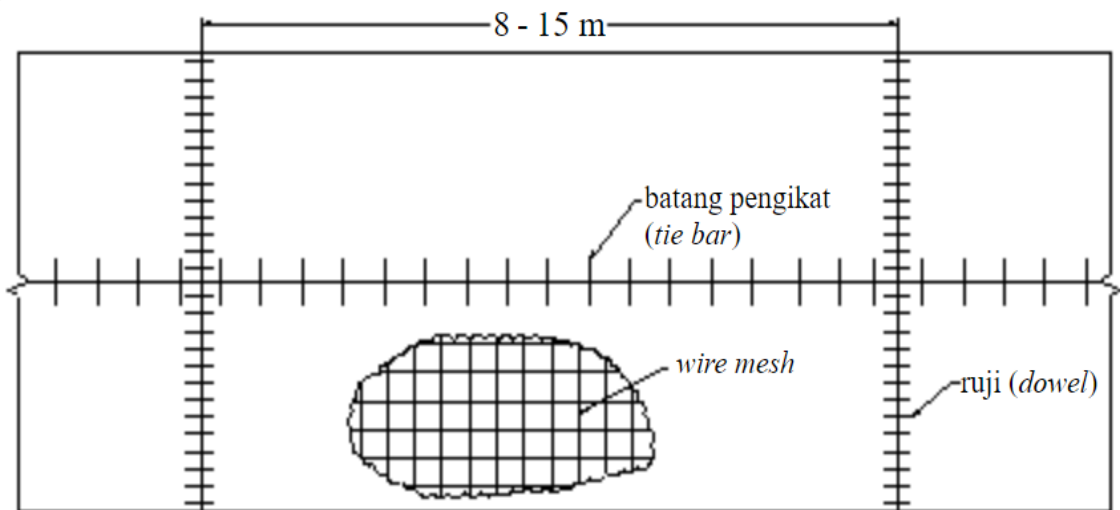
Jenis perkerasan beton semen ini dibuat tanpa tulangan dengan bentuk pelat yang umumnya menyerupai bujur sangkar. Panjang pelat dibatasi oleh sambungan melintang untuk menghindari terjadinya retakan pada beton. Biasanya perkerasan ini memiliki lebar satu lajur dengan panjang pelat sekitar 4–5 meter. Meskipun tidak memakai tulangan, konstruksi ini tetap dilengkapi dengan ruji (dowel) dan batang pengikat (tie bar), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Perkerasan Beton Bersambung Tanpa Tulangan (BBTT)
(Sumber : Perancangan perkerasan jalan dan penyelidikan tanah. (2011))

2.3.2 Perkerasan Beton Bersambung Dengan Tulangan (BBDT) / Jointed Reinforced Concrete Pavement (JRCP)

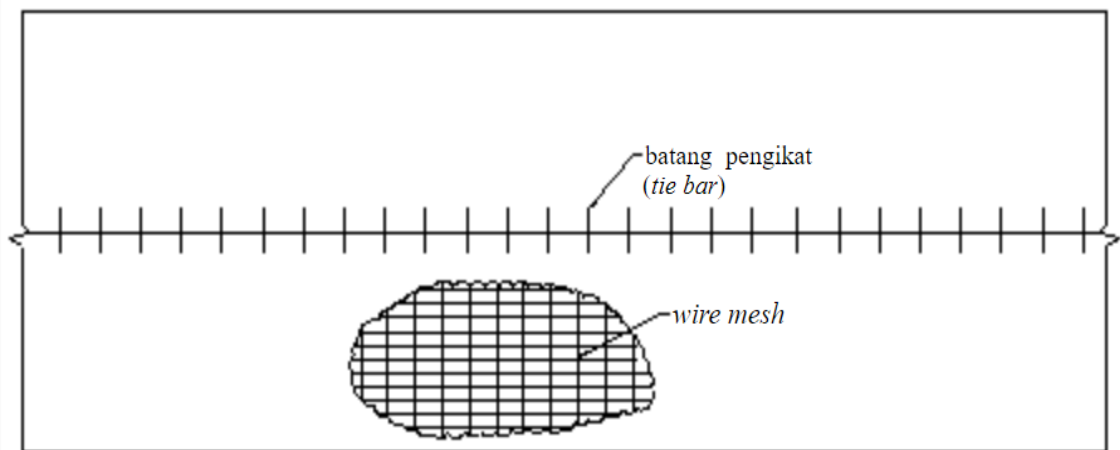
Jenis perkerasan beton semen yang dibuat dengan tulangan, yang ukuran pelatnya berbentuk empat persegi panjang, dimana panjang dari pelatnya dibatasi oleh adanya sambungan-sambungan melintang. Panjang pelat berkisar 8 - 15 m, Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Perkerasan Beton Bersambung Dengan Tulangan (BBDT)
(Sumber : Perancangan perkerasan jalan dan penyelidikan tanah. (2011))

2.3.3 Konstruksi Perkerasan Beton Menerus dengan Tulangan (BMDT) / CRCP

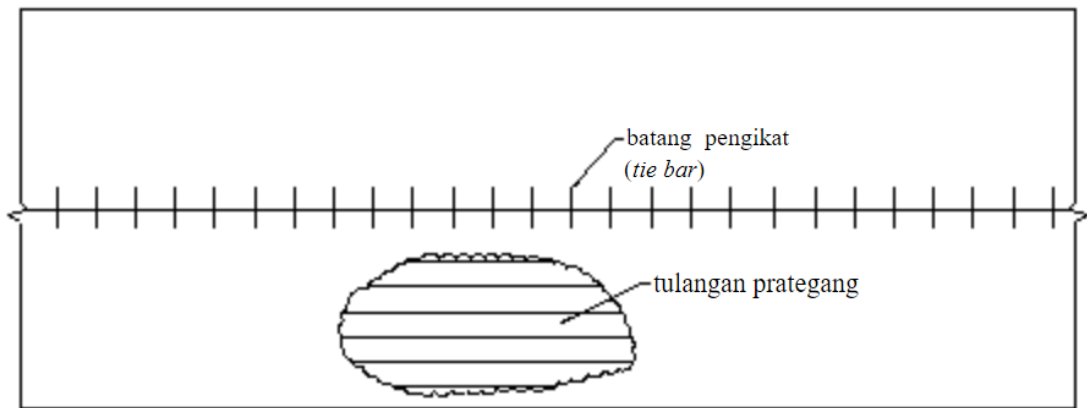
Jenis perkerasan beton semen ini menggunakan tulangan dengan pelat yang dibangun secara menerus, di mana batasnya hanya ditentukan oleh sambungan muai melintang. Umumnya, panjang pelat mencapai sekitar 75 meter



Gambar 2.6. Perkerasan Beton Bertulang Menerus (BMDT)
(Sumber: Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah, 2011)

2.3.4 Konstruksi Perkerasan Beton Prestressed (PCP)

Perkerasan beton semen tipe ini menggunakan tulangan prategang yang berfungsi untuk meminimalkan pengaruh susut serta muai akibat variasi temperatur. Pada umumnya, konstruksi ini tidak memerlukan tulangan melintang, dan penerapannya lebih banyak dijumpai pada infrastruktur bandara seperti apron, taxiway, maupun runway



Gambar 2.7 Perkerasan Beton Prategang

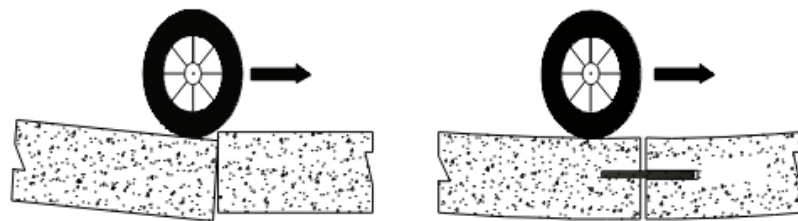
(Sumber : Perancangan perkerasan jalan dan penyelidikan tanah. (2011))

2.4 Penyalur Beban

Ada 2 macam penyalur beban yaitu ruji (dowel) dan batang pengikat (tie bar) penjelasan nya dapat dilihat dibawah ini.

2.4.1 Ruji (dowel)

Batang ruji adalah baja polos berbentuk lurus yang dipasang pada sambungan melintang untuk membantu menyalurkan beban, sehingga kedua pelat di sisi sambungan dapat bekerja secara bersamaan tanpa terjadi perbedaan penurunan yang berarti. Umumnya, batang ruji ditempatkan pada posisi tengah dari ketebalan pelat (Gambar 2.8)



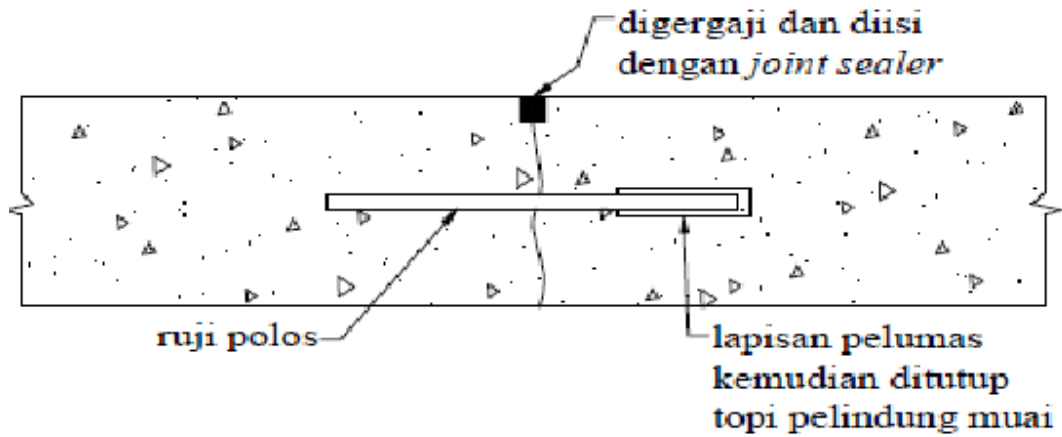
Tanpa Penyaluran Beban = 0%

Penyaluran Beban=100%

Gambar 2.8 Ilustrasi penyaluran beban

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

Pada bagian batang ruji yang dirancang dapat bergerak bebas, perlu diberikan lapisan antikarat, dilumasi dengan bahan pelicin, serta ditutup menggunakan topi pelindung muai (*expansion cap*). Gambar 2.10



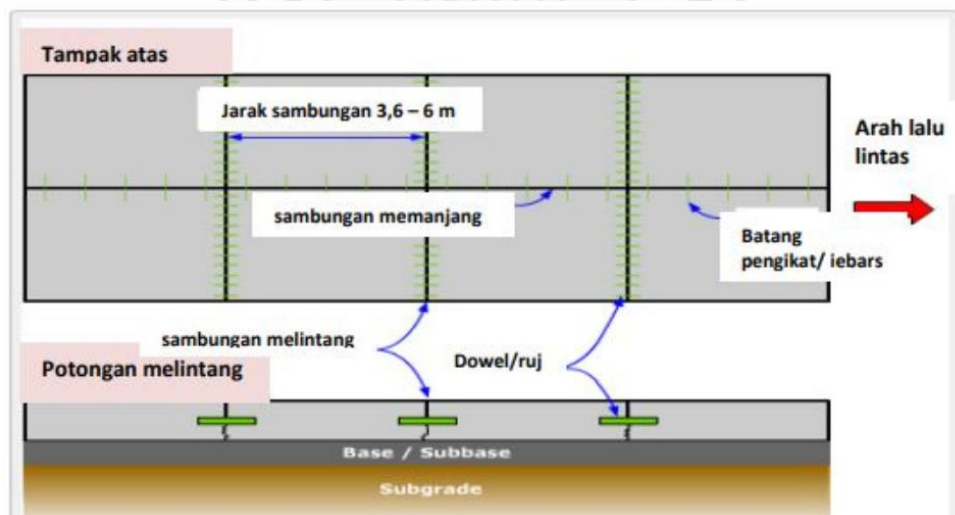
Gambar 2.9 Ruji pada sambungan melintang

(Sumber: *Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah*, 2011)

2.4.2 Batang Penghubung (Tie Bar)

Tie bar merupakan tulangan baja ulir (*deformed bar*) yang dipasang melintang pada sambungan memanjang. Perannya adalah memastikan antar pelat tetap terhubung dengan baik serta mencegah terjadinya pergeseran secara horizontal

Gambar 2.10 Batang pengikat pada sambungan memanjang dan melintang



(Sumber : *Diklat Perkerasan Kaku*. (2017))



2.4.3 Tulangan Baja Berbentuk Anyaman (Wire Mesh)

Apabila perkerasan menggunakan tulangan, maka material yang dipakai berupa anyaman kawat las atau anyaman batang baja. Tulangan tersebut wajib dalam kondisi bersih, bebas dari kotoran, minyak, maupun lemak yang dapat mengurangi daya lekat terhadap beton. Secara umum, penggunaan tulangan bertujuan untuk

1. Mengendalikan lebar retakan sehingga kekuatan pelat tetap terjaga.
2. Memungkinkan penerapan pelat dengan panjang lebih besar, sehingga jumlah sambungan melintang dapat dikurangi dan kenyamanan berkendara meningkat.
3. Menekan biaya pemeliharaan agar lebih efisien

2.4.4 Sambungan (joint)

Sambungan pada perkerasan beton semen dipasang dengan tujuan mengontrol retak yang terjadi akibat penyusutan serta menampung pemuaian pelat beton karena perubahan suhu maupun kelembaban. Secara umum, terdapat tiga jenis sambungan yang digunakan, yaitu **contraction joint**, **construction joint**, dan **isolation joint**. Desain masing-masing sambungan ditentukan berdasarkan orientasinya terhadap arah jalan, apakah melintang atau memanjang

2.4.4.1 Sambungan Susut

(Constraction Joint) Contraction joint diperlukan untuk mengendalikan retak alamiah akibat beton mengkerut, serta membatasi pengaruh tegangan lentang yang timbul pada pelat akibat pengaruh perubahan suhu dan kelembaban. Jarak antara tiap sambungan umumnya dibuat sama.

2.4.4.2 Sambungan Pelaksanaan

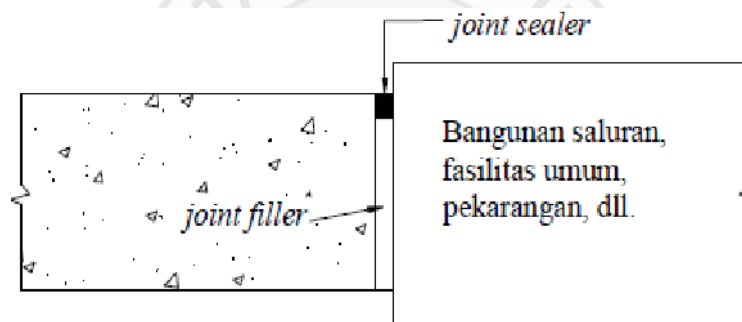
Sambungan perkerasan merupakan sambungan yang terbentuk ketika pekerjaan pengecoran beton dilakukan pada waktu yang berbeda, sehingga sambungan ini terletak di antara beton yang telah mengeras sebelumnya dengan beton yang baru dicor

2.4.4.3 Sambungan Isolasi

Isolation joint berfungsi sebagai pemisah antara perkerasan dengan elemen atau struktur lain sehingga masing-masing dapat bergerak bebas tanpa saling mengganggu. Sambungan ini umumnya diterapkan pada perkerasan yang bersebelahan dengan manhole, saluran drainase, trotoar, bangunan, persimpangan jalan, maupun jembatan.

Pada perkerasan yang terhubung dengan jembatan, isolation joint dilengkapi dengan dowel untuk menyalurkan beban serta close-end expansion cap sepanjang 50 mm yang berfungsi mengantisipasi pemuaian dan penyusutan. Bagian dowel yang diberi cap dilapisi pelumas agar tidak melekat, sehingga tetap memungkinkan pergerakan horizontal.

Untuk sambungan pada ramp atau persimpangan jalan, penggunaan dowel tidak diperlukan, karena pergeseran horizontal tetap dapat berlangsung tanpa merusak struktur perkerasan. Selain itu, guna menekan tegangan pada dasar pelat, kedua sisi perkerasan diperkuat dengan penebalan sekitar 20% sepanjang 150 mm dari titik sambungan. Sementara itu, isolation joint yang berada di sekitar manhole, inlet drainase, atau tiang penerangan jalan tidak memerlukan tambahan penebalan maupun dowel.



Gambar 2.11 Sambungan Isolasi (Isolation joint)

(Sumber : Pd. T-14-2003)

2.4.5 Pengisi Sambungan dan Penutup Sambungan (Joint Filter and Joint sealer)

Bahan penutup sambungan (*joint sealer*) dapat menggunakan berbagai material, seperti **expandite plastic**, campuran bitumen–karet yang diaplikasikan dalam kondisi panas, maupun bahan siap pakai seperti **neoprene** (penutup pabrikan yang dipasang dengan cara ditekan). Sebelum pemasangan *joint sealer*, celah sambungan wajib dibersihkan dari kotoran atau material asing agar hasilnya optimal

2.5 Parameter Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku Berdasarkan Metode Bina Marga

Parameter dalam perencanaan tebal perkerasan kaku, tebal pelat beton di hitung agar mampu memikul tegangan yang ditimbulkan oleh :

1. Beban roda kendaraan,
2. Perubahan suhu dan kadar air,



3. Perubahan volume pada lapisan dibawahnya.

Secara aplikatif, berdasarkan “Penuntun Praktis Perencanaan Teknik Jalan Raya, 2000” perencanaan tebal pelat untuk perkerasan beton yang akan dilalui kendaraan niaga, tidak boleh kurang dari 150 mm kecuali perkerasan bersambung tidak bertulang tanpa ruji (dowel) tebal minimum 200 mm. Ketebalan minimum ini juga berlaku untuk perkerasan kaku dengan lapisan permukaan aspal dengan mengabaikan tebal lapisan permukaan aspal yang ada.

Secara konservatif dalam perhitungan diterapkan prinsip kelelahan (fatigue) di mana apabila perbandingan tegangan yang terjadi pada beton akibat beban roda terhadap kuat tarik lentur beton (Modulus of Rapture) menurun, maka jumlah repetisi pembebanan sampai runtuh (failure) akan meningkat. Apabila perbandingan tegangan tersebut sangat rendah, maka beton akan mampu memikul repetisi tegangan yang tidak terbatas tanpa kehilangan kekuatannya

Parameter-parameter yang digunakan dalam merencanakan perkerasan kaku meliputi:

2.5.1 Tanah Dasar

Menurut Pd T-14-2003: Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen, daya dukung tanah dasar dapat ditentukan melalui pengujian CBR insitu sesuai SNI 03-1731-1989 atau dengan CBR laboratorium berdasarkan SNI 03-1744-1989. Metode pertama digunakan untuk perencanaan perkerasan lama, sedangkan metode kedua diterapkan pada perkerasan jalan baru. Jika hasil pengujian menunjukkan nilai CBR tanah dasar kurang dari 2%, maka perlu dibuat lapisan pondasi bawah berupa beton kurus (Lean-Mix Concrete) setebal 15 cm, yang dianggap memiliki nilai CBR tanah dasar efektif sebesar 5%

Nilai k (modulus reaksi tanah dasar) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$MR \text{ (Resilien Modulus)} = 1500 \times CBR \dots\dots\dots(2.2)$$

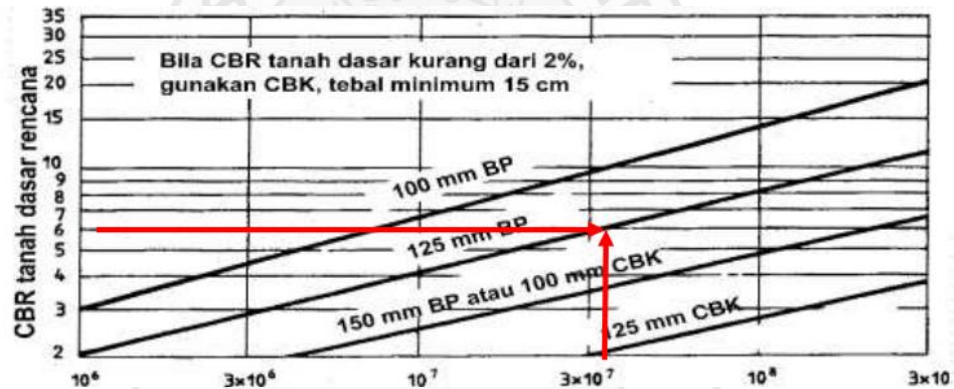
$$K = \frac{M_R}{19,4} \dots\dots\dots(2.3)$$

2.5.2 Pondasi Bawah

Bahan pondasi bawah dapat berupa :

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

Lapis pondasi bawah perlu diperlebar sampai 60 cm di luar tepi perkerasan beton semen. Tebal lapisan pondasi minimum 10 cm yang paling sedikit mempunyai mutu sesuai dengan SNI No. 03-6388-2000 dan AASHTO M- 155 serta SNI 03-1743-1989. Bila direncanakan perkerasan beton semen bersambung tanpa ruji, pondasi bawah harus menggunakan campuran beton kurus (CBK). Tebal lapis pondasi bawah minimum yang disarankan dapat dilihat pada Gambar 2.14 dan CBR tanah dasar efektif didapat dari Gambar 2.15



Gambar 2. 12 Tebal lapis pondasi bawah minimum untuk perkerasan beton
(Sumber: Perancangan perkerasan jalan dan penyelidikan tanah (2011))

2.5.3 Kekuatan Beton

Dalam perencanaan perkerasan kaku, parameter beton yang diperhitungkan adalah kekuatan lentur (flexural strength) pada umur 28 hari. Nilai ini diperoleh melalui pengujian berdasarkan metode ASTM C-78, atau dapat diperkirakan dari hasil korelasi dengan kuat tekan beton pada umur yang sama. Umumnya, kekuatan lentur beton berada pada kisaran 3–5 MPa (30–50 kg/cm²). Hubungan antara kuat lentur dan kuat tekan beton dapat dinyatakan dengan persamaan berikut

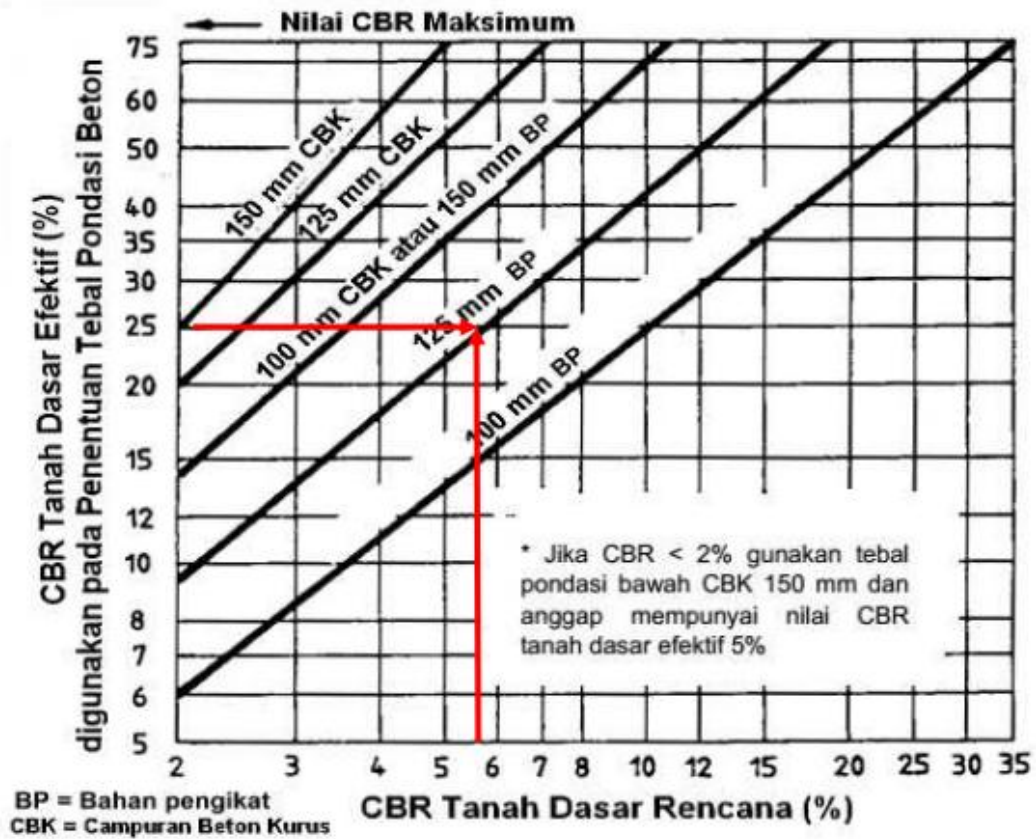
$$MR_{28} = \sigma_{bk28} + 29 \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

MR_{28} = Kuat Tarik Lentur Beton Umur 28 Hari (Kg/Cm²)

σ_{bk28} = Kuat tekan beton karakteristik 28 hari (kg/cm²)

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.
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 2.13 CBR tanah dasar efektif dan tebal pondasi bawah
(Sumber: Perancangan perkerasan jalan dan penyelidikan tanah (2016))

2.5.4 Lalu-Lintas

Penentuan beban lalu lintas rencana pada perkerasan beton semen dinyatakan dalam jumlah sumbu kendaraan niaga (*commercial vehicle*), yang dihitung sesuai dengan konfigurasi sumbu pada lajur rencana selama umur layan jalan. Analisis lalu lintas dilakukan berdasarkan data volume lalu lintas dan konfigurasi sumbu, menggunakan data terbaru atau data dari dua tahun terakhir. Untuk perencanaan perkerasan kaku, kendaraan yang diperhitungkan adalah kendaraan dengan berat total minimal 5 ton. Adapun konfigurasi sumbu yang digunakan dalam perencanaan dikelompokkan menjadi empat jenis, yaitu

1. Sumbu tunggal roda tunggal (STRT)
2. Sumbu tunggal roda ganda (STRG)
3. Sumbu tandem roda ganda (STdRG)
4. Sumbu tridem roda ganda (STrRG)



2.5.5 Lalu Lintas Rencana

Lalu lintas rencana didefinisikan sebagai total kumulatif sumbu kendaraan niaga pada lajur rencana sepanjang umur layan jalan. Perhitungannya mencakup proporsi masing-masing jenis sumbu serta distribusi beban yang ditimbulkan. Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN) selama umur rencana dapat dihitung menggunakan persamaan berikut

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

dimana:

- JSKN = Jumlah sumbu total kendaraan niaga selama umur rencana.
- JSKNH = Jumlah total sumbu kendaraan niaga per hari pada saat jalan dibuka.
- R = Faktor pertumbuhan lalu lintas

2.5.6 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Volume lalu lintas akan bertambah sesuai dengan umur rencana atau sampai tahap di mana kapasitas jalan di capai dengan faktor pertumbuhan lalu lintas yang di hitung dengan rumus sebagai berikut:

$$R = \frac{(1+i)^U}{R_{-1}} \dots\dots\dots(2.6)$$

dimana:

- R = Faktor pertumbuhan lalu lintas
- i = Laju pertumbuhan lalu lintas per tahun (%)
- UR = Umur rencana (tahun)

2.5.7 Umur Rencana

Umur rencana perkerasan jalan didefinisikan sebagai jangka waktu, terhitung sejak jalan mulai dibuka untuk lalu lintas hingga saat diperlukan perbaikan dengan sifat struktural. Pada umumnya, perkerasan beton semen direncanakan memiliki umur rencana (UR) antara 20 hingga 40 tahun

2.5.8 Persentase Beban Sumbu

Persentase beban sumbu kendaraan merupakan perbandingan jumlah sumbu tiap jenis kendaraan terhadap total keseluruhan sumbu yang ada



$$\% \text{beban sumbu} = \frac{\text{Volume Kendaraan}}{\text{JSKNH}} \times 100\% \quad (2.7)$$

2.5.9 Total repetisi beban yang diperkirakan selama masa rencana

$$\text{Total Repetisi} = \text{JSKN} \times \% \text{ beban sumbu} \times c \quad (2.8)$$

dimana :

c = Koefisien distribusi lajur

2.5.10 Lajur Desain dan Faktor Distribusi Beban (c)

Lajur rencana merupakan jalur pada ruas jalan yang menampung volume kendaraan berat paling banyak. Jika jalan tidak memiliki marka pembatas lajur, maka jumlah lajur dan nilai koefisien distribusi (c) kendaraan berat ditetapkan berdasarkan lebar perkerasan, seperti tercantum pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Jumlah Lajur Berdasarkan Lebar Perkerasan dan Koefisien Distribusi (c) Kendaraan Niaga pada Lajur Rencana.

Lebar Perkerasan (L_p)	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)

2.5.11 Faktor Keamanan Beban

Dalam perhitungan beban rencana, nilai beban sumbu dikalikan dengan **faktor keamanan beban (FK)**, yang dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut

Tabel 2.2 Faktor Keamanan Beban (FK)

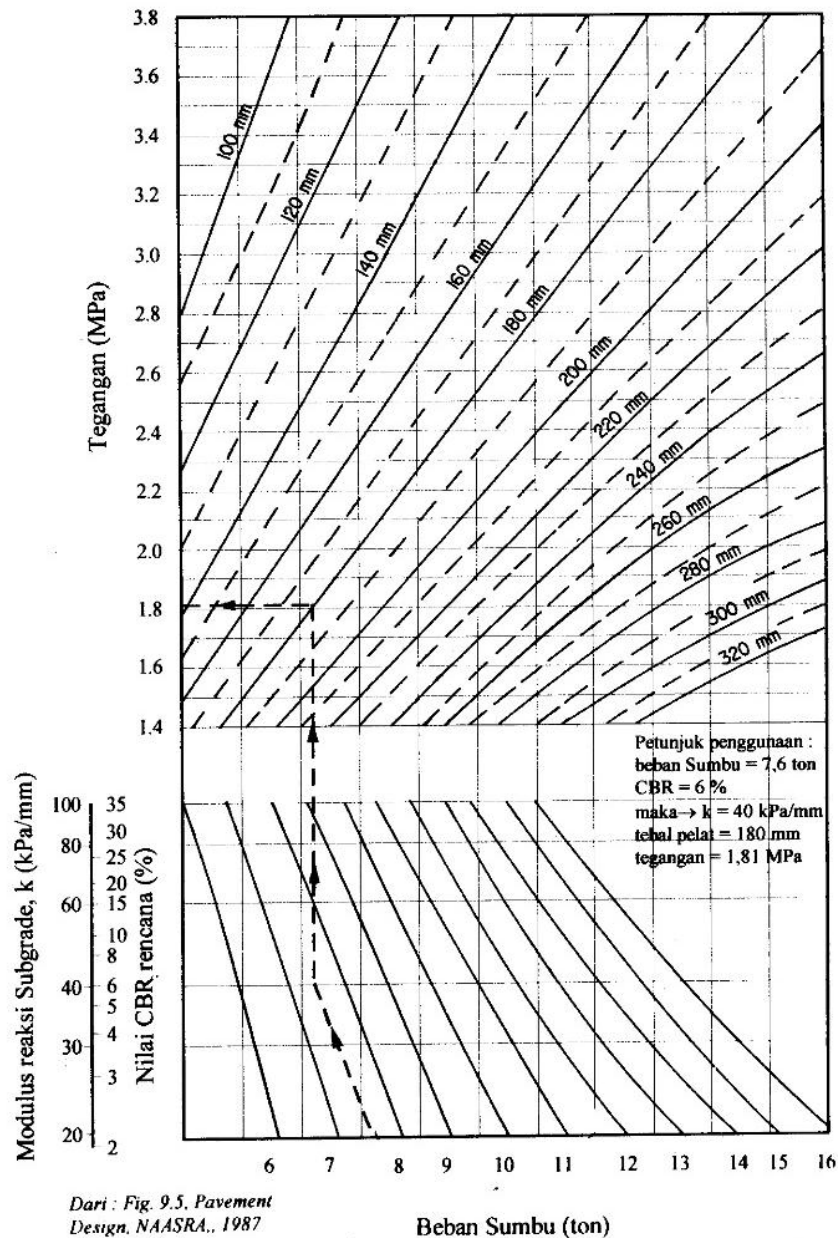
No	Peranan Jalan	Nilai FK
1	Jalan Tol	1,2
2	Jalan Arteri	1,1
3	Jalan Kolektor/Lokal	1,0

(Sumber: Pd T-14-2003)

2.5.12 Dengan mempertimbangkan besarnya beban sumbu, nilai k, serta tebal pelat yang telah diketahui atau diperkirakan sebelumnya

Dengan data tersebut, nilai tegangan yang terjadi dapat ditentukan menggunakan nomogram NAASRA, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.14, Gambar 2.15, dan Gambar 2.16

GRAFIK PERENCANAAN UNTUK STRG

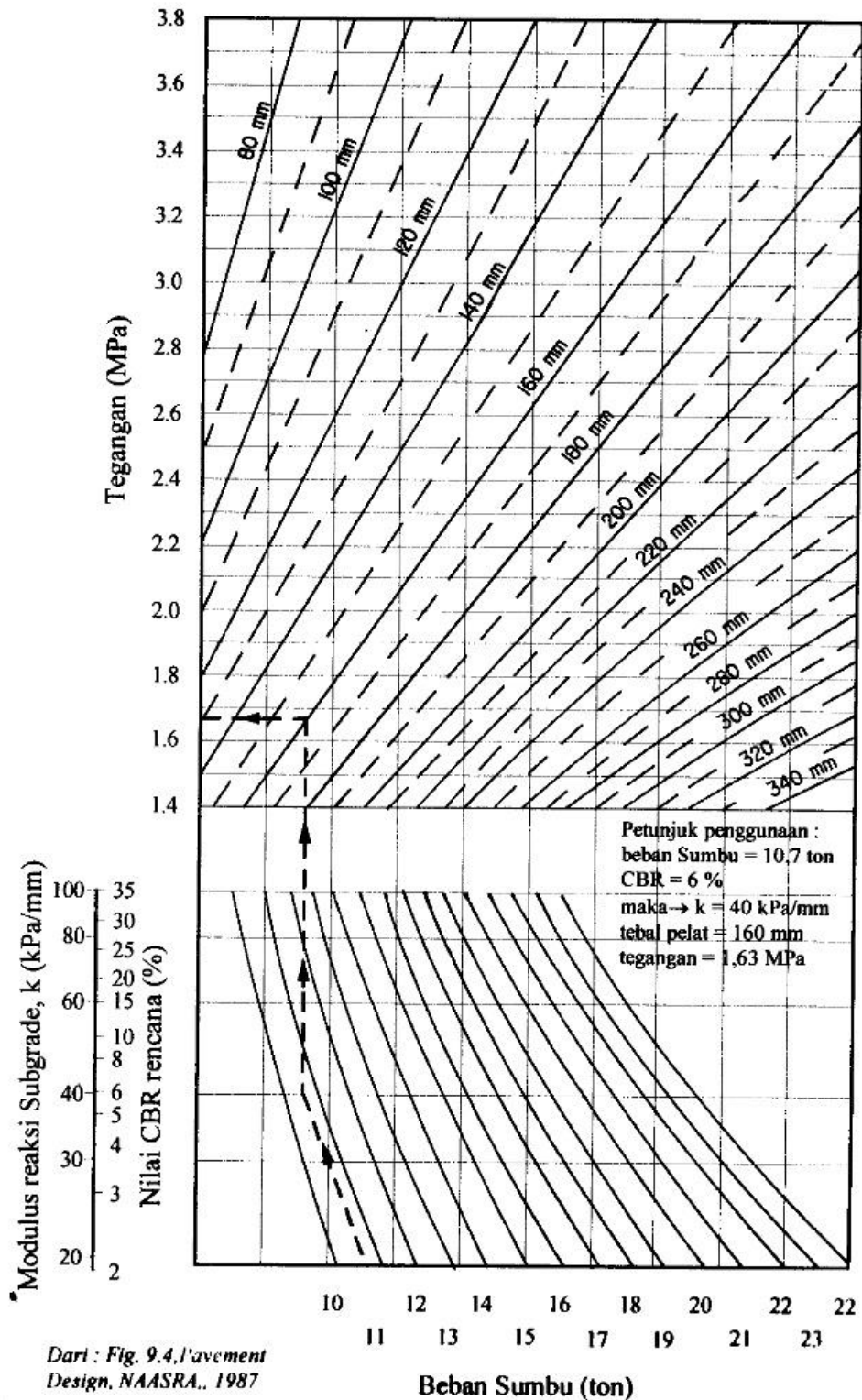


Gambar 2. 14 Grafik Perencanaan Untuk STRG

(Sumber : Penuntun praktis perencanaan teknik jalan raya, (2018))

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.

GRAFIK PERENCANAAN UNTUK SGRG



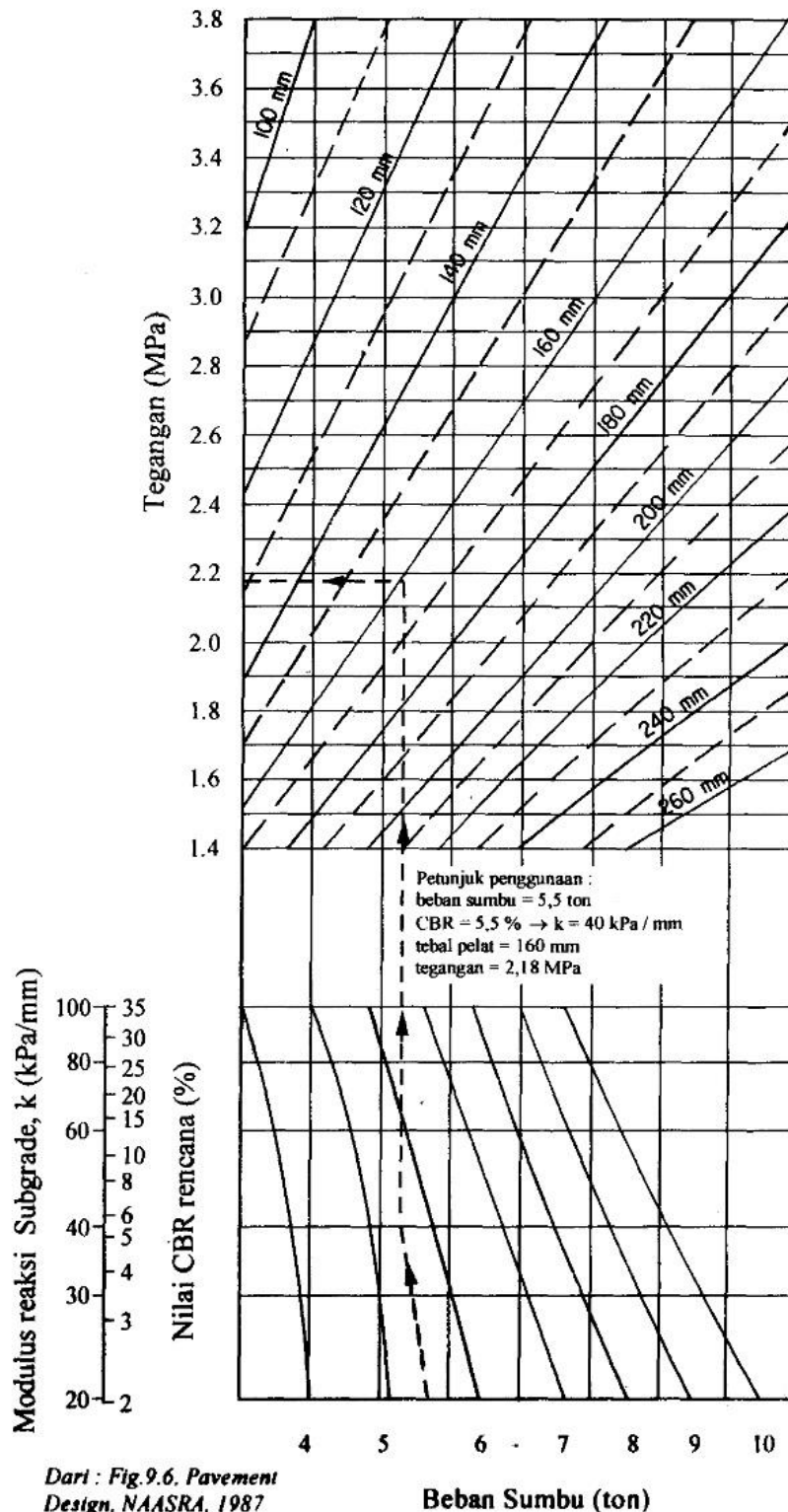
Dari : Fig. 9.4, l'avenement
 Design, NAASRA., 1987

Gambar 2. 15 Grafik perencanaan untuk SGRG

(Sumber : Penuntun praktis perencanaan teknik jalan raya, (2018))

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.

GRAFIK PERENCANAAN UNTUK STRT



Gambar 2. 16 Grafik perencanaan untuk STRT

(Sumber : Penuntun praktis perencanaan teknik jalan raya, (2000))



2.5.13 Jumlah pengulangan beban yang diijinkan

ditentukan berdasarkan harga perbandingan tegangan pada Tabel 2.3 adalah sebagai berikut :

Tabel 2.3 Hubungan Tegangan dengan Jumlah Pengulangan Beban yang Diizinkan

Perbandingan Tegangan ^a	Jumlah Pengulangan Beban Ijin	Perbandingan Tegangan	Jumlah Pengulangan Beban Ijin
0,51 ^b	400.000	0,69	2.500
0,52	300.000	0,70	2.000
0,53	240.000	0,71	1.500
0,54	180.000	0,72	1.000
0,55	130.000	0,73	850
0,56	100.000	0,74	650
0,57	75.000	0,75	490
0,58	57.000	0,76	360
0,59	42.000	0,77	270
0,60	32.000	0,78	210
0,61	24.000	0,79	160
0,62	18.000	0,80	120
0,63	14.000	0,81	90
0,64	11.000	0,82	70
0,65	8.000	0,83	50
0,66	6.000	0,84	40
0,67	4.500	0,83	30
0,68	300		

(Sumber : Penuntun praktis perencanaan teknik jalan raya. (2000)

Keterangan :

1. Tegangan akibat beban dibandingkan dengan kekuatan lentur tarik (Modulus of Rupture).
 2. Jika rasio tegangan < 0,50, maka jumlah pengulangan beban dianggap tak terbatas
- Persentase lelah (fatigue) untuk setiap konfigurasi beban sumbu dapat

$$\text{Dihitung dengan cara} = \frac{\text{Repetisi Beban}}{\text{Jumlah Repetisi Beban yang diizinkan}} \dots\dots\dots(2.9)$$

Total fatigue dihitung dengan cara menjumlahkan besarnya persentase fatigue dari seluruh konfigurasi beban sumbu

Tebal pelat beton yang dipilih/ditaksir dinyatakan sudah benar/cocok apabila total fatigue yang didapat besarnya lebih kecil atau sama dengan 100 %



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.

2.6 Perencanaan Dowel, Tie Bar, dan Tulangan Mengacu pada Metode Bina Marga

Dalam perencanaan ruji, batang pengikat, dan tulangan, terdapat beberapa parameter yang diperhatikan, di antaranya

2.6.1 Ukuran Ruji dan Tie Bar

Rekomendasi ukuran ruji dan batang pengikat menurut Portland Cement Association ditunjukkan pada Tabel 2.4 dan Tabel 2.5

Tabel 2. 4 Ukuran Ruji (Dowel)

No	Tebal pelat beton, h (mm)	Diameter ruji (mm)
1	125 < h < 140	20
2	140 < h < 160	24
3	160 < h < 190	28
4	190 < h < 220	33
5	220 < h < 250	36

(Sumber: Pd T-14-2003)

Tabel 2. 5 Ukuran Batang Pengikat (Tie Bar)

Tebal Pelat (cm)	Diameter Tie Bar (mm)	Panjang Tie Bar (mm)	Jarak Spacing Antar Tie Bar (cm)
12,5	12	600	75
15,0	12	600	75
17,5	12	600	75
20,0	12	600	75
22,5	12	750	90
25,0	16	750	90

(Sumber: Portland Cement Association. (1975). PCA)

2.6.2 Luas penampang tulangan

Perhitungan ini diterapkan pada Beton Bersambung dengan Tulangan (BBDT). Kebutuhan luas penampang tulangan dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut

$$A_s = \frac{F.L.}{2.F_s} \dots\dots\dots (2.10)$$



Dimana:

As : Luas penampang tulangan (mm^2 per meter lebar pelat)

f_s : Tegangan tarik yang diizinkan untuk tulangan (MPa), biasanya diambil sebesar $0,6 \times f_y$

g : Percepatan gravitasi (m/det^2)

h : Ketebalan pelat beton (m)

L : Jarak antara sambungan tidak terikat atau sisi bebas pelat (m)

M : Berat jenis beton, dinyatakan dalam satuan kg/m^3

F : Koefisien gesekan antara pelat beton dengan lapis pondasi bawah

Tabel 2. 6 Nilai Koefisien Gesekan (F)

No	Jenis Pondasi	F
1	Burtu, Lapen dan Konstruksi sejenisnya	2,2
2	Aspal beton dan Lataston	1,8
3	Stabilisasi kapur	1,8
4	Stabilisasi aspal	1,8
5	Stabilisasi semen	1,8
6	Koral	1,5
7	Batu pecah	1,5
8	Sirtu	1,2
9	Tanah	0,9

(Sumber: Jalan raya 2 (2003))

2.6.3 Persentase luas tulangan terhadap luas penampang beton digunakan dalam perhitungan Beton Menerus dengan Tulangan (BMDT)

Seiring dengan perkembangan konstruksi dan tuntutan kekuatan struktural yang semakin tinggi, perhitungan beton menerus dengan tulangan (BMDT) menjadi esensial dalam memastikan keamanan dan keandalan struktur bangunan. Tulangan beton adalah unsur penting dalam mendukung daya tahan dan kekuatan struktural suatu bangunan. Oleh karena itu, pemahaman yang baik terhadap luas tulangan yang dibutuhkan terhadap luas penampang beton menjadi kunci dalam merancang struktur yang kokoh dan berkesinambungan.



Berikut adalah rumus untuk perhitungan Beton Menerus Dengan Tulangan (BMDT) sebagai berikut :

$$P_s = \frac{100 f_{ct} \cdot (1,3)}{f_y - n \cdot f_{ct}} \dots \dots \dots (2.11)$$

Di mana:

- PS = 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 dan beton = ES/EC
- F = Koefisien gesekan antara pelat beton dan pondasi bawah sebagai mana pada Tabel 2.18.
- ES = Modulus elastisitas baja = 2,1 x 10⁶ (kg/cm²)
- EC = Modulus elastisitas beton = 14850 √f'c (kg/cm²)

Jarak teoritis antar retakan

$$L_{cr} = \frac{F_{ct}^2}{n \cdot p \cdot u \cdot f_b(\epsilon_s)} \dots \dots \dots (2.12)$$

Di mana :

- 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 √f'c)/d (kg/cm²).
- ε_s = Koefisien susut beton = 400x10⁻⁶
- f_{ct} = Kuat tarik langsung beton = (0,4 – 0,5 f_{cf}) (kg/cm²)
- n = Angka ekivalensi antara baja dan beton = ES/EC
- ES = Modulus elastisitas baja = 2,1 x 10⁶ (kg/cm²)
- EC = Modulus elastisitas beton = 14850 √f'c (kg/cm²)

2.7 California Bearing Ratio (CBR)

California Bearing Ratio (CBR) adalah suatu metode uji yang digunakan untuk mengevaluasi kekuatan relatif tanah dasar atau subgrade, khususnya untuk keperluan



desain jalan dan landasan pangkalan. Uji CBR dirancang untuk memberikan indikasi tentang kemampuan tanah untuk mendukung beban dari lapisan permukaan jalan atau landasan pangkalan.

Berikut ini merupakan kegunaan dan jenis California Bearing Ratio (CBR) yaitu:

2.7.1 Kegunaan CBR

Metode yang umum dipakai dalam perencanaan perkerasan jalan saat ini adalah metode empiris, yang lebih dikenal dengan CBR (California Bearing Ratio). Metode ini dikembangkan oleh *California State Highway Department* sebagai salah satu cara untuk mengevaluasi kekuatan tanah dasar (*subgrade*). Nilai CBR yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai acuan dalam penentuan ketebalan lapisan perkerasan. Penentuan tebal perkerasan berdasarkan nilai CBR dilakukan dengan bantuan grafik yang telah dirancang untuk berbagai beban roda kendaraan serta tingkat intensitas lalu lintas

2.7.2 Jenis CBR

Nilai California Bearing Ratio (CBR) dapat memberikan indikasi tentang kemampuan tanah untuk mendukung beban dan dapat digunakan untuk mengklasifikasikan tanah berdasarkan kekuatannya. Berdasarkan cara mendapatkan contoh tanahnya, CBR dapat dibagi atas :

2.7.2.1 CBR Lapangan

Proses uji CBR lapangan melibatkan pembebanan langsung pada tanah di lokasi proyek dengan menggunakan alat uji yang sesuai. Hasil uji ini memberikan informasi langsung tentang kemampuan tanah di lokasi tersebut untuk mendukung beban dan dapat digunakan dalam perencanaan dan desain konstruksi.

1. CBR lapangan, yang juga dikenal sebagai *field CBR* atau *CBR inplace*
2. Mendapatkan CBR asli di lapangan sesuai dengan kondisi tanah dasar. Umumnya digunakan untuk perencanaan tebal lapis perkerasan yang lapisan tanah dasarnya sudah tidak akan dipadatkan lagi.
3. Digunakan untuk memeriksa apakah tingkat kepadatan yang dicapai telah memenuhi standar yang ditetapkan. Jenis pemeriksaan ini jarang dilakukan. Prosedurnya dilakukan dengan menempatkan piston pada kedalaman tertentu



sesuai titik penentuan nilai CBR, kemudian dilakukan penetrasi menggunakan beban yang diteruskan melalui gardan truk (Sukirman, 1993)

2.7.2.2 CBR Lapangan Rendaman

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai CBR tanah asli di lapangan pada kondisi tanah jenuh air serta saat tanah mengalami pengembangan (swelling) maksimum. Pelaksanaannya biasanya dilakukan pada musim kemarau, ketika tanah tidak berada dalam keadaan jenuh air

1. CBR Lapangan rendaman ini bertujuan untuk mengetahui nilai CBR asli tanah di lapangan pada kondisi jenuh air, ketika tanah mengalami pengembangan (swelling) maksimum. Pelaksanaannya umumnya dilakukan pada musim kemarau, saat tanah dasar belum jenuh air. Metode pengujian dilakukan dengan cara memasukkan mold yang berisi tanah ke dalam lapisan tanah hingga kedalaman tertentu. Contoh tanah yang diperoleh kemudian dikeluarkan, dimasukkan ke dalam air selama 4 hari, dan selama perendaman tersebut diukur tingkat pengembangannya. Setelah tanah tidak lagi mengalami perubahan volume, barulah dilakukan pengujian CBR. Cara ini banyak diterapkan pada jalan yang berpotensi tergenang air ketika musim hujan

2.7.2.3 CBR Laboratorium

Pengujian CBR (California Bearing Ratio) laboratorium yang dimaksudkan pada standar ini adalah penentuan nilai CBR contoh material tanah, agregat atau campuran tanah dan agregat yang dipadatkan di laboratorium pada kadar air sesuai yang ditentukan.

1. CBR Laboratorium atau sering juga disebut CBR Rencana Titik, merupakan pengujian yang dilakukan pada tanah dasar jalan baru, baik berupa tanah asli, tanah timbunan, maupun tanah galian yang telah dipadatkan hingga mencapai sekitar 95% dari kepadatan maksimumnya. Dengan kondisi tersebut, nilai daya dukung tanah dasar mencerminkan kemampuan lapisan tanah dalam menahan beban setelah melalui proses pemadatan.

2.7.3 Pengujian Kekuatan dengan CBR

Alat yang digunakan untuk menentukan besarnya CBR berupa alat yang mempunyai piston dengan luas 3 inch dengan kecepatan gerak vertikal ke bawah 0,05 inch/menit, Proving Ring digunakan untuk mengukur beban yang dibutuhkan pada



penetrasi tertentu yang diukur dengan arloji pengukur (dial). Penentuan nilai CBR yang biasa digunakan untuk menghitung kekuatan pondasi jalan adalah penetrasi 0,1” dan penetrasi 0,2”, yaitu dengan rumus sebagai berikut :

$$CBR_{0,1} = \frac{x}{3000} \times 100\% \dots\dots\dots(2.13)$$

$$CBR_{0,2} = \frac{y}{4500} \times 100\% \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana :

x = pembacaan dial pada saat penetrasi 0,1”

y = pembacaan dial pada saat penetrasi 0,2”

Nilai CBR yang didapat adalah nilai yang terkecil diantara hasil perhitungan kedua nilai CBR diatas.

Berikut ini adalah tabel beban yang digunakan untuk melakukan penetrasi bahan standar Tabel 2.7

Tabel 2. 7 Beban penetrasi bahan standar

Penetrasi (inch)	Beban Standar (lbs)	Beban Standar (lbs)
0,1	3000	1000
0,2	4500	1500
0,3	5700	1900
0,4	6900	2300
0,5	7800	6000

(Sumber: Sukirman (1999))

2.8 Dynamic Cone Penetrometer (DCP)

Alat penetrometer konus dinamis (DCP) terdiri dari tiga bagian utama yang satu sama lain harus disambung sehingga cukup kaku, seperti :

2.8.1 Bagian atas yang terdiri dari

bagian atas alat Dynamic Cone Penetrometer (DCP) adalah sebagai berikut :

1. Pemegang;
2. Batang bagian atas diameter 16 mm, tinggi-jatuh setinggi 575 mm;
3. Penumbuk berbentuk silinder berlubang, berat 8 kg.

2.8.2 Bagian tengah yang terdiri dari

bagian tengah alat Dynamic Cone Penetrometer (DCP) adalah sebagai berikut :

1. Landasan penahan penumbuk terbuat dari baja;

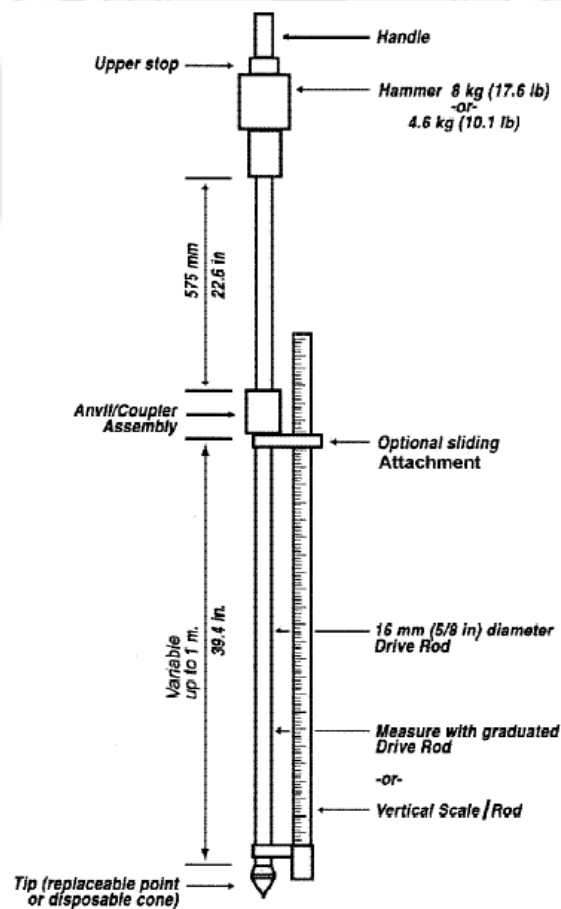
2. Cincin peredam kejut;
3. Pegangan untuk pelindung mistar penunjuk kedalam.

2.8.3 Bagian bawah yang terdiri dari

bagian bawah alat Dynamic Cone Penetrometer (DCP) adalah sebagai berikut :

1. Batang utama terletak di bagian bawah dengan panjang sekitar 90 cm dan berdiameter 16 mm.
2. Batang penyambung memiliki panjang antara 40–50 cm dengan diameter 16 mm, dilengkapi ulir dalam pada salah satu ujung dan ulir luar pada ujung lainnya.
3. Alat dilengkapi mistar berskala sepanjang 1 meter yang terbuat dari pelat baja.
4. Ujung alat menggunakan konus dari baja keras berbentuk kerucut dengan diameter 20 mm, serta memiliki sudut kemiringan 60° atau 30° .
5. Disertakan pula cincin pengaku sebagai komponen tambahan penunjang.

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



Gambar 2.17 Alat Dynamic Cone Penetrometer (DCP)

(Sumber : Dapur Teknik Sipil 2017))



2.9 Beban Lalu Lintas

Data lalu lintas merupakan salah satu komponen utama dalam perencanaan teknik jalan, karena kapasitas jalan yang direncanakan sangat dipengaruhi oleh komposisi lalu lintas pada segmen jalan yang ditinjau. Informasi mengenai volume atau arus lalu lintas diperlukan untuk menentukan jumlah serta lebar lajur pada setiap jalur, yang berhubungan langsung dengan penetapan karakteristik geometrik jalan. Sementara itu, jenis kendaraan yang melintas akan menentukan kelas beban atau Muatan Sumbu Terberat (MST), yang berpengaruh besar terhadap desain struktur perkerasan

Dalam lalu lintas, unsur yang terlibat dapat berupa pejalan kaki maupun benda bergerak lainnya. Adapun unsur lalu lintas yang menggunakan roda disebut kendaraan, dengan satuannya berupa unit kendaraan.

parameter lalu lintas yang digunakan dalam perencanaan tebal perkerasan meliputi beberapa data penting berikut

2.9.1 Jenis kendaraan

Ciri-ciri umum penggolongan kendaraan adalah sebagai berikut:

1. Sedan, jeep, dan station wagon kendaraan penumpang pribadi dengan kapasitas 4 kursi (2 baris) hingga 6 kursi (3 baris).
2. Kendaraan penumpang umum kecil (kecuali combi) mencakup mikrolet, angkot, minibus, atau pick-up beratap dengan kapasitas maksimal 12 kursi. Umumnya digunakan sebagai angkutan dalam kota, pedesaan, atau rute sekitarnya.
3. Truk 2 sumbu (L) kendaraan angkut barang dengan kapasitas beban belakang maksimal 3,5 ton. Menggunakan konfigurasi sumbu tunggal roda tunggal (STRT).
4. Bus kecil (Golongan 5a) kendaraan penumpang umum berkapasitas 16–26 kursi, seperti Kopaja, Metromini, atau Elf. Memiliki panjang maksimum 9 m, menggunakan sumbu tunggal roda ganda (STRG) di bagian belakang, dan sering disebut bus $\frac{3}{4}$.
5. Bus besar (Golongan 5b) kendaraan penumpang umum dengan kapasitas 30–50 kursi, meliputi bus kota, bus malam, dan bus antar kota. Panjang kendaraan umumnya 12 m dengan konfigurasi STRG.



6. Truk 2 sumbu (H) – Golongan 6 kendaraan barang dengan beban sumbu belakang antara 5–10 ton (MST 5, 8, 10) dengan konfigurasi STRG.
7. Truk 3 sumbu (Golongan 7a) kendaraan barang dengan 3 sumbu, terdiri dari STRT dan SGRG (sumbu ganda roda ganda).
8. Truk gandengan (Golongan 7b) kendaraan barang (tipe 6 atau 7) yang ditambahkan gandengan berupa bak truk, dihubungkan dengan batang segitiga. Dikenal juga sebagai *Full Trailer Truck*.
9. Truk semi trailer / truk tempelan (Golongan 7c) terdiri dari kepala truk (2–3 sumbu) yang tersambung secara sendi dengan rangka bak beroda belakang (2 atau 3 sumbu)

2.9.1.1 Penggolongan lalu-lintas terdapat 3 versi yaitu berdasar :

Penggolongan lalu lintas umumnya melibatkan klasifikasi berdasarkan jenis kendaraan, aturan lalu lintas, dan karakteristik pengguna jalan. Beberapa penggolongan umum termasuk:

1. Berdasarkan Tabel 2.8 dari *Manual Kapasitas Jalan Indonesia* (1997)

Tabel 2. 8 Penggolongan kendaraan berdasar MKJI

No	Type kendaraan	Golongan
1	Sedan, jeep, st. wagon	2
2	Pick-up, combi	3
3	Truck 2 as (L), micro truck, mobil hantaran	4
4	Bus kecil	5a
5	Bus besar	5b
6	Truck 2 as (H)	6
7	Truck 3 as	7a
8	Trailer 4 as, truck gandengan	7b
9	Truck s. trailer	7c

(Sumber: Suryawan, Ari. (2013). *Perkerasan Jalan Beton Semen Portland*)

2. Direktorat Jenderal Perhubungan Darat (2008). *Panduan batas maksimum perhitungan JBI dan JBKI untuk kendaraan barang, kendaraan khusus, serta kendaraan penarik dengan kereta tempelan/gandengan* (SE.02/AJ.108/DHUD/2008, Tabel 2.15).



Tabel 2. 9 Penggolongan kendaraan berdasar Perhubungan Darat (2008)

No	Type kendaraan & golongan	Konfigurasi sumbu
1	Mobil barang ringan	1.1
2	Truck 2 as	1.2
3	Truck 3 as	11.2
4	Truck 3 as	1.22
5	Truck 4 as	1.1.22
6	Truck 4 as	1.222
7	Truck 4 as	1.2.22
8	Truck 4 as	1.2+2.2
9	Truck 5 as	1.1.222
10	Truck 5 as	1.22+22
11	Truck 6 as	1.22+22

(Sumber: Suryawan, Ari. (2013). *Perkerasan Jalan Beton Semen Portland*)

3. PT. Jasa Marga (Persero) lihat Tabel .2.10

Tabel 2. 10 Penggolongan kendaraan berdasar PT. Jasa Marga (Persero)

No	Golongan Kendaraan
1	Golongan 1
2	Golongan 1 au
3	Golongan 2 a
4	Golongan 2 a au

Sumber: Suryawan, Ari (2013). *Perkerasan Jalan Beton Semen Portland*.

Dari ketiga sistem penggolongan kendaraan yang ada, terlihat bahwa dalam melakukan kajian Vehicle Damage Factor (VDF) sering muncul kendala akibat perbedaan standar penggolongan tersebut. Hal ini menyebabkan analisis lalu lintas tidak selalu mudah dilakukan, terutama pada tahap perencanaan lalu lintas (traffic design) yang erat kaitannya dengan hubungan antara golongan kendaraan, Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR), pertumbuhan lalu lintas, dan nilai VDF. Apabila survei lalu lintas tidak sesuai dengan kebutuhan, proses analisis menjadi lebih rumit. Kondisi ini kerap ditemui ketika pencatatan jumlah kendaraan pada suatu golongan dilakukan, namun pada golongan lain terabaikan, bahkan terkadang muncul kesalahan matriks dalam pencacahan lalu lintas maupun survei beban gandar. Akibatnya, analisis lalu lintas menjadi semakin sulit dan hasil kajian pun berpotensi kurang akurat.



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

Sering kali, dalam pelaksanaan survei pencacahan lalu lintas maupun survei beban gandar, tim survei bekerja tanpa menyesuaikan dengan kebutuhan golongan kendaraan yang telah ditetapkan oleh Pengguna Jasa atau Pemberi Tugas. Kondisi ini perlu menjadi perhatian khusus agar dapat dihindari di masa mendatang.

2.9.1.2 Lalu-lintas harian rata-rata

Volume lalu lintas adalah jumlah kendaraan yang melewati suatu titik pengamatan dalam kurun waktu tertentu. Satuan yang umum digunakan untuk analisis perencanaan jumlah serta lebar lajur adalah Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR). Dalam perhitungan tebal perkerasan, jumlah lajur digunakan untuk menentukan faktor distribusi lajur. Selanjutnya, data LHR, tingkat pertumbuhan lalu lintas, faktor kerusakan kendaraan (VDF), umur rencana, jumlah lajur, faktor distribusi arah, serta faktor distribusi lajur dimanfaatkan dalam penentuan Equivalent Single Axle Load (ESAL).

Analisis pertumbuhan lalu lintas tahunan dilakukan berdasarkan data pergerakan kendaraan di ruas Karawang Barat–Karawang Timur pada periode 2003–2008 yang diperoleh dari PT Jasa Marga (Persero) serta hasil survei primer melalui traffic counting. Hasil analisis berupa volume lalu lintas harian dan tingkat pertumbuhan lalu lintas (dalam %) kemudian disesuaikan dengan klasifikasi kendaraan rencana, sesuai periode perhitungan.

Vehicle Damage Factor (VDF) atau faktor kerusakan jalan merupakan parameter penting dalam penentuan tebal perkerasan. Nilai VDF meningkat seiring bertambahnya berat kendaraan, terutama untuk kendaraan jenis truk yang mengalami kelebihan muatan (overload), sehingga nilai ESAL pun bertambah.

Beban lalu lintas pada perkerasan jalan memiliki karakteristik khusus yang membedakannya dari jenis beban pada konstruksi lain. Pemahaman atas karakteristik ini sangat diperlukan, terutama yang berkaitan dengan perencanaan perkerasan, kapasitas konstruksi, serta mekanisme kerusakan yang mungkin terjadi.

Sifat Beban Konstruksi Perkerasan Jalan

1. Beban utama yang diperhitungkan dalam perencanaan perkerasan adalah beban hidup berupa tekanan sumbu roda kendaraan (axle load). Beban mati, seperti berat sendiri lapisan perkerasan, umumnya diabaikan.
2. Kapasitas perkerasan dinyatakan dalam jumlah repetisi beban sumbu roda lalu



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.

lintas, yang dikonversikan ke dalam satuan standar Equivalent Axle Load (EAL) atau Equivalent Single Axle Load (ESAL). Beban standar yang digunakan adalah sumbu tunggal (single axle load) sebesar 18.000 lbs (18 kips atau 8,16 ton), yang dianggap setara dengan nilai kerusakan = 1 terhadap perkerasan.

3. Apabila kapasitas perkerasan (jumlah repetisi EAL/ESAL) telah tercapai atau terlampaui, maka kondisi perkerasan berubah dari mantap menjadi tidak mantap. Kondisi ini tidak serta merta berarti kegagalan (failure) atau keruntuhan (collapse), melainkan menandakan perlunya tindakan pemeliharaan seperti pelapisan ulang (overlay). Kerusakan total (failure/collapse) di lapangan biasanya terjadi akibat keterlambatan pemeliharaan, baik rutin maupun berkala, sehingga perkerasan tidak mampu lagi menahan beban lalu lintas

2.9.1.3 Formula Vehicle Damage Factor

Formula Vehicle Damage Factor (VDF) adalah suatu metode yang digunakan untuk menghitung tingkat kerusakan atau keparahan dalam insiden tabrakan kendaraan. Metode ini sering digunakan dalam investigasi kecelakaan lalu lintas untuk menentukan sejauh mana kendaraan atau kendaraan yang terlibat mengalami kerusakan. VDF dapat membantu para penyelidik, perusahaan asuransi, dan ahli rekayasa lalu lintas dalam mengevaluasi dampak kecelakaan.

1. Bina Marga

Mengacu pada buku Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur dan Manual Perkerasan Jalan dengan alat Benkelman beam No. 01/MN/BM/83 Bina Marga (MST 10), dimaksudkan damage factor didasarkan pada muatan sumbu terberat sebesar 10 ton, yang diijinkan bekerja pada satu sumbu roda belakang, yang umumnya pada jenis kendaraan truk. Formula ini dapat juga digunakan untuk menghitung VDF jika terjadi overloading

2. pada jenis kendaraan truk.

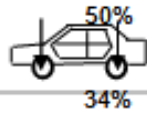

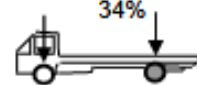
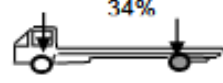

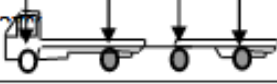
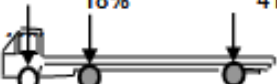
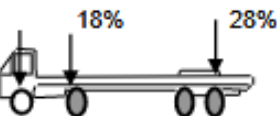
Angka ekivalen beban sumbu kendaraan adalah angka yang menyatakan perbandingan tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh suatu lintasan beban sumbu tunggal / ganda kendaraan terhadap tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh satu lintasan beban standar sumbu tunggal seberat 8,16 ton (18.000 lb).

Angka Ekivalen (E) masing-masing golongan beban sumbu (setiap kendaraan) ditentukan menurut rumus dibawah ini

$$\text{sumbu tunggal} = \left(\frac{\text{beban satu sumbu dalam kg}^4}{8160} \right) \dots\dots\dots(2.15)$$

$$\text{sumbu ganda} = 0,086 \left(\frac{\text{beban satu sumbu dalam kg}^4}{8160} \right) \dots\dots\dots(2.16)$$

Konfigurasi beban sumbu pada berbagai jenis kendaraan beserta angka ekivalen kendaraan dalam keadaan kosong (minimal) dan dalam keadaan bermuatan (maksimal) berdasar Manual No. 01/MN/BM/83, dapat dilihat pada **Tabel 2.11** Perkerasan Jalan Beton Semen Portland

KON FIGURASI SUMBU & TIPE	BERAT KOSONG (ton)	BEBAN MUATAN MAKS (ton)	BERAT TOTAL MAKS (ton)	UE 18 KSAL KOSONG	UE 18 KSAL MAKS	<div> <div>○</div> RODA TUNGGAL PADA UJUNG SUMBU <div>●</div> RODA GANDA PADA UJUNG SUMBU </div>
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. (2013). Perkerasan Jalan Beton Semen Portland)



3. Perhubungan Darat

Berdasarkan Surat Edaran Direktorat Jenderal Perhubungan Darat Nomor SE.02/AJ.108/DHUD/2008 tanggal 7 Mei 2008, telah ditetapkan batasan maksimum perhitungan JGI (Jumlah Berat yang Diizinkan) serta JBKI (Jumlah Berat Kombinasi yang Diizinkan) untuk kendaraan barang, kendaraan khusus, maupun kendaraan penarik dengan kereta tempelan atau gandengan. Dalam regulasi tersebut juga dijelaskan ketentuan konfigurasi sumbu kendaraan, yang disajikan pada Tabel 2.17.

4. NAASRA (National Association of Australian State Road Authorities) Nilai Angka Ekuivalen Beban Sumbu (E) yang digunakan oleh NAASRA, Australia, dengan formula berikut ini :

Sumbu tunggal, roda tunggal: $E = [\text{Beban sumbu tunggal, kg} / 5400]^4$

Sumbu tunggal, roda ganda: $E = [\text{Beban sumbu tunggal, kg} / 8200]^4$

Sumbu ganda, roda ganda: $E = [\text{Beban sumbu ganda, kg} / 13600]^4$

2.9.2 Pertimbangan Ekonomi

Dalam setiap proyek pembangunan jalan, perhitungan biaya merupakan aspek yang sangat penting karena harus memenuhi prinsip **efisiensi ekonomi**. Hal ini terutama berlaku pada pekerjaan peningkatan jalan, di mana terdapat sejumlah asumsi yang dijadikan dasar dalam analisis, antara lain:

1. Umur rencana

jangka waktu layanan jalan sebelum memerlukan perbaikan besar.

2. Tingkat pertumbuhan lalu lintas

perkiraan kenaikan jumlah kendaraan setiap tahun yang berpengaruh pada kekuatan perkerasan.

3. Tujuan pengelolaan jalan

menentukan jenis penanganan jalan, apakah berupa pembangunan baru, peningkatan, atau pemeliharaan.

2.10 Perencanaan Geometrik

Perencanaan geometrik adalah suatu proses perancangan dan penentuan parameter-parameter geometrik suatu infrastruktur atau prasarana, seperti jalan, jembatan, atau saluran air. Tujuan utama perencanaan geometrik adalah menciptakan



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.

suatu desain yang memenuhi kebutuhan teknis dan fungsional sambil mempertimbangkan aspek-aspek keselamatan, efisiensi operasional, dan lingkungan.

2.10.1 Definisi Jalan

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2022 yang merupakan perubahan kedua atas Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan, dijelaskan bahwa jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi seluruh bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap, penghubung, maupun perlengkapannya. Jalan dapat dibangun di atas permukaan tanah, bawah tanah, di atas air, atau di bawah permukaan air, dengan pengecualian jalan rel, lori, dan kabel.

Sistem jaringan jalan diartikan sebagai satu kesatuan ruas-ruas jalan yang saling terhubung, berfungsi menghubungkan pusat kegiatan, pusat pertumbuhan, serta simpul transportasi dengan wilayah sekitarnya dalam suatu struktur yang bersifat hierarkis.

Adapun perencanaan geometrik jalan merupakan bagian dari tahapan perencanaan konstruksi yang mencakup rancangan trase serta dimensi nyata jalan berikut komponennya. Dalam penyusunannya, perencanaan ini harus memperhatikan aspek teknis yang berkaitan dengan karakteristik pengemudi, kendaraan, serta arus lalu lintas

2.10.2 Komponen Utama Jalan

Agar mobilitas terjamin, kapasitas jalan meningkat, konstruksi dapat didukung, serta keselamatan pengguna terjaga, setiap jalan wajib dilengkapi dengan ruang jalan yang terdiri dari beberapa bagian utama sebagai berikut:

1. Area Guna Jalan (*Rumaja*)

Merupakan area yang meliputi badan jalan, saluran tepi untuk drainase permukaan, talud dari timbunan atau galian, serta ambang pengaman jalan. Batas Rumaja ditentukan hingga 5 meter di atas permukaan perkerasan pada sumbu jalan dan 1,5 meter di bawah muka jalan. Jika diperlukan, ruang beban jalan (*rubeja*) juga termasuk dalam bagian ini

2. Area Milik Jalan (*Rumija*)

Adalah ruang di sepanjang jalan dengan lebar setara Damaja, serta memiliki tinggi dan kedalaman tertentu. Ruang ini dipergunakan untuk menampung Rumaja, pelebaran jalan, penambahan jalur lalu lintas di masa mendatang, maupun kebutuhan terkait pengamanan jalan

3. Area Pengawasan Jalan (Ruwasja)

Terletak di luar Rumija dengan batas lebar dan tinggi tertentu. Fungsinya untuk menjaga pandangan bebas pengemudi, melindungi konstruksi jalan, serta memastikan jalan berfungsi secara optimal.



Gambar 2.18 Damaja, Damiya, dan Dawasja di Lingkungan Jalan Antar Kota

(Sumber: TPGJAK NO.038/T/BM/1997)

2.10.3 Penggolongan Jalan

Jalan merupakan prasarana yang berfungsi sebagai jalur pergerakan kendaraan serta pejalan kaki. Berdasarkan tujuan dan fungsinya, jalan dapat dikelompokkan ke dalam beberapa klasifikasi :

1. Klasifikasi Berdasarkan Peruntukan

Berdasarkan fungsinya, jalan dibagi menjadi dua kategori:

- Jalan Umum, Jalan yang diperuntukkan bagi lalu-lintas umum, baik kendaraan maupun pejalan kaki.
- Jalan Khusus, yakni jalan yang dibangun dengan tujuan melayani arus lalu lintas tertentu, terutama untuk mendukung distribusi barang serta jasa yang diperlukan masyarakat

2. Klasifikasi Berdasarkan Fungsi Berdasarkan fungsinya, jalan umum dapat dibagi menjadi empat jenis, yaitu:

a. Jalan Arteri

Jalan yang berfungsi untuk melayani angkutan jarak jauh, dengan kecepatan rata-rata tinggi dan jumlah akses masuk yang dibatasi secara efisien.

b. Jalan Kolektor, Jalan yang berperan untuk mengumpulkan dan membagikan arus lalu lintas, memiliki jarak perjalanan sedang, kecepatan rata-rata

menengah, dan jumlah akses masuk yang terbatas.

- Jalan Lokal, Jalan yang melayani lalu-lintas setempat atau lokal, dengan jarak perjalanan pendek, kecepatan rendah, dan jumlah akses masuk tidak dibatasi.
 - Jalan Lingkungan, yaitu jalan umum yang difungsikan untuk melayani pergerakan lalu lintas dalam kawasan permukiman atau lingkungan sekitarnya, dengan karakteristik perjalanan pendek serta kecepatan rendah
3. Klasifikasi Jalan Menurut Fungsinya

Dalam rangka pengaturan pemanfaatan jalan, klasifikasi jalan dapat dibedakan menjadi empat kelompok utama berdasarkan fungsi serta intensitas lalu lintasnya, yaitu sebagai berikut:

Tabel 2.12 Kelas Jalan Sesuai Penggunaannya

Kelas Jalan	Fungsi Jalan	Dimensi Kendaraan, m			Muatan Sumbu Terberat (MST)
Kelas I	Arteri, Kolektor	$\leq 2,55$	$\leq 18,0$	$\leq 4,2$	10
Kelas II	Arteri, Kolektor, Lokal, dan Lingkungan	$\leq 2,56$	$\leq 12,0$	$\leq 4,3$	8
Kelas III		$\leq 2,2$	$\leq 9,0$	$\leq 3,5$	8
Kelas Khusus	Arteri	$> 2,55$	$> 18,0$	$\leq 4,2$	> 10

(Sumber : PDGJ NO.13/P/BM/2021)

2.10.3.1 Klasifikasi Medan Jalan

Untuk Setiap klasifikasi medan memiliki ciri khas, baik dari segi bentuk fisik, unsur geometrik, maupun dari aspek operasional bagi pengguna jalan. Ciri-ciri tersebut saling berkaitan dan saling melengkapi. Tabel berikut menyajikan klasifikasi medan beserta kriterianya.

Tabel 2.13 Klasifikasi Medan Jalan.

No	Jenis Medan	Notasi	Kemiringan Medan*) %
1	Datar	D	< 10
2	Bukit	B	10 - 25
3	Gunung	G	> 25

Catatan: *) nilai kemiringan medan rata-rata per 50 m dalam satu kilometer

(Sumber : PDGJ NO.13/P/BM/2021)



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.

Dimana cara menentukan medan yaitu dengan rumus :

$$i = \frac{h \text{ titik kanan} - h \text{ titik kiri}}{L} \times 100\% \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana :

i = Kelandaian Melintang

h titik kanan = Elevasi pada titik kanan

h titik kiri = Elevasi pada titik kiri

2.10.4 Kecepatan Desain Jalan (VR)

Kecepatan rencana merupakan kecepatan yang dijadikan dasar dalam perencanaan geometrik jalan. Nilai ini ditetapkan agar kendaraan dapat melaju dengan aman dan nyaman, baik pada kondisi cuaca cerah, arus lalu lintas yang ringan, maupun dengan gangguan samping jalan yang rendah. Penentuan kecepatan rencana (VR) untuk tiap jenis jalan disesuaikan dengan fungsinya, sebagaimana ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 2.14 Kecepatan Rencana (VR)

Fungsi	Kecepatan Rencana		
	Datar	Bukit	Pegunungan
Arteri	70-120	60-80	40-70
Kolektor	60-90	50-60	30-50
Lokal	40-70	30-50	20-30

(Sumber: TPGJAK NO.038/T/BM/1997)

2.10.5 Aspek Geometri Jalan

Penentuan jumlah lajur dan arah arus lalu lintas pada suatu ruas jalan disesuaikan dengan tipe jalannya. Untuk jalan di luar kawasan perkotaan, beberapa konfigurasi lajur yang umum diterapkan antara lain:

2 lajur, 1 arah (2/1) 2 lajur, 2 arah tak terbagi (2/2 TB)

lajur, 2 arah tak terbagi (4/2 TB)

lajur, 2 arah terbagi (4/2 B)

lajur, 2 arah terbagi (6/2 B)

Bagian-Bagian Jalan

Beberapa elemen penting yang termasuk dalam bagian jalan adalah:

1. Lebar Jalur (W_c)

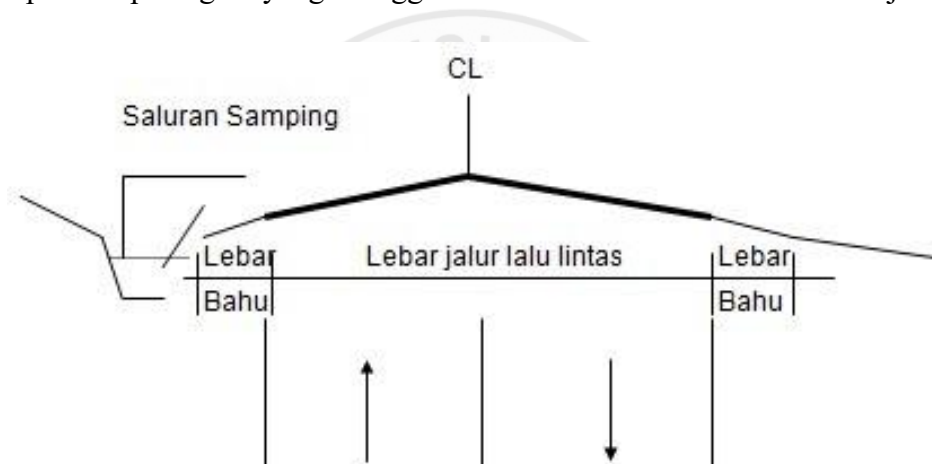
Lebar jalur (dalam meter) merupakan area yang dilalui kendaraan, tidak termasuk bahu jalan.

2. Lebar Bahu Jalan (W_s)

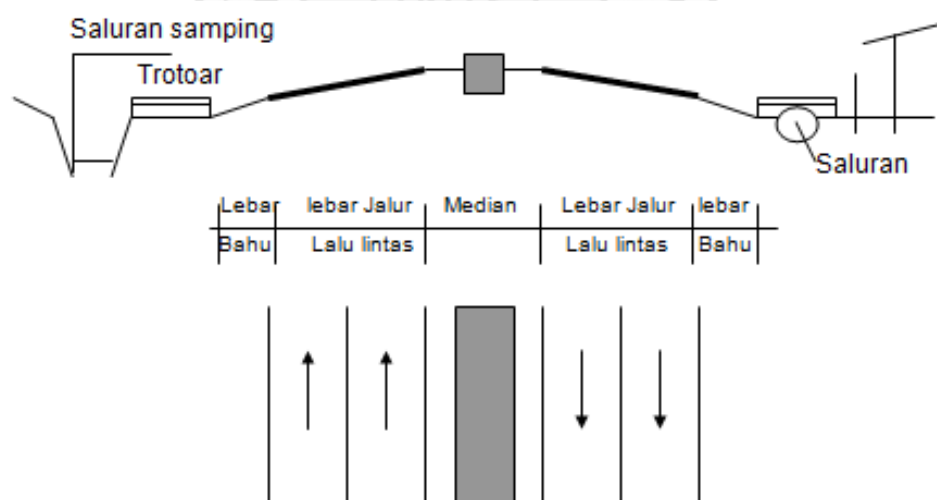
Bahu jalan (dalam meter) berada di sisi jalur, diperuntukkan bagi kendaraan yang berhenti sementara, pejalan kaki, atau kendaraan lambat.

3. Median (M)

Median adalah area yang memisahkan arah lalu lintas pada segmen jalan tertentu, dapat berupa bagian yang ditinggikan atau direndahkan sesuai desain jalan



Gambar 2.19 potongan melintang normal dan denah untuk jalan dengan konfigurasi 2 lajur, 2 arah tak terbagi (2/2 TB).



Gambar 2.20 potongan melintang normal dan denah untuk jalan dengan konfigurasi 4 lajur, 2 arah terbagi (4/2 B)



Tabel 2.15 Penentuan lebar jalur dan bahu jalan untuk berbagai tipe dan fungsi jalan

VLHR Smp / hari	Arteri				Kolektor				Lokal			
	Ideal		Min		Ideal		Min		Ideal		Min	
	Jalur	Bahu	Jalur	Bahu	Jalur	Bahu	Jalur	Bahu	Jalur	Bahu	Jalur	Bahu
<3000	6,0	1,5	4,5	1,0	6,0	1,5	4,5	1,0	6,0	1,0	4,5	1,0
3000 - 10000	7,0	2,0	6,0	1,5	7,0	1,5	6,0	1,5	7,0	1,5	6,0	1,0
10001 - 25000	7,0	2,0	7,0	2,0	7,0	2,0	Mengacu pada persyaratan ideal		Tidak ditentukan			
>25000	2n x 3,5	2,5	2 x 7,0	2,0	2n x 3,5	2,0						

(Sumber : TPGJAK)

2.11 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, memiliki daya cengkram yang baik, memenuhi standar geometri, dan efisien secara ekonomi. Oleh karena itu, Perlu dirancang suatu perkerasan yang dapat menanggung berbagai beban dari lalu lintas yang melintasi jalan tersebut.

Perencanaan perkerasan kaku (rigid pavement) pada Ruas Jalan Kota Baru harus memenuhi sejumlah kriteria desain agar konstruksi jalan dapat berfungsi sesuai harapan.

Selain itu dampak lingkungan dan tata guna lahan di sepanjang jalan juga diperhitungkan dalam proses perencanaan. Pertimbangan ini penting untuk mengantisipasi potensi masalah, baik yang bersifat sosial maupun teknis. Berikut merupakan kriteria desain yang dijadikan acuan dalam pembangunan jalan

2.11.1 Tanah dasar

Daya dukung tanah dasar ditentukan melalui pengujian CBR in-situ sesuai SNI 03-1731-1989 atau melalui CBR laboratorium sesuai SNI 03-1744-1989, masing-masing digunakan untuk perencanaan tebal perkerasan lama maupun perkerasan baru. Apabila nilai CBR tanah dasar kurang dari 2%, maka perlu dipasang pondasi bawah berupa beton kurus (Lean-Mix Concrete) setebal 15 cm, yang diasumsikan memiliki nilai CBR efektif sebesar 5%



2.11.2 Pondasi bawah

Bahan pondasi bawah dapat berupa Material berbutir, stabilisasi atau beton kurus giling padat (Lean Rolled Concrete), Campuran beton kurus (Lean-Mix Concrete).

Lapis pondasi bawah sebaiknya diperluas hingga 60 cm di luar tepi perkerasan beton semen. Untuk tanah ekspansif, diperlukan pertimbangan khusus terkait jenis material dan lebar lapisan pondasi dengan memperhitungkan tegangan akibat pengembangan tanah. Pemasangan lapis pondasi hingga ke tepi luar jalan merupakan salah satu langkah untuk mengurangi efek negatif dari perilaku tanah ekspansif.

2.11.3 Pondasi bawah material berbutir

Ketebalan lapis pondasi bawah untuk tanah dasar dengan nilai CBR minimal 5% ditetapkan 15 cm. Tingkat kepadatan minimum lapisan pondasi bawah harus mencapai 100%, sesuai dengan ketentuan SNI 03-1743-1989

2.11.4 Pondasi bawah dengan bahan pengikat (Bound Sub-base)

Pondasi bawah dengan bahan pengikat (BP) dapat dibuat menggunakan salah satu metode berikut: Stabilisasi material berbutir dengan kadar bahan pengikat yang ditentukan melalui perencanaan, sehingga campuran memiliki kekuatan yang cukup dan tahan terhadap erosi. Bahan pengikat yang digunakan dapat berupa semen, kapur, abu terbang, atau slag yang telah dihaluskan.

2.11.5 Pondasi bawah dengan campuran beton kurus (Lean-Mix Concrete)

Campuran Beton Kurus (CBK) direncanakan memiliki kekuatan tekan karakteristik minimal 5 MPa (50 kg/cm²) pada umur 28 hari tanpa penggunaan abu terbang, atau 7 MPa (70 kg/cm²) bila menggunakan abu terbang, dengan ketebalan lapisan sekurang-kurangnya 10 cm

2.11.6 Beton semen

Kekuatan beton sebaiknya dinyatakan dalam bentuk kuat tarik lentur (flexural strength) pada umur 28 hari, diperoleh melalui pengujian balok dengan metode pembebanan tiga titik sesuai ASTM C-78, dengan nilai tipikal berkisar antara 3–5 MPa (30–50 kg/cm²). Untuk beton yang diperkuat serat—seperti serat baja, aramid, atau karbon—kuat tarik lentur harus mencapai 5–5,5 MPa (50–55 kg/cm²). Kekuatan desain



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.

sebaiknya dinyatakan sebagai kuat tarik lentur karakteristik, dibulatkan ke nilai terdekat 0,25 MPa (2,5 kg/cm²).

2.11.7 Lalu-lintas

Beban lalu-lintas rencana untuk perkerasan beton semen ditentukan berdasarkan jumlah sumbu kendaraan niaga (commercial vehicle), sesuai dengan konfigurasi sumbu pada lajur yang direncanakan selama umur rencana jalan. Analisis lalu-lintas dilakukan menggunakan data volume kendaraan dan konfigurasi sumbu, mengacu pada data terbaru atau data dua tahun terakhir. Kendaraan yang diperhitungkan untuk perencanaan perkerasan beton semen adalah kendaraan dengan berat total minimum 5 ton. Konfigurasi sumbu yang digunakan untuk perencanaan dibagi menjadi empat kelompok, yaitu

1. Sumbu tunggal roda tunggal (STRT)
2. Sumbu tunggal roda ganda (STRG)
3. Sumbu tandem roda ganda (STdRG)
4. Sumbu tridem roda ganda (STrRG)

2.11.8 Lajur rencana dan koefisien distribusi

Lajur rencana adalah salah satu lajur pada ruas jalan yang menampung volume kendaraan niaga terbesar. Apabila jalan tidak memiliki marka batas lajur, jumlah lajur dan koefisien distribusi (C) kendaraan niaga dapat ditentukan berdasarkan lebar perkerasan, sebagaimana tercantum pada Tabel 2.1

2.11.9 Umur rencana

Umur rencana perkerasan jalan ditetapkan berdasarkan klasifikasi fungsional jalan, pola lalu-lintas, serta pertimbangan ekonomi jalan terkait. Penentuan umur rencana dapat dilakukan menggunakan metode seperti Benefit-Cost Ratio, Internal Rate of Return, kombinasi keduanya, atau metode lain yang menyesuaikan dengan pola pengembangan wilayah. Secara umum, perkerasan beton semen direncanakan dengan umur rencana antara 20 hingga 40 tahun

2.11.10 Pertumbuhan lalu-lintas

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



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

$$\text{Faktor Pertumbuhan (R)} = \frac{(1 + i)^{UR} - 1}{i}$$

Dengan pengertian :

R : Faktor pertumbuhan lalu lintas

i : Laju pertumbuhan lalu lintas per tahun dalam %.

UR : Umur rencana (tahun)

2.11.11 Lalu-lintas rencana

Lalu-lintas rencana adalah jumlah kumulatif sumbu kendaraan niaga pada lajur rencana selama umur rencana, meliputi proporsi sumbu serta distribusi beban pada setiap jenis sumbu kendaraan. Beban pada suatu jenis sumbu secara tipikal dikelompokkan dalam interval 10 kN (1 ton) bila diambil dari survai beban. Jumlah sumbu kendaraan niaga selama umur rencana dihitung dengan rumus berikut :

$$JSKN = JSKNH \times 365 \times R \times C$$

Dengan pengertian :

JSKN : Jumlah total sumbu kendaraan niaga selama umur rencana .

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

R : Faktor pertumbuhan komulatif dari Rumus (5) atau Tabel 3 atau Rumus (6), yang besarnya tergantung dari pertumbuhan lalu lintas tahunan dan umur rencana.

C : Koefisien distribusi kendaraan

2.11.12 Faktor keamanan beban

Dalam penentuan beban rencana, beban setiap sumbu dikalikan dengan faktor keamanan beban (FKB). Faktor ini diterapkan untuk mempertimbangkan berbagai tingkat keandalan perencanaan, sebagaimana tercantum pada Tabel 2.2.

2.11.13 Bahu Jalan

Bahu jalan dapat dibangun menggunakan lapisan pondasi bawah, baik dengan atau tanpa lapisan penutup berupa aspal atau beton semen. Perbedaan kekuatan antara bahu dan jalur lalu-lintas utama dapat memengaruhi kinerja perkerasan. Untuk mengatasinya, digunakan bahu beton semen, yang mampu meningkatkan kinerja perkerasan sekaligus memungkinkan pengurangan ketebalan pelat. Dalam pedoman ini, bahu beton semen didefinisikan sebagai bahu yang dikunci dan diikat pada lajur



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.

lalu-lintas dengan lebar minimum 1,50 m, atau bahu yang menyatu dengan lajur lalu-lintas selebar 0,60 m, termasuk saluran dan kereb jika ada.

2.11.14 Sambungan memanjang dengan batang pengikat (tie bars)

Pemasangan sambungan memanjang bertujuan untuk mengontrol retak yang terjadi sejajar arah panjang pelat. Jarak antar sambungan ini berkisar antara 3 hingga 4 meter. Setiap sambungan memanjang harus dipasang batang ulir dengan mutu minimal BJTU-24 dan diameter 16 mm. Besaran batang pengikat ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$A_t = 204 \times b \times h \text{ dan}$$

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

Dengan pengertian :

$$A_t = \text{Luas penampang tulangan per meter panjang sambungan (mm}^2\text{)}.$$

$$b = \text{Jarak terkecil antar sambungan atau jarak sambungan dengan tepi perkerasan (m)}.$$

$$h = \text{Tebal pelat (m)}.$$

$$l = \text{Panjang batang pengikat (mm)}.$$

$$\phi = \text{Diameter batang pengikat yang dipilih (mm)}.$$

Jarak batang pengikat yang digunakan adalah 75 cm.

2.11.15 Perkerasan Beton Bersambung Tanpa Tulangan (BBTT) / Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP).

Jenis perkerasan beton semen yang di buat tanpa tulangan dengan ukuran pelat mendekati bujur sangkar, di mana panjang dari pelatnya dibatasi oleh adanya sambungan-sambungan melintang guna mencegah retak beton. Umumnya perkerasan ini lebarnya 1 lajur dengan panjang 4 – 5 m. Perkerasan ini tidak menggunakan tulangan, namun menggunakan ruji (dowel) dan batang pengikat (tie bar). Sambungan ini harus dilengkapi dengan ruji polos panjang 45 cm, jarak antara ruji 30 cm, lurus dan bebas dari tonjolan tajam yang akan mempengaruhi gerakan bebas pada saat pelat beton menyusut.

2.11.16 Material dan Biaya

menentukan jenis material yang akan digunakan serta estimasi biaya untuk memastikan bahwa proyek tetap dalam anggaran yang telah ditetapkan. Dengan



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

mengikuti kriteria desain ini, perencanaan struktur perkerasan kaku dapat dilakukan secara efektif, memastikan bahwa jalan yang dibangun dapat memenuhi

2.12 Penyusunan Rencana Anggaran Biaya

Penyusunan anggaran biaya dilakukan dengan mengikuti prinsip-prinsip umum perencanaan anggaran. Setelah ketebalan perkerasan untuk tiap jenis perkerasan ditetapkan, volume pekerjaan dihitung berdasarkan data teknis jalan dan ketebalan perkerasan yang telah ditentukan. Perhitungan anggaran biaya untuk ketebalan perkerasan Jalan Kota Baru menggunakan acuan dari buku Analisis Harga Satuan Pekerjaan (Engineers Estimate/EE) Dinas Pekerjaan Umum (SNI) tahun 2024.

2.12.1 Harga Satuan Pekerjaan

satuan pekerjaan adalah jumlah harga bahan dan upah tenaga kerja atau harga yang harus di bayar untuk menyelesaikan suatu pekerjaan konstruksi berdasarkan perhitungan analisis. Analisis di sini adalah ketentuan umum yang ditetapkan oleh dinas pekerjaan umum kabupaten indragiri hilir. Dalam analisis satuan komponen, telah ditetapkan koefisien (indeks) jumlah tenaga kerja, baha dan alat untuk satu satuan pekerjaan.

2.12.1.1 Analisis Harga Satuan (HSD)

alam penyusunan Harga Satuan Pekerjaan (HSP), komponen yang diperlukan mencakup biaya tenaga kerja (HS tenaga kerja), biaya alat (HSD alat), dan biaya bahan (HSD bahan). Langkah-langkah perhitungan HSD untuk masing-masing komponen HSP dijelaskan berdasarkan pedoman Nasional (2012)

2.12.1.2 Prosedur Perhitungan HSD Tenaga Kerja

Dalam perhitungan Harga Satuan Pekerjaan (HSP), tahap awal adalah menetapkan rujukan harga standar upah sebagai HSD tenaga kerja. Menurut Sihombing (2017), langkah-langkah perhitungan HSD tenaga kerja dimulai dengan menentukan jenis keterampilan tenaga kerja, misalnya pekerja (P), tukang (Tx), mandor (M), atau kepala tukang (KaT).

1. Kumpulkan data upah sesuai dengan peraturan daerah (Gubernur, Walikota, Bupati) yang berlaku, serta data survei upah di lokasi sekitarnya.
2. Jika tenaga kerja didatangkan dari luar daerah, perhitungkan biaya tambahan



seperti makan, penginapan, dan transportasi.

3. Tentukan jumlah hari efektif kerja dalam sebulan (umumnya 24–26 hari) dan jumlah jam kerja efektif per hari (± 7 jam).
4. Hitung biaya upah per jam untuk setiap pekerja.
5. Hitung rata-rata biaya upah per jam dari semua tenaga kerja sebagai upah standar per jam

2.12.1.3 Prosedur Perhitungan Harga Satuan Dasar (HSD) Alat

Analisis HSD alat membutuhkan data utama meliputi upah operator atau sopir, spesifikasi alat (tenaga mesin, kapasitas kerja dalam m^3 , umur ekonomis menurut pabrik, jam kerja tahunan, dan harga perolehan). Selain itu, perhitungan juga memasukkan komponen investasi seperti suku bunga, asuransi, serta faktor khusus alat, misalnya faktor bucket pada excavator atau loader, dan parameter teknis lain yang relevan.

2.12.1.4 Prosedur Perhitungan Harga Satuan Dasar (HSD) Bahan

Prosedur penentuan Harga Satuan Dasar (HSD) Bahan dimulai dengan menetapkan rujukan harga standar bahan per satuan ukuran. Analisis HSD bahan membutuhkan data harga bahan baku, biaya transportasi, serta biaya pengolahan bahan menjadi bahan olahan atau siap pakai. Proses produksi sering melibatkan beberapa alat, sehingga kapasitas setiap alat dihitung per satuan waktu, memperhitungkan kapasitas nominal, faktor efisiensi, faktor tambahan, dan waktu siklus alat.

HSD bahan mencakup harga bahan baku, HSD bahan olahan, dan HSD bahan jadi. Perhitungan untuk bahan yang diambil dari quarry dibedakan menjadi dua kategori: bahan baku, seperti batu kali/gunung atau pasir sungai/gunung, dan bahan olahan, seperti agregat kasar dan halus hasil pemecahan batu.

Harga bahan di quarry berbeda dengan harga di lokasi pekerjaan karena perlu ditambahkan biaya transportasi dari quarry ke basecamp atau tempat proyek.

2.13 Pengaruh Kondisi Hujan terhadap Stabilitas Struktur Jalan

Perencana perkerasan harus mempertimbangkan pengaruh musim hujan terhadap pelaksanaan konstruksi, terutama di area rendah yang mudah tergenang. Mengingat pekerjaan konstruksi tidak selalu dapat dilakukan pada musim kemarau, desain sebaiknya mengacu pada kondisi tanah dasar saat musim hujan.



2.14.1 Pengaruh Kenaikan Air Pasang

Material penyusun perkerasan jalan sangat dipengaruhi oleh kadar air dan kondisi lingkungan. Kelembaban yang tinggi akibat genangan air dalam struktur perkerasan untuk jangka waktu lama dapat menurunkan kinerja perkerasan. Hal ini terjadi karena peningkatan kadar air mengurangi kekuatan dan kekakuan material granular (tidak terikat) serta memicu pengembangan tanah dasar. Selain itu, material granular seperti lapis pondasi dan pondasi bawah bisa tercemar oleh partikel halus dari tanah dasar yang terangkat oleh air. Kondisi tanah dasar yang basah secara berkepanjangan akan menurunkan daya dukungnya, sehingga mempengaruhi kinerja jangka panjang struktur perkerasan.

Secara khusus, kelembaban atau kadar air mempengaruhi tanah dasar melalui dua mekanisme utama (FHWA, 2006):

1. Pengaruh terhadap kedudukan tegangan

Isapan dan tekanan air pori memengaruhi modulus material berbutir, baik kasar maupun halus. Nilai modulus pada kondisi kering dapat mencapai hingga lima kali lipat dibandingkan kondisi basah. Efek ini sangat signifikan pada tanah lempung, di mana peningkatan kadar air akan menurunkan modulus secara drastis.

2. Pengaruh terhadap susunan tanah dan lendutan

Gangguan pada partikel tanah akibat peningkatan kadar air memengaruhi lendutan perkerasan akibat beban lalu-lintas. Tanah dasar yang basah menurunkan daya dukungnya sehingga perkerasan di atasnya akan mengalami lendutan berlebih, terutama saat dilalui kendaraan berat. Penurunan daya dukung akibat kelembaban sangat dominan pada tanah lempung, sedangkan tanah granular seperti pasir relatif tidak terlalu terpengaruh

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