

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Definisi Umum

Menurut (Rachardi & Kurniawan, 2019) Jalan merupakan salah satu elemen krusial dalam infrastruktur transportasi yang memiliki peran fundamental dalam menunjang kelancaran sistem mobilisasi baik untuk orang maupun barang. Sebagai sarana penghubung antar wilayah, kualitas jalan mencerminkan kematangan suatu daerah dalam hal pembangunan infrastruktur, yang pada gilirannya mempengaruhi pertumbuhan ekonomi, sosial, dan kesejahteraan masyarakat. Salah satu jenis konstruksi jalan yang banyak diterapkan adalah perkerasan jalan kaku, yang terdiri dari lapisan beton semen yang dirancang untuk menahan beban lalu lintas yang berat dan memberikan ketahanan terhadap kerusakan akibat faktor lingkungan. Jalan kaku memiliki keunggulan dalam hal daya dukung, *durabilitas*, serta perawatan yang relatif lebih mudah dibandingkan dengan jenis perkerasan lainnya. Dengan demikian, perkerasan jalan kaku memainkan peran vital dalam menciptakan jaringan transportasi yang efisien dan berkelanjutan, yang mendukung kelancaran aktivitas ekonomi serta mobilisasi masyarakat secara umum. Penelitian mengenai perkerasan jalan kaku penting untuk meningkatkan pemahaman terkait teknik konstruksi, evaluasi kinerja, serta optimalisasi desain jalan guna memenuhi tuntutan beban lalu lintas yang semakin meningkat seiring dengan perkembangan suatu daerah..

2.1.1. Kapasitas Jalan

Menurut (Direktorat Bina Marga, 2024), kapasitas jalan adalah jumlah maksimum kendaraan yang dapat melewati suatu ruas jalan dalam periode waktu tertentu, biasanya diukur dalam satuan satuan mobil per jam (smp/jam) atau kendaraan per jam (vph), tanpa mengurangi kualitas perjalanan atau menyebabkan kemacetan yang berarti. Kapasitas jalan dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk kondisi geometrik jalan seperti lebar jalur, jumlah lajur, dan jenis jalan (misalnya jalan bebas hambatan atau jalan perkotaan). Selain itu, karakteristik arus lalu lintas seperti volume kendaraan, kecepatan rata-rata kendaraan, dan tingkat kepadatan

lalu lintas juga memainkan peran penting dalam menentukan kapasitas jalan. Faktor samping lainnya, seperti adanya kendaraan yang parkir, persimpangan jalan, atau aktivitas lain yang mengganggu kelancaran arus lalu lintas, turut mempengaruhi kapasitas jalan. Kapasitas jalan juga bisa berbeda-beda berdasarkan jenis kendaraan yang melewati jalan tersebut, karena kendaraan berat seperti truk atau bus membutuhkan ruang lebih besar dan cenderung bergerak lebih lambat dibandingkan kendaraan pribadi. Untuk menghitung kapasitas jalan secara akurat, digunakan pedoman atau model tertentu seperti Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 atau Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2021, yang mempertimbangkan berbagai parameter teknis dan operasional untuk memastikan bahwa kapasitas jalan yang dihitung sesuai dengan kondisi nyata di lapangan. Namun untuk penelitian ini digunakan MKJI 1997 sebagai rujukan analisis rencana lebar jalan.

2.1.2. Perkerasan Jalan

Menurut (Maharani & Wasono, 2018), perkerasan jalan merupakan lapisan material yang dibangun di atas tanah untuk menunjang lalu lintas kendaraan, memberikan kekuatan, stabilitas, dan ketahanan terhadap beban dan cuaca. Lapisan perkerasan ini dapat berupa aspal, beton, atau bahan lain yang diletakkan berlapis-lapis untuk mendistribusikan beban kendaraan secara merata dan mencegah kerusakan pada dasar jalan.

Menurut (Delu, 2024) Jalan sebagai salah satu elemen utama dalam infrastruktur perhubungan darat memegang peranan yang sangat strategis dalam berbagai aspek kehidupan, baik itu dalam bidang ekonomi, sosial budaya, maupun keamanan nasional. Fungsinya yang sangat vital mendukung mobilisasi barang dan orang, yang pada gilirannya mendorong pertumbuhan perekonomian daerah maupun nasional. Selain itu, jalan juga memiliki kontribusi besar terhadap perkembangan sosial budaya, karena memudahkan interaksi antar masyarakat yang beragam, mempererat hubungan antar wilayah, dan memperluas akses terhadap berbagai fasilitas dan layanan publik. Tak kalah penting, jaringan jalan yang baik mendukung sektor pariwisata, karena memudahkan akses menuju tempat-tempat wisata, serta berperan dalam memajukan daerah-daerah yang sebelumnya kurang dikenal. Lebih jauh lagi, jalan juga memiliki peranan penting dalam menjaga

stabilitas pertahanan dan keamanan negara, karena memungkinkan mobilisasi pasukan dan distribusi logistik dalam situasi darurat. Semua aspek ini sejalan dengan tujuan pembangunan nasional yang tercantum dalam Undang-Undang No. 13 Tahun 1980 serta Peraturan Pemerintah No. 26 Tahun 1985, yang mengatur tentang pembangunan dan pengelolaan jalan sebagai sarana vital untuk mendukung kemajuan bangsa.

Fungsi utama dari konstruksi jalan menurut (Junia et al., 2020) adalah menyediakan sarana transportasi yang efisien, yang tidak hanya berfungsi untuk menyalurkan beban lalu lintas, tetapi juga untuk memastikan kelancaran, kenyamanan, dan keselamatan pengendara. Secara rinci, beberapa fungsi utama dari konstruksi jalan adalah sebagai berikut:

1. Menyalurkan Beban Lalu Lintas: Konstruksi jalan dirancang untuk menanggung beban dari berbagai jenis kendaraan, baik yang ringan maupun berat, agar dapat bertahan dalam jangka waktu yang lama tanpa mengalami kerusakan yang signifikan. Jalan yang kuat dan tahan lama akan mendukung kelancaran arus lalu lintas dan mengurangi biaya pemeliharaan.
2. Menyediakan Permukaan yang Rata dan Nyaman: Salah satu syarat utama jalan adalah memiliki permukaan yang halus dan rata. Hal ini penting untuk mengurangi gangguan yang dapat dirasakan oleh pengendara, seperti guncangan atau getaran, yang dapat memengaruhi kenyamanan dan keselamatan perjalanan.
3. Meningkatkan Aksesibilitas: Jalan yang baik tidak hanya memperlancar mobilisasi penduduk, tetapi juga memungkinkan distribusi barang dan jasa antarwilayah, yang pada gilirannya mendukung pertumbuhan ekonomi daerah dan memfasilitasi interaksi sosial antar masyarakat. Keberadaan jalan yang menghubungkan berbagai wilayah juga dapat mempercepat proses pembangunan dan pemerataan kesejahteraan.
4. Menjaga Keamanan Lalu Lintas: Desain jalan yang baik tidak hanya mengutamakan kelancaran arus lalu lintas, tetapi juga meminimalkan potensi terjadinya kecelakaan. Pengaturan jalur lalu lintas, fasilitas keselamatan seperti rambu-rambu dan marka jalan, serta struktur jalan yang stabil dan sesuai standar akan meningkatkan faktor keamanan bagi para pengguna jalan.

Jalan memiliki beberapa klasifikasi umum menurut (Pandey & Lalamentik, 2014) pada (“Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 Tentang Jalan,” 2004) dan (“Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 34 Tahun 2006 Tentang Jalan,” 2006) jalan dibagi menjadi empat yaitu pembagian menurut sistemnya, fungsi, status dan spesifikasi kelas jalan yang ada. Berikut merupakan penjelasan terkait klasifikasi jalan,

1. Pembagian menurut sistem

1) Sistem Jaringan Jalan Primer

Sistem jaringan jalan yang berperan sebagai fasilitas yang mendukung distribusi barang dan jasa, serta berkontribusi pada perkembangan wilayah di tingkat nasional dengan menghubungkan berbagai pusat kegiatan distribusi.

2) Sistem jaringan jalan sekunder

Sistem jaringan jalan yang berperan dalam mendukung distribusi barang dan jasa bagi masyarakat yang berada di area perkotaan.

2. Pembagian menurut Fungsi

1) Jalan Arteri

Jalan umum yang dirancang untuk melayani angkutan utamayang memiliki karakteristik perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, dan pembatasan jumlah akses masuk agar lebih efisien.

2) Jalan Kolektor

Jalan umum yang berfungsi untuk melayani angkutan pengumpul atau pembagi, dengan karakteristik perjalanan jarak menengah, kecepatan rata-rata sedang, dan pembatasan jumlah akses masuk.

3) Jalan Lokal

Jalan umum yang berfungsi untuk melayani angkutan setempat, dengan karakteristik perjalanan jarak pendek, kecepatan rata-rata rendah, dan akses masuk yang tidak dibatasi.

4) Jalan Lingkungan

Jalan umum yang berfungsi untuk melayani angkutan lingkungan, dengan karakteristik perjalanan jarak pendek dan kecepatan rata-rata rendah.

3. Pembagian menurut Status

1) Jalan Nasional

Jalan arteri dan jalan kolektor dalam sistem jaringan jalan utama yang menghubungkan antar ibu kota provinsi, jalan strategis nasional, dan jalan tol.

2) Jalan Provinsi

Jalan kolektor dalam sistem jaringan jalan utama yang menghubungkan ibu kota provinsi dengan ibu kota kabupaten atau kota, antar ibu kota kabupaten atau kota, dan jalan strategis provinsi.

3) Jalan kabupaten

Jalan lokal dalam sistem jaringan jalan utama atau primer yang tidak termasuk dalam Jalan Nasional maupun Jalan Provinsi, yang menghubungkan ibu kota kabupaten dengan ibu kota kecamatan, antar ibu kota kecamatan, ibu kota kabupaten dengan pusat kegiatan lokal, antar pusat kegiatan lokal, dan jalan umum dalam sistem jaringan jalan sekunder di wilayah kabupaten dan jalan strategis kabupaten.

4) Jalan Kota

Jalan umum dalam sistem jaringan jalan sekunder yang menghubungkan antar pusat pelayanan dengan lahan, antar lahan, dan juga antar pusat permukiman yang berada di dalam kota.

5) Jalan Desa

Jalan umum yang menghubungkan kawasan dan/atau antar permukiman di dalam desa, serta jalan lingkungan

4. Pembagian menurut Kelas Jalan berdasarkan spesifikasi prasarana jalan

1) Jalan Bebas hambatan

Jalan yang memiliki kontrol akses penuh, tanpa adanya persimpangan sebidang, dilengkapi dengan pagar pembatas jalur, dilengkapi median, serta memiliki setidaknya dua lajur di setiap arah, dengan lebar minimum 3,5 meter per lajur.

2) Jalan Raya

Jalan umum yang dirancang untuk mendukung kelancaran arus lalu lintas dengan pembatasan akses masuk, dilengkapi dengan median, memiliki

minimal dua lajur di setiap arah, dan lebar lajur sekurang-kurangnya 3,5 meter.

3) Jalan Sedang

Jalan umum yang dirancang untuk melayani arus lalu lintas dengan jarak menengah, tanpa pembatasan akses masuk, memiliki minimal dua lajur untuk kedua arah, dan lebar jalan sekurang-kurangnya 7 meter.

4) Jalan Kecil

Jalan umum yang digunakan untuk mendukung lalu lintas lokal, memiliki minimal dua lajur untuk dua arah, dengan lebar setiap lajur sekurang-kurangnya 5,5 meter.

2.2. Penelitian Terdahulu

1. Jurnal Pertama

(Aldilase et al., 2014), Analisa Dan Perencanaan Peningkatan Jalan Alternatif Manyaran – Mijen.

Metode Penelitian

“Kota Semarang, sebagai pusat kegiatan ekonomi dan sosial, terus menghadapi tantangan terkait pergerakan kendaraan yang memerlukan dukungan infrastruktur jalan yang memadai. Salah satu ruas yang penting adalah Jalan Manyaran – Mijen, yang berfungsi sebagai jalur alternatif penghubung antara Kecamatan Manyaran dan Kecamatan Mijen. Berdasarkan hasil analisis dan perencanaan peningkatan jalan dengan umur rencana 10 tahun, diperoleh nilai *Degree of Saturation* (DS) eksisting sebesar 0,75. Untuk mengatasi kepadatan lalu lintas, direncanakan pelebaran jalan dari semula 6 meter menjadi 7 meter, dengan bahu jalan 2 meter (2/2 UD) dan penambahan overlay. Perencanaan ruas Jalan Manyaran – Mijen ini menggunakan jenis struktur perkerasan lentur (*flexible pavement*) dengan metode Analisa Komponen, SKBI-2.3.26.1987 dari Departemen Pekerjaan Umum atau metode Bina Marga. Data yang diperlukan dalam perencanaan ini mencakup data lalu lintas, data CBR tanah dasar, serta data curah hujan yang digunakan untuk menentukan faktor regional. Konstruksi peningkatan jalan ini meliputi lapisan perkerasan baru dengan ketebalan 10 cm Laston, 15 cm batu pecah Kelas B (dengan nilai

CBR 80%), dan 20 cm sirtu Kelas B (dengan nilai CBR 50%). Sedangkan untuk overlay, diperoleh ketebalan 12 cm Laston, yang akan meningkatkan kekuatan dan daya dukung jalan tersebut”.

2. Jurnal Kedua

(Lalenoh et al., 2015), Analisa Kapasitas Ruas Jalan Sam Ratulangi Dengan Metode MKJI 1997 Dan PKJI 2014

Metode penelitian

“Berbagai metode dapat digunakan untuk menganalisis kinerja ruas jalan, di antaranya adalah Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 dan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2014. PKJI 2014 merupakan pembaruan dari MKJI 1997 yang sudah lama diterapkan untuk evaluasi kinerja jalan. Membandingkan hasil analisis kinerja jalan menggunakan kedua metode tersebut. Proses pengambilan data dilakukan selama enam hari, dengan interval pengamatan setiap 5 menit. Lokasi yang dianalisis adalah ruas jalan Sam Ratulangi, yang dibagi menjadi tiga segmen dengan kondisi jalan yang berbeda-beda. Ruas jalan Sam Ratulangi memiliki dua lajur dua arah tanpa median (2/2 UD). Berdasarkan hasil analisis data pada salah satu segmen, yaitu di depan supermarket Fiesta, dengan menggunakan MKJI 1997 diperoleh kapasitas sebesar 2895 smp/jam, volume puncak segmen sebesar 2095 smp/jam, derajat kejenuhan 0,72, kecepatan rata-rata 36,49 km/jam, dan kecepatan arus bebas 39,99 km/jam. Sedangkan dengan metode PKJI 2014, kapasitas yang dihitung adalah 2895 skr/jam, dengan volume puncak segmen yang sama yaitu 2095 skr/jam, derajat kejenuhan 0,72, kecepatan rata-rata 36,49 km/jam, dan kecepatan arus bebas 39,99 km/jam. Meskipun terdapat perbedaan satuan antara kedua metode, hasil analisis kinerja yang diperoleh menunjukkan nilai yang sama”.

3. Jurnal Ketiga

(Merentek et al., 2016). Evaluasi Perhitungan Kapasitas Menurut Metode MKJI 1997 Dan Metode Perhitungan Kapasitas Dengan Menggunakan Analisa Perilaku Karakteristik Arus Lalu Lintas Pada Ruas Jalan Antar Kota (Studi : Manado – Bitung),

Metode penelitian

“Untuk mengevaluasi kinerja ruas jalan Manado - Bitung, langkah pertama yang harus dilakukan adalah menentukan kapasitas jalan tersebut. Penentuan kapasitas jalan ini dapat dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu menggunakan metode MKJI 1997 dan metode analisis karakteristik arus lalu lintas yang meliputi volume (*flow*), kecepatan (*speed*), dan kepadatan (*density*), atau dengan pemodelan matematis seperti *Greenshields*, *Greenberg*, dan *Underwood*. Kapasitas yang dihitung menggunakan model *Greenshields*, *Greenberg*, dan *Underwood* diperoleh dengan mencari hubungan matematis antara volume, kecepatan, dan kepadatan, serta menentukan koefisien determinasi (R^2) tertinggi berdasarkan data dari tiga hari survei. Sedangkan untuk perhitungan kapasitas dengan metode MKJI, didapatkan nilai kapasitas (VM) sebesar 2883 smp/jam. Berdasarkan perhitungan dari ketiga model yang paling mendekati dengan perhitungan MKJI 1997 adalah model *Underwood* dengan Kapasitas (VM) = 2855.447467 smp/jam”.

4. Jurnal Keempat

(Imani, Nurul, 2017), Desain Ulang Peningkatan Ruas Jalan babat – Bts. Jombang STA 12+000 – 15+000 Kabupaten lamongan Provinsi Jawa Timur dengan menggunakan Perkerasan Kaku

Metode penelitian

“Desain ulang Peningkatan jalan Ruas Jalan babat – Bts. Jombang STA 12+000 – 15+000 Kabupaten lamongan Provinsi Jawa Timur diperlukan untuk bahan kajian akan mengevaluasi kesalahan rencana sebelumnya yang bisa saja mengakibatkan kesalahan yang cukup fatal karena tidak direncanakan secara detail. Dari hasil analisa kapasitas jalan untuk umur 20 dengan kondisi eksisting 2/2 UD lebar jalan 3/5m/lajur diperoleh $DS > 0.75$, maka pelebaran dilakukan dengan pelebaran 3m tiap lajur dengan 4/2 D dan lebar 3m tiap lajur. Tebal perkerasan rigid 28cm dan tebal bahu 30cm dengan pondasi beton kurus LC, dengan perkerasan menggunakan ruji/dowel dan dipergunakan drainase *U-ditch*. Rencana anggaran dalam peningkatan jalan mencapai Rp33.114.000.000,-“.

5. Jurnal Kelima

(Dharmawan et al., 2019), Analisa Kinerja Ruas Jalan Menggunakan Metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997

Metode penelitian

“Ruas jalan Walanda Maramis merupakan salah satu jalan yang padat arus lalu lintasnya di kota Manado. Kepadatan ini disebabkan oleh posisi jalan yang terletak di area perkotaan dengan banyaknya toko, restoran, serta tempat-tempat yang sering dikunjungi masyarakat. Aktivitas yang tinggi di sepanjang jalan menyebabkan berbagai gangguan, seperti pejalan kaki yang melintas, kendaraan yang berhenti atau parkir, serta kendaraan yang bergerak lambat atau keluar-masuk dari sisi jalan. Ruas jalan yang dianalisis memiliki panjang 195 meter, dengan lebar jalur 9,6 meter pada titik pertama dan 10 meter pada titik kedua. Namun, kondisi di lapangan menunjukkan bahwa lebar jalur berkurang akibat adanya parkir kendaraan di badan jalan. Untuk mengevaluasi kinerja jalan ini, digunakan pendekatan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997. Data primer yang diperlukan antara lain volume lalu lintas, hambatan samping, waktu tempuh, dan kondisi geometrik jalan. Sedangkan data sekunder yang digunakan meliputi peta lokasi dan jumlah penduduk kota Manado. Berdasarkan hasil pengolahan data, volume puncak kendaraan tercatat di titik pertama pada hari Jumat, 6 September 2019 antara pukul 17.00-18.00 dengan nilai 1908,3 smp/jam. Di titik kedua, volume puncak terjadi pada hari Rabu, 4 September 2019 antara pukul 14.00-15.00 dengan nilai 2321,1 smp/jam. Kapasitas jalan yang dihitung adalah 3015,144 smp/jam. Kecepatan arus bebas tercatat 55,6 km/jam, dengan derajat kejenuhan sebesar 0,70. Hasil ini menunjukkan bahwa tingkat pelayanan jalan (*Level of Service* atau LOS) berada pada kategori C (0,45 - 0,74), yang berarti "arus lalu lintas stabil dan pengemudi terbatas dalam memilih kecepatan." Berdasarkan hasil analisis ini, kinerja ruas jalan Walanda Maramis dapat dianggap masih dalam kondisi yang cukup baik”.

6. Jurnal Keenam

(Andriansyah & Nurhasanah, 2020), Peningkatan Jalan Alternatif Pengganti Didalam Area Kampus.

Metode Penelitian

“Keberadaan jalan umum di tengah kampus tidak hanya mengganggu warga kampus, tetapi juga masyarakat yang melintasi jalan tersebut, terutama terkait dengan pembatasan kecepatan yang diterapkan. Selain itu, pergerakan kendaraan di dalam kampus yang sering berpindah antar gedung juga meningkatkan risiko kecelakaan bagi pengendara dan pejalan kaki. Untuk mengatasi masalah lalu lintas yang ditimbulkan, direncanakan pengalihan arus lalu lintas di sekitar kampus Polbeng, dengan lokasi alternatif yang berada di luar kawasan kampus namun tidak terlalu jauh dari jalan utama. Penelitian ini merancang peningkatan jalan perkerasan kaku pada ruas Gg. Jawa dan Gg. H. Ridwan. Berdasarkan pengukuran dengan alat DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*), nilai CBR tanah dasar di Gg. Jawa adalah 3,08%, sedangkan di Gg. H. Ridwan sebesar 2,64%. Perencanaan perkerasan menggunakan data analisis selama 40 tahun. Berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 02/M/BM/2017, perkerasan kaku (*Rigid Pavement*) menghasilkan ketebalan pelat beton 200 mm, LPA Kelas A 125 mm, dan LPA Kelas B 300 mm”.

7. Jurnal Ketujuh

(Chelushkin & Burhanuddinov, 2020), *Model Of Junctioning Rigid And Non-Rigid Road Pavement*.

Metode Penelitian

“Persimpangan antara jalan dengan perkerasan kaku dan tidak kaku sering mengalami beban berat yang dapat menyebabkan penurunan permukaan jalan. Meskipun tidak dianggap kerusakan struktural, penurunan ini berdampak pada kenyamanan berkendara. Pada perkerasan tidak kaku, penurunan dapat berkembang menjadi lubang, sering kali akibat ketidakteraturan dalam konstruksi, seperti pelumpuhan. Perubahan torsi yang terjadi saat kendaraan mendekati persimpangan antara perkerasan kaku dan tidak kaku menyebabkan momen yang berbeda pada jalan.

Perkerasan kaku yang mengalami penurunan perlu diperbaiki. Beban geser dari kendaraan memaksa tanah untuk mengikuti jejak roda, menyerupai peregangan kain. Gaya traksi yang diterima roda kendaraan dapat dihitung secara teoritis dan praktis, dengan vektor gaya yang berubah sesuai dengan kecepatan akselerasi kendaraan”.

8. Jurnal Kedelapan

(Mubarak et al., 2020), Perencanaan Peningkatan Perkerasan Jalan Beton Pada Ruas Jalan Babakan Tengah Kabupaten Bogor.

Metode Penelitian

“Jalan Dramaga di Kabupaten Bogor memiliki tingkat kepadatan lalu lintas yang tinggi. Pengembangan ruas jalan pada tahun 2018 telah dilakukan untuk menghubungkan Jalan Dramaga dengan Jalan Laladon guna mengurangi kemacetan. Namun, Jalan Babakan Tengah yang menjadi akses utama menuju Dramaga mengalami kerusakan akibat buruknya pemeliharaan lingkungan dan saluran drainase yang tidak berfungsi dengan baik. Beberapa perbaikan telah dilakukan, namun kerusakan sering terulang. Oleh karena itu, diperlukan penanganan yang lebih efektif, yaitu dengan meningkatkan jalan menjadi perkerasan kaku (*rigid pavement*) yang lebih tahan lama dan melakukan analisis geometrik untuk meningkatkan kelancaran arus lalu lintas. Berdasarkan perhitungan menggunakan metode AASHTO, tebal perkerasan yang direkomendasikan adalah 25 cm, dengan tulangan memanjang D12-500 dan tulangan melintang D12-300. Sambungan melintang menggunakan dowel diameter 32 mm, panjang 450 mm, sementara sambungan memanjang menggunakan tie bar diameter 16 mm, panjang 20 cm, dengan jarak 100 cm. Selain itu, analisis geometrik menunjukkan bahwa terdapat 1 tikungan jenis full circle dengan jari-jari minimum sebesar 112,04 m”.

9. Jurnal Kesembilan

(Anas, 2021), Analisis Peningkatan Jalan Pada Ruas Jalan Maliran – Sumber.

Metode Penelitian

“Kondisi jalan di Desa Maliran saat ini banyak mengalami kerusakan, baik akibat faktor alam maupun kendaraan pengangkut bahan material dengan muatan berlebih. Kerusakan ini memerlukan perbaikan dan peningkatan agar jalan dapat memenuhi kebutuhan lalu lintas yang lebih tinggi. Ruas jalan Maliran-Sumber merupakan jalan lokal yang menghubungkan Kecamatan Ponggok dengan Kecamatan Sanankulon. Berdasarkan analisis yang dilakukan, arus dan kecepatan lalu lintas di jalan tersebut stabil, namun kendaraan bermuatan sering saling bersimpangan. Oleh karena itu, disarankan untuk melakukan pelebaran bahu jalan sebesar 1 meter guna meningkatkan kelancaran lalu lintas”.

10. Jurnal Kesepuluh

(Andika et al., 2023), Perhitungan Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*) Pada Jalan Trans Bumi Lampung Desa Sp.3 Tri Mukti Kabupaten Musi Rawas, Metode Penelitian

“Kawasan perkebunan dan jalan yang sering digunakan sebagai jalur pintas di Ruas Jalan Trans Bumi Lampung sering dilalui oleh berbagai jenis kendaraan, mulai dari sepeda motor hingga kendaraan ringan dan berat. Hal ini menyebabkan kerusakan pada jalan akibat beban yang diterima. Sebagai solusi, diperlukan perencanaan tebal perkerasan kaku untuk meningkatkan daya tahan jalan tersebut. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pengukuran langsung serta data primer dan sekunder. Perhitungan tebal lapisan perkerasan dilakukan dengan menerapkan metode AASHTO 1993. Berdasarkan pengumpulan data LHR, CBR, dan parameter desain lainnya, analisis menunjukkan bahwa tebal pelat beton yang direkomendasikan adalah 20 cm (8 inci), sesuai dengan nomogram perkerasan kaku AASHTO 1993. Pada konstruksi perkerasan, digunakan tie bar Ø16 mm, dowel Ø25 mm, serta tulangan memanjang dan melintang Ø12 mm untuk memastikan kekuatan dan kestabilan jalan”.

11. Jurnal Kesebelas

(Winara et al., 2023), Peningkatan Jalan Menggunakan Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*) pada Ruas Jalan Letnan Sukarna Kecamatan Ciampea Kabupaten Bogor.

Metode Penelitian

“Jalan Letnan Sukarna menghubungkan Kecamatan Rancabungur dan Kecamatan Ciampea, dengan kondisi eksisting berupa perkerasan lentur yang mengalami kerusakan pada beberapa titik, seperti retak memanjang (*longitudinal cracking*) dan lubang (*pothole*). Kerusakan ini disebabkan oleh beban kendaraan yang berlebihan, saluran drainase yang tidak berfungsi optimal, serta tingginya curah hujan. Penelitian ini membandingkan perhitungan perkerasan kaku menggunakan Metode AASHTO 1993 dan Bina Marga 2003 pada ruas Jalan Letnan Sukarna di Kecamatan Ciampea, Kabupaten Bogor, dengan tujuan untuk mengevaluasi kondisi eksisting dan menentukan perbedaan ketebalan perkerasan kaku. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa Metode AASHTO 1993 menghasilkan ketebalan perkerasan sebesar 20 cm, dengan sambungan melintang menggunakan dowel diameter 13 mm dan sambungan memanjang menggunakan tie bar diameter 25 mm. Sementara itu, Metode Bina Marga 2003 menghasilkan ketebalan 18 cm, dengan dowel diameter 25 mm dan tie bar diameter 16 mm. Selisih ketebalan perkerasan antara kedua metode tersebut sebesar 2 cm, yang disebabkan oleh perbedaan dalam parameter input yang digunakan oleh masing-masing metode”.

12. Jurnal Keduabelas

(Putra & Sari, 2023), Analisis Pengaruh pelebaran Jalan Terhadap Volume Lalu Lintas Di Kota Batam : Studi Kasus Jalan Sudirman.

Metode penelitian

“Faktor-faktor seperti pertumbuhan urbanisasi yang pesat dan meningkatnya jumlah kendaraan di jalan raya semakin memperburuk kondisi lalu lintas dari waktu ke waktu. Perubahan kapasitas jalan di Kota Batam dapat memengaruhi arus lalu lintas di Jalan Jenderal Sudirman. Metode yang diterapkan adalah observasi langsung di lapangan. Hasil

pengamatan menunjukkan bahwa Jalan Jenderal Sudirman memiliki tingkat pelayanan yang cukup baik. Jalan ini merupakan salah satu jalur utama yang digunakan oleh masyarakat Batam dalam aktivitas sehari-hari, sehingga memiliki tingkat mobilisasi yang tinggi. Untuk mengevaluasi apakah pelebaran jalan dapat membantu mengurangi kemacetan dan meningkatkan kenyamanan pengendara. Berdasarkan data yang diperoleh dari survei, kecepatan rata-rata kendaraan dalam kondisi lalu lintas tercatat sebesar 58,32 km/jam, dengan kapasitas dasar jalan mencapai 6.400 pcu/jam. Temuan ini menunjukkan bahwa Jalan Sudirman masih memberikan layanan jalan yang cukup optimal”.

13. Jurnal Ketigabelas

(Pada et al., 2024), Peningkatan Jalan Menggunakan Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*) Studi Kasus Pada Ruas Jalan Langsung Irigasi Timika Papua Tengah.

Metode Penelitian:

“Transportasi merupakan faktor utama dalam mendukung pembangunan daerah, terutama di Timika yang kaya akan sumber daya alam. Salah satu aspek penting dalam transportasi adalah kualitas sarana dan prasarana jalan, dimana jalan beton (perkerasan kaku) dipilih untuk menanggulangi beban kendaraan berat dan arus lalu lintas yang padat. Penelitian ini membandingkan metode perhitungan tebal perkerasan pada ruas jalan langsung irigasi dengan menggunakan Metode Bina Marga. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perkerasan beton semen dengan ketebalan tertentu dapat mengurangi kerusakan fatal dan erosi hingga $\leq 100\%$. Metode Bina Marga terbukti lebih efisien dan ekonomis karena perhitungannya sesuai dengan kondisi di Indonesia. Berdasarkan perencanaan perkerasan kaku, didapatkan spesifikasi tebal perkerasan beton sebesar 30 cm, *lean concrete* 15 cm, dan base A 15 cm”.

14. Jurnal keempatbelas

(Mahardika & Siswoyo, 2024), Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*) untuk Peningkatan Jalan Pada Ruas Sukodadi – Sumberwudi Kab. Lamongan Menggunakan Metode Bina Marga,

Metode penelitian

“Jalan Sukodadi di Lamongan merupakan jalur vital yang mendukung pertumbuhan ekonomi masyarakat setempat, sehingga memerlukan perkerasan jalan yang aman dan nyaman bagi penggunaanya. Namun, saat ini kondisi jalan tersebut sudah tidak mampu lagi menahan beban kendaraan yang melintas, mengakibatkan banyak bagian jalan berlubang dan bergelombang. Selain itu, pada musim hujan, jalan sering tergenang air bahkan banjir, memperburuk kondisi jalan. Mengingat tingginya beban kendaraan, serta faktor cuaca yang tidak menentu, pemilihan jenis perkerasan yang tepat menjadi sangat penting. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, perkerasan kaku dipilih sebagai solusi untuk meningkatkan ruas Jalan Sukodadi – Sumberwudi, karena perkerasan kaku mampu menahan beban kendaraan berat dan tahan terhadap genangan air serta banjir. Perencanaan perkerasan kaku pada ruas jalan ini menggunakan metode Bina Marga sesuai dengan Manual Desain Perkerasan 2017. Berdasarkan hasil perhitungan, tebal perkerasan yang diperlukan adalah 265 mm. Lapisan pondasi bawah menggunakan *Lean Mix Concrete* dengan ketebalan 150 mm, sementara lapisan drainase (LFA kelas A) juga setebal 150 mm. Sambungan melintang dilengkapi dengan dowel berdiameter 32 mm, panjang 450 mm, dan jarak antar dowel 300 mm. Pada sambungan memanjang, digunakan tie bars berdiameter 16 mm dengan panjang 700 mm dan jarak antar tie bar 750 mm. Untuk tulangan, digunakan tulangan memanjang dan melintang berdiameter 12 mm dengan jarak 320 mm, guna memastikan kekuatan struktural perkerasan yang optimal”.

15. Jurnal Kelimabelas

(Bedřich & Grošek, 2024), *Dowel Bars – Reinforcing Elements Of Cement Concrete Pavements*.

Metode Penelitian

“Fungsi elemen tulangan dowel di beton pada perkerasan kaku di ditonjolkan pada umur beton di perkerasan kaku yang diaplikasikan. Penelitian di pasar Czech ketersediaan menunjukkan produk seperti baja dowel tersebar bebas di sana. Namun penggunaan dowel sendiri memiliki

keuntungan pada perkerasan kaku yaitu masa pakai atau umur yang lebih lama. Akan tetapi keuntungan ini menjadi kerugian karena setelah masa pakai atau umurnya sudah di batas tertentu akan terjadi deformasi pada penurunan tanah ataupun pergerakan tanah disekitar yang menjadi retakan pada sekitar area potongan sekmntasi perkerasan jalan beton dan sealent/karet yang diaplikasikan. Terlepas dari kualitas beton yang tinggi hal ini tidak dapat dihindari dan untuk penanggulangannya dilakukan pengecekan berkala guna menjaga struktural perkerasan agar dapat diketahui sedini mungkin untuk perbaikan mengikuti kondisi yang terjadi”.

2.3. Landasan Teori

Teori yang menjadi landasan dalam penyusunan skripsi dengan judul “Analisis Desain Perkerasan Jalan kaku Dengan Menggunakan Metode Bina Marga (MDPJ 2024 Dan MKJI 1997)” adalah analisa kapasitas jalan menggunakan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKIJ) 1997, dan penentuan tebal perkerasan kaku dengan metode Bina Marga manual Desain Perkerasan Jalan 2024

2.3.1 Analisa Kapasitas Jalan

Analisa kapasitas jalan memiliki tujuan untuk meenentukan perlu atau tidaknya pelebaran jalan yang dapat mempertahankan fungsi dari kualitas jalan dengan umur rencana. Berikut hal yang perlu dibutuhkan untuk menganalisa kapasitas jalan, menurut (Direktorat Jenderal Bina Marga Republik Indonesia Direktorat Bina Jalan Kota (Binkot), 1997) sebagai berikut:

2.3.1.1 Kapasitas Dasar

Kapasitas jalan yang diteliti merupakan tipe jalan kabupaten atau disebut jalan luar kota dengan kondisi eksisting dua lajur dua arah tak terbagi (2/2 UD). Berikut disajikan tabel 2.1 tentang kapasitas dasar pada jalan luar kota 2/2 UD :

Tabel 2.1. Kapasitas Dasar Pada Jalan Luar Kota 2/2 UD

Tipe Jalan / Tipe Alinyemen	Kapasitas Dasar Total Kedua Arah (smp/jam)
Datar	3100
Bukit	3000
Guning	2900

(Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia MKIJ 1997)

Ada tiga alinyemen atau medan dengan topografi yang dilalui oleh jalan berdasarkan perbedaan besar kemiringan medan dalam arah kira-kira tegak lurus dengan center line jalan atau as jalan. Tipe alinyemen menggambarkan area yang dilalui oleh jalan, yang ditentukan oleh perubahan ketinggian vertikal serta bentuk kelengkungan secara horizontal. Berikut disajikan Persamaan yang menentukan alinyemen vertikal dan horizontal :

Persamaan 2.1. Alinyemen Vertikal

$$\frac{\Delta V}{\Sigma \text{Panjang Jalan}} = (\text{Dengan Satuan m atau km}) \quad (2.1)$$

Dengan :

ΔV : Beda tinggi vertikal

Σ Panjang jalan: Panjang jalan total

Persamaan 2.2. Alinyemen Horizontal

$$\frac{\Delta H}{\Sigma \text{Panjang Jalan}} = (\text{Dengan Satuan m atau km}) \quad (2.2)$$

Dengan :

ΔH : Beda tinggi Horizontal

Σ Panjang jalan: Panjang jalan total

Berikut disajikan tabel 2.2 tentang pengelompokan medan kemiringan atas dasar pembagian tipe alinyemen, sebagai berikut :

Tabel 2.2. Pembagian Tipe Alinyemen

Tipe Alinyemen	Naik+Turun (m atau km)	Lengkung Horizontal (rad/km)
Alinyemen Datar	<10	<1
Alinyemen Bukit	10-30	1-2,5
Alinyemen Gunung	>30	>2,5

(Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia MKIJ 1997)

2.3.1.2 Faktor Penyesuaian Kapasitas akibat Lebar Jalur Lalu Lintas (FCw)

Penetapan dari penyesuaian akibat lebar jalur lalu lintas yang didasari pada lebar efektif jalur lalu lintas (FCw), yang lebar jalur jalan yang dilewati lalu lintas

kecuali bahu jalan menurut (Imani, Nurul, 2017) pada (Direktorat Jenderal Bina Marga Republik Indonesia Direktorat Bina Jalan Kota (Binkot), 1997). Berikut disajikan tabel 2.3. tentang faktor penyesuaian kapasitas akibat jalur lalu lintas (FCw), sebagai berikut :

Tabel 2.3. Faktor Penyesuaian kapasitas Akibat Lebar Jalur Lalu Lintas (FCw)

Tipe Jalan	Lebar Jalur Lalu - Lintas (m)	FCw
4/2 D	Lebar per Jalur	0,91 0,96 1,00 1,04 1,08
	3,00	
	2,25	
	3,50	
	3,75	
	4,00	
4/2 UD	Lebar per Jalur	0,91 0,96 1,00 1,03 1,09
	3,00	
	2,25	
	3,50	
	3,75	
	4,00	
2/2 UD	Lebar Jalur 2 Arah	0,69 0,91 1,00 1,08 1,15 1,21 1,27
	5,00	
	6,00	
	7,00	
	8,00	
	9,00	
	10,00	
	11,00	

(Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia MKIJ 1997)

2.3.1.3 Faktor Penyesuaian Kapasitas Akibat Pemisah Arah

Pemisah arah merujuk pada pembagian arah lalu lintas pada jalan dua arah, yang dihitung berdasarkan persentase dari total volume arus kendaraan pada masing-masing arah. Berikut disajikan tabel 2.4 tentang faktor kapasitas akibat pemisah arah, sebagai berikut :

Tabel 2.4. Faktor Penyesuaian Kapasitas Akibat Pemisah Arah

Pemisah Arah SP %-%		50-50	55-45	60-40	65-35	70-30
FC _{PA}	2/2 UD	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88
	4/2 UD	1,00	0,99	0,95	0,93	0,90

(Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia MKIJ 1997)

2.3.1.4 Faktor Penyesuaian Akibat Hambatan Samping (FCSF)

Hambatan Samping merupakan pengaruh akibat kondisi kegiatan di samping ruas jalan yang mampu memberikan dampak pada arus lalu lintas. Sebagai contohnya pemberentihan kendaraan umum, pejalan kaki, dan lain sebagainya. Berikut di sajikan tabel 2.5 tentang penentuan FCsf berdasarkan kelas hambatan samping, sebagai berikut :

Tabel 2.5. Kelas Hambatan Samping

Kelas Hambatan Samping	Kode	Nilai Frekuensi Kejadian dikali Bobot	Ciri - Ciri Khusus
Sangat Rendah	VL	<50	Pedalaman: Pertanian atau tidak berkembang, tanpa kegiatan
Rendah	L	50-149	Pedesaan: Beberapa Bangunan dan kegiatan samping jalan
Sedang	M	150-249	Kampung: Kegiatan Pemukiman
Tinggi	H	250-350	Kampung: Kegiatan Pasar
Sangat Tinggi	VH	>350	Hampir Perkotaan: Banyak pasar/kendaraan niaga

(Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia MKIJ 1997)

Metode untuk menentukan faktor penyesuaian kapasitas akibat hambatan samping adalah berdasarkan pada lebar efektif bahu (Ws) dan kelas hambatan samping. Berikut disajikan tabel 2.6 tentang faktor penyesuaian kapasitas akibat hambatan samping, sebagai berikut :

Tabel 2.6. Faktor Penyesuaian Kapasitas Akibat Hambatan Samping (FC_{sf})

Tipe Jalan	Kelas Hambatan Samping	Faktor Penyesuaian untuk Hambatan Samping dan Lebar Bahu Lebar Bahu Efektif rata - rata (W5)			
		$\leq 0,5$	1	1,5	$\geq 2,0$
4/2 D	VL	0,99	1,00	0,01	1,03
	L	0,96	0,97	0,99	1,01
	M	0,93	0,95	0,96	0,,99
	H	0,90	0,92	0,95	0,97
	VH	0,88	0,90	0,93	0,96
2/2 UD 4/2 UD	VL	0,97	0,99	1,00	1,02
	L	0,93	0,95	0,97	1,00
	M	0,88	0,91	0,94	0,98
	H	0,84	0,87	0,91	0,95
	VH	0,80	0,83	0,88	0,93

(Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia MKIJ 1997)

2.3.1.5 Penentuan Kapasitas pada Kondisi Lapangan

Menurut (Imani, Nurul, 2017) Kapasitas diartikan sebagai jumlah arus maksimum yang dapat dipertahankan per jam pada suatu titik di jalan, dengan mempertimbangkan kondisi tertentu yang ada pada saat itu. Berikut disajikan Persamaan 2.3 untuk menghitung kapasitas pada kondisi lapangan, sebagai berikut:

Persamaan 2.3. Penentuan Kapasitas pada Kondisi Lapangan

$$C = C_0 \times FC_W \times FC_{sp} \times FC_{sf} \quad (2.3)$$

Dengan

C : Kapasitas

C_0 : Kapasitas dasar

FC_W : Faktor penyesuaian akibat lebar jalur lalu lintas

FC_{sp} : Faktor penyesuaian akibat pemisah arah

FC_{sf} : Faktor penyesuaian akibat hambatan samping

2.3.1.6 Derajat Kejenuhan

Menurut (Imani, Nurul, 2017) pada (Direktorat Jenderal Bina Marga Republik Indonesia Direktorat Bina Jalan Kota (Binkot), 1997) derajat kejenuhan

(DS) merupakan rasio antara arus kendaraan yang melewati suatu jalan dengan kapasitas jalan tersebut. Indikator ini digunakan untuk menilai kinerja simpang dan segmen jalan. Nilai DS ini membantu menentukan apakah sebuah segmen jalan mengalami masalah terkait kapasitas atau tidak. Derajat kejenuhan dihitung dengan membagi arus lalu lintas yang ada dengan kapasitas jalan. Batasan untuk derajat kejenuhan menurut (Imani, Nurul, 2017) pada (Direktorat Jenderal Bina Marga Republik Indonesia Direktorat Bina Jalan Kota (Binkot), 1997) adalah 0,75. Jika nilai DS melebihi angka tersebut, maka jalan dianggap tidak lagi mampu menampung volume arus lalu lintas yang ada. Berikut Persamaan 2.4 untuk derajat kejenuhan pada jalan luar kota, sebagai berikut :

Persamaan 2.4. Derajat Kejenuhan untuk Jalan Luar Kota

$$DS = (Q/C) < 0,75 \quad (2.4)$$

Dengan,

DS : Derajat Kejenuhan

C : Kapasitas (smp/jam)

Q : Arus total lalu lintas (smp/jam)

Untuk nilai Q yang berupa jumlah kendaraan per tahun, maka nilai Q dapat ditemukan dengan persamaan Persamaan 2.5 sebagai berikut :

Persamaan 2.5. Arus Total Lalu Lintas

$$Q = LHRT \times k \times emp \quad (2.5)$$

Dengan,

LHRT : Jumlah lalu lintas kendaraan per tahun

k : Faktor pengubah dari LHRT menjadi lalu lintas jam puncak, menurut (Direktorat Jenderal Bina Marga Republik Indonesia Direktorat Bina Jalan Kota (Binkot), 1997) nilai normal $k = 0,11$

emp : Faktor pengubah dari kend/jam menjadi smp/jam untuk nilai dari emp sendiri dapat dilihat pada tabel 2.7

Tabel 2.7. Ekvivalen Kendaraan Penumpang (emp) untuk Jalan 2/2 UD

Tipe Alinyemen	Arus Total (kend/jam)	emp					
		MHV	LB	LT	MC		
					Lebar Jalur Lalu - Lintas (m)		
					<6m	6-8m	>8m
Datar	0	1,20	1,20	1,80	0,80	0,60	0,40
	800	1,80	1,80	2,70	1,20	0,90	0,60
	1350	1,50	1,60	2,50	0,90	0,70	0,50
	≥ 1600	1,30	1,50	2,50	0,60	0,50	0,40
Bukit	0	1,80	1,60	5,20	0,70	0,50	0,30
	650	2,40	2,50	5,00	1,00	0,80	0,50
	1100	2,00	2,00	4,00	0,80	0,60	0,40
	≥1600	1,70	1,70	3,20	0,50	0,40	0,30
Gunung	0	3,50	2,50	6,00	0,60	0,40	0,20
	450	3,00	3,20	5,50	0,90	0,70	0,40
	900	2,50	2,50	5,00	0,70	0,50	0,30
	≥1350	1,90	2,20	4,00	0,50	0,40	0,30

(Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia MKIJ 1997)

2.3.2. Perkerasan Kaku

Menurut (Winara et al., 2023), Perkerasan kaku adalah tipe konstruksi jalan yang menggunakan lapisan beton bertulang maupun tidak bertulang (beton semen) sebagai permukaan yang langsung menerima beban lalu lintas. Disebut "kaku" karena beton memiliki sifat yang sangat kuat dan tidak lentur, sehingga dapat menahan beban kendaraan yang berat tanpa mengalami perubahan bentuk atau pergeseran yang signifikan.

2.3.2.1 CBR Desain Tanah Dasar**A. Menentukan Segmen Tanah Dasar yang Seragam**

Menurut (Direktorat Bina Marga, 2024), Ruas jalan yang dirancang harus dibagi menjadi segmen-segmen berdasarkan keseragaman karakteristik tanah dasar yang dianggap konsisten (tanpa perbedaan signifikan). Pengelompokan awal dapat dilakukan dengan memanfaatkan hasil kajian dan survei lapangan, yang didasarkan pada kesamaan geologi, hidrologi, kondisi drainase, topografi, serta karakteristik geoteknik seperti gradasi tanah dan plastisitas.

Sebagai pedoman umum, sebaiknya hindari penggunaan segmen seragam yang terlalu pendek. Jika nilai CBR yang diperoleh menunjukkan variasi yang besar, desainer perlu mempertimbangkan keuntungan dan biaya dari dua alternatif: membuat segmen pendek yang sesuai dengan variasi nilai CBR atau membuat segmen lebih panjang dengan menggunakan nilai CBR yang konservatif. Penting juga untuk membedakan antara daya dukung rendah yang bersifat lokal (terbatas pada lokasi tertentu) dengan daya dukung tanah dasar yang lebih representatif untuk area secara umum. Tanah dasar dengan daya dukung rendah yang bersifat lokal biasanya diatasi dengan mengganti material tanah tersebut dengan bahan yang lebih baik atau melakukan perlakuan khusus.

Nilai CBR karakteristik dihitung menggunakan metode persentil berdasarkan distribusi nilai CBR di segmen seragam, dengan asumsi data terdistribusi secara normal. Nilai persentil ke-"x" membagi data menjadi dua bagian: satu bagian mencakup "x" persen data, sementara sisanya mencakup (100-x) persen data.

Untuk desain perkerasan, nilai CBR yang digunakan adalah nilai pada persentil ke-10 (10th percentile). Artinya, 10% dari data segmen tersebut memiliki nilai lebih kecil atau sama dengan nilai CBR pada persentil ini, sedangkan 90% sisanya memiliki nilai yang lebih besar atau sama.

Prosedur perhitungan untuk presentil ke-10 ialah sebagai berikut :

- a. Susunan data CBR secara berurutan dari nilai terkecil hingga terbesar
- b. Hitung jumlah total data nilai CBR (n)
- c. Hitung 10% dari (n), nilai yang diperoleh tersebut sebagai *indeks*
- d. Jika *indeks* yang diperoleh dari langkah ini merupakan bilangan pecahan, dilakukan pembulatan ke bilangan terdekat dan dilanjutkan ke langkah e.
- e. Jika *indeks* yang dihasilkan berupa bilangan bulat, dilanjutkan ke langkah f.
- e. Dari kumpulan data yang telah diurutkan pada langkah sebelumnya (langkah a), perhitungan dimulai dari nilai data terkecil hingga mencapai posisi data yang ditentukan pada langkah c. Nilai CBR yang

berada di posisi tersebut dianggap sebagai nilai CBR pada persentil ke-10.

- f. Dari kumpulan data yang telah diurutkan pada langkah sebelumnya (langkah a), perhitungan dilakukan mulai dari data terkecil hingga mencapai posisi data yang ditentukan pada langkah c. Nilai CBR pada persentil ke-10 diperoleh dengan menghitung rata-rata dari dua nilai CBR, yaitu nilai CBR pada posisi tersebut dan nilai CBR pada posisi berikutnya.

B. CBR Rencana untuk Stabilisasi Tanah Dasar

Perbaikan tanah dasar dapat dilakukan dengan menggunakan material timbunan pilihan, stabilisasi kapur, atau stabilisasi semen. Pada pekerjaan pelebaran perkerasan di area galian, sering kali ditemukan kondisi tanah dasar yang sempit atau tidak teratur, yang dapat menyulitkan pelaksanaan stabilisasi. Dalam situasi seperti ini, disarankan untuk menggunakan perbaikan dengan material timbunan pilihan.

Dalam proses perencanaan, jika metode stabilisasi kapur atau semen dipilih, maka nilai daya dukung material (CBR) ditentukan berdasarkan nilai terkecil dari tiga parameter berikut:

- a. Daya dukung rendaman empat hari dari material yang distabilisasi
- b. Empat kali daya dukung tanah asal sebelum distabilisasi
- c. Daya dukung yang diperoleh dengan persamaan 2.6, sebagai berikut:

Persamaan 2.6. CBR Stabilisasi

$$CBR_{stabilisasi} = CBR_{asal} \times 2^{(tebal\ lapis\ stabilisasi\ dalam\ mm)/150} \quad (2.6.1)$$

Dimana :

CBR_{asal} : CBR tanah sebelum stabilisasi

$CBR_{stabilisasi}$: CBR sesudah stabilisasi

Total tebal lapisan tanah dasar dengan CBR tanah hasil stabilisasi adalah 200 mm jika menggunakan alat pemadat tipe *pad foot* standar. Jika

persyaratan mengharuskan penggunaan alat pemadat *pad foot* dengan berat statik minimal 18 ton, tebal tanah dasar dapat ditingkatkan hingga 300 mm.

2.3.2.2 Tanah Ekspansif

Menurut (Direktorat Bina Marga, 2024), tanah ekspansif merupakan tanah dengan potensi mengembang lebih dari 2.5% (diukur dengan pengujian rendaman SNI 1744:2012 pada kadar air optimum dan kepadatan kering 100%)

Tanah ekspansif dikategorikan berdasarkan potensi pengembangannya (*swelling potential*) dan Indeks Plastisitas Tertimbang (*Weighted Plasticity Index/WPI*). Klasifikasi ini terdiri dari lima tingkatan, yaitu Rendah, Moderat, Tinggi, Sangat Tinggi, dan Ekstrem. Tanah ekspansif didefinisikan sebagai jenis tanah yang memiliki potensi pengembangan tertentu, dengan rincian klasifikasi yang disajikan dalam tabel 2.8 sebagai berikut :

Tabel 2.8. Klasifikasi Tanah Ekspansif

Klasifikasi	Weighted Plasticity Index (WPI) (PI dikali persentase yang lolos saringan ukuran 0,425 mm)	Pengembangan (%)
Ekstrem	>4.200	>10,0
Sangat Tinggi	>3.200 - 4.200	>5,0 - 10,0
Tinggi	>2.200 - 3.200	2,5 - 5,0
Moderat	1.200 - 2.200	0,5 - 2,5
Rendah	<1.200	<0,5

(Sumber : Bina Marga, 2024)

Dengan catatan : Pengembangan tanah dievaluasi pada Kadar Air Optimum (*Optimum Moisture Content/OMC*) dan 98% Kepadatan Kering Maksimum (*Maximum Dry Density/MDD*), dengan menggunakan metode Kepadatan Ringan (*Standard Proctor*). Pengujian dilakukan dengan perendaman selama 4 (empat) hari dan menggunakan beban tambahan sebesar 4,5 kg.

2.3.2.3 Tanah Timbunan

Tebal minimum material timbunan, baik berupa tanah timbunan biasa maupun timbunan pilihan, ditentukan untuk mencapai nilai CBR desain sebesar 6%, yang digunakan sebagai acuan dalam pengembangan Katalog Desain Tebal

Perkerasan. Jika material timbunan tersebut juga akan digunakan untuk mendukung lalu lintas kendaraan konstruksi, mungkin diperlukan penambahan ketebalan agar memenuhi kebutuhan beban kendaraan. Pertimbangan dalam pelaksanaan pekerjaan timbunan sebagai berikut :

A. Persyaratan Umum

- a. Jika lapisan timbunan terletak di bawah permukaan air, material yang digunakan harus berupa batuan. Dalam kondisi ini, material yang dipilih harus memiliki sifat berbutir dengan tingkat kepekaan yang rendah terhadap perubahan kadar air, sehingga stabilitasnya tetap terjaga meskipun berada dalam lingkungan yang jenuh air.
- b. Material tersebut harus dapat berfungsi sebagai lantai kerja yang kokoh dan stabil sepanjang periode pelaksanaan konstruksi, memastikan kelancaran aktivitas tanpa terganggu oleh kondisi lapangan yang berubah.
- c. Elevasi permukaan material timbunan harus memenuhi persyaratan
- d. Kedalaman alur roda pada permukaan tanah dasar akibat lalu lintas selama periode konstruksi tidak boleh melebihi 40 mm, untuk memastikan kestabilan dan kekuatan tanah dasar tetap terjaga selama proses pelaksanaan.
- e. Tebal material timbunan harus mencapai ketebalan tertentu agar permukaan tanah dasar dapat dipadatkan secara efektif menggunakan alat pemadat berat, sehingga memperoleh kepadatan yang sesuai dengan persyaratan desain.

B. Metode Pemadatan

Timbunan harus dipadatkan dengan metode yang sesuai dan mencapai tingkat kepadatan yang ditentukan atau yang disetujui oleh Pengawas Pekerjaan. Pada bagian bawah timbunan, kepadatan yang tercapai cenderung lebih rendah dari 95% kepadatan kering maksimum. Pada perkerasan kaku, pemadatan maksimal yang tercapai pada timbunan sangat penting untuk meminimalkan potensi retakan akibat perbedaan penurunan tanah setelah pelaksanaan konstruksi.

C. Geotekstil

Jika tanah asli berada dalam kondisi jenuh atau diperkirakan akan jenuh selama masa pelayanan, geotekstil sebagai pemisah harus dipasang di antara timbunan dan tanah asli. Material timbunan yang terletak langsung di atas geotekstil harus berupa material berbutir, untuk memastikan kestabilan dan mencegah pencampuran antara timbunan dan tanah asli.

2.3.2.4 Desain Pondasi Perkerasan Kaku

Jika fondasi perkerasan terdiri dari beberapa lapisan atau jika tanah dasar asli terdiri dari beberapa lapisan dengan kekuatan tertinggi terletak pada lapisan paling atas, maka nilai CBR tanah dasar ditentukan berdasarkan lapisan dengan kekuatan tertinggi tersebut. Hal ini untuk memastikan bahwa perhitungan CBR mencerminkan daya dukung optimal dari tanah dasar yang akan digunakan dalam desain perkerasan dengan persamaan 2.7 CBR ekuivalen sebagai berikut :

Persamaan 2.7. CBR Ekuivalen

$$CBR \text{ ekuivalen} = \left(\frac{\sum ih_i CBR^{0.33}}{\sum ih_i} \right)^3 \quad (2.7)$$

Dimana :

$\sum h_i$: 1m

h_i : Tebal lapis i

Penggunaan persamaan ini berlaku pada kondisi sebagai berikut:

- A. Jika kekuatan tanah dasar meningkat seiring kedalaman, maka formula tersebut tidak dapat diterapkan. Dalam hal ini, nilai CBR karakteristik ditentukan berdasarkan nilai CBR lapisan teratas tanah dasar.
- B. Lapisan dengan ketebalan kurang dari 200 mm harus digabungkan dengan lapisan yang berdekatan. Untuk lapisan gabungan tersebut, nilai CBR yang digunakan adalah nilai CBR terendah dari kedua lapisan.
- C. Nilai CBR maksimum yang dapat digunakan dalam formula ini adalah 15%.

Untuk mencegah terjadinya *pumping*, baik pada tanah dasar dengan CBR efektif 6% maupun pada tanah yang telah diberi timbunan pilihan dengan CBR

minimum 10%, maka pada perkerasan kaku harus dipasang timbunan pilihan berbutir kasar yang memenuhi spesifikasi berikut:

- A. CBR minimum 30%
- B. Indeks Plastisitas (PI) antara 6 hingga 15
- C. Ukuran butir maksimum 50 mm

Alternatif lainnya adalah menggunakan LFA Kelas C atau lapisan stabilisasi semen dengan UCS minimum 10 kg/cm², dengan ketebalan lapisan 200 mm.

Berikut disajikan tabel 2.9 tentang desain pondasi jalan minimum sebagai berikut :

Tabel 2.9. Desain Pondasi jalan Minimum

CBR tanah Dasar (%)	Kelas Kekuatan Tanah Dasar	Uraian Struktur Pondasi	Perkerasan Lentur		Perkerasan Kaku
			Beban Lalu Lintas pada Jalur Rencana 40 Tahun (Juta ESA5)		
			<10	>10	
			Tebal Minimum Perbaikan Tanah Dasar (mm)		
5	SG5	Perbaikan tanah dengan material timbunan pilihan (CBR ≥10%)	200	200	200
4	SG4		300	400	400
3	SG3			600	600
2,5	SG2,5				
Kekuatan tanah dasar <2,5% atau tanah lunak			Untuk tanah lunak >1m 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.		

(Sumber : Bina Marga, 2024)

2.3.2.5 Umur Rencana

Perkerasan jalan beton atau perkerasan kaku menurut (Maharani & Wasono, 2018), merupakan jenis perkerasan jalan yang jenis perkerasan jalan yang menggunakan beton sebagai material utama untuk lapisan permukaan. Berbeda dengan perkerasan fleksibel yang menggunakan material elastis seperti aspal, perkerasan kaku dirancang dengan tujuan memiliki kekakuan struktural tinggi, sehingga mampu menahan dan mendistribusikan beban lalu lintas secara merata ke lapisan bawahnya. Pada perkerasan kaku, beton berfungsi sebagai elemen utama yang memberikan daya tahan terhadap beban berat dan kondisi lingkungan yang ekstrem. Beton yang digunakan dapat berupa beton bertulang atau beton pratekan, yang memiliki kekuatan tinggi dalam menahan tekanan dan retakan. Keunggulan utama dari perkerasan kaku meliputi daya tahan yang lebih lama, pemeliharaan yang lebih rendah, dan ketahanan terhadap kerusakan struktural seperti pembengkakan atau retak yang sering terjadi pada perkerasan fleksibel.

Meskipun demikian, perkerasan kaku memerlukan biaya pembangunan yang lebih tinggi dan memberikan kenyamanan berkendara yang lebih rendah akibat permukaannya yang lebih keras. Menurut Metode Desain Manual Perkerasan Kaku Bina Marga 2024, umur rencana perkerasan kaku umumnya direncanakan selama 20 tahun. Desain ini mempertimbangkan berbagai faktor, seperti beban lalu lintas yang diperkirakan terjadi dalam periode tersebut, kondisi iklim, serta kualitas material yang digunakan. Untuk struktur perkerasan beton, yang terdiri dari beberapa lapisan seperti beton, subbase, dan subgrade, dapat direncanakan memiliki umur lebih panjang, dengan beton pratekan yang mampu bertahan hingga 30-40 tahun jika dirawat dengan baik. Berikut disajikan tabel 2.10. menurut (Direktorat Bina Marga, 2024) tentang umur rencana , :

Tabel 2.10. Umur Rencana

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (Tahun)
Perkerasan lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir	20
	Lapis Pondasi Jalan	40

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (Tahun)
	Semua perkerasan untuk lokasi yang tidak memungkinkan pelapisan ulang (overlay), seperti jalan kota, underpass, jembatan, dan terowongan	
	Lapis pondasi berpengikat semen, Cement Treated Based (CTB)	
Perkerasan Kaku	Lapis pondasi atas, lapis pondasi bawah, lapis beton semen, dan jalan	
Jalan tanpa penutup	Semua elemen (termasuk pondasi jalan)	10

(Sumber : Bina Marga 2024)

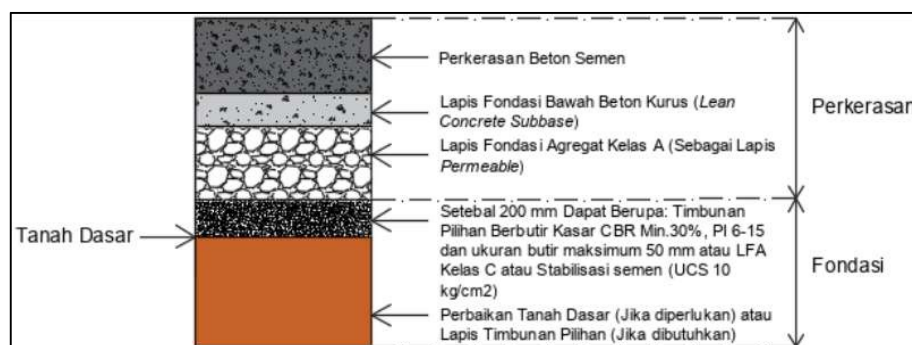
Umur rencana ini bertujuan untuk memastikan bahwa perkerasan kaku dapat berfungsi secara optimal selama periode yang ditentukan, dengan pemeliharaan rutin yang mendukung perpanjangan umur efektifnya.

2.3.2.6 Struktur Lapisan Perkerasan Kaku

Menurut (Direktorat Bina Marga, 2024), berdasarkan strukur perkerasan beton semen atau perkerasan kaku dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu :

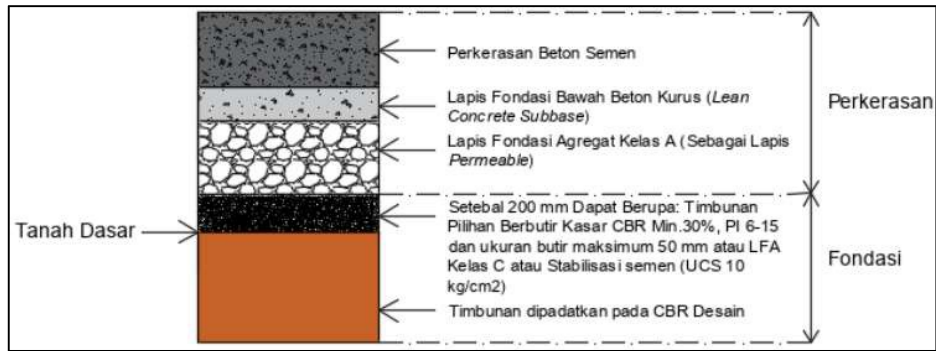
1. Perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan,
2. Perkerasan beton semen bersambung dengan tulangan,
3. Perkerasan beton semen menerus dengan tulangan.

Struktur lapisan perkerasan kaku terdiri dari lapisan tanah dasar, lapis pondasi bawah, dan lapisan perkerasan beton. Berikut disajikan gambar terkait lapisan perkerasan kaku berdasarkan kondisi eksisting dan penanganannya:



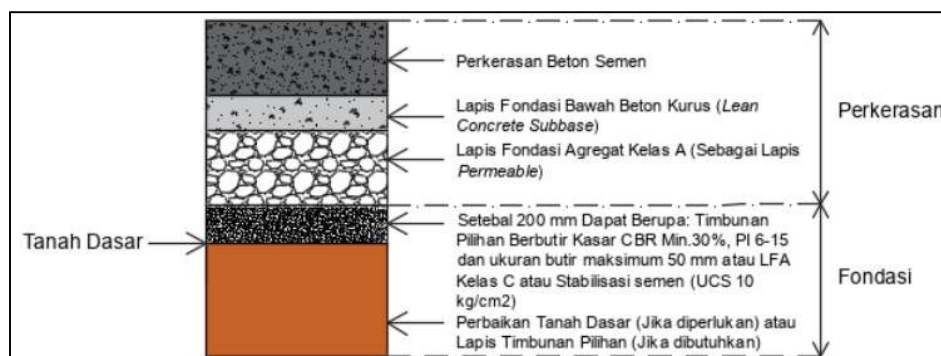
Gambar 2.1. Perkerasan Kaku pada Permukaan Tanah Asli (at Grade)

(Sumber: Bina Marga Manual Desain Perkerasan Jalan, 2024)



Gambar 2.2. Perkerasan Kaku pada Timbunan

(Sumber: Bina Marga Manual Desain Perkerasan Jalan, 2024)



Gambar 2.3. Perkerasan Kaku pada Galian

(Sumber: Bina Marga Manual Desain Perkerasan Jalan, 2024)

2.3.2.7 Syarat Teknis Desain Perkerasan Kaku

Menurut (Direktorat Bina Marga, 2024) persyaratan teknis dalam susunan desain perkerasan kaku adalah sebagai berikut :

A. Tanah Dasar

Desain ruas jalan sebaiknya dikelompokkan berdasarkan kesamaan karakteristik segmen yang menggambarkan kondisi tanah dasar yang seragam, tanpa adanya perbedaan signifikan. Pengelompokan awal dapat dilakukan melalui analisis dan penyelidikan lapangan yang mempertimbangkan kesamaan dalam aspek geologi, hidrologi, drainase, topografi, serta sifat geoteknik seperti gradasi dan plastisitas.

Secara umum, disarankan untuk tidak memilih segmen yang terlalu pendek dengan keseragaman yang tinggi. Jika nilai CBR (California Bearing Ratio) menunjukkan variasi yang besar, perancang perlu mempertimbangkan

perbandingan antara manfaat dan biaya dari dua pendekatan: membuat segmen pendek berdasarkan variasi nilai CBR tersebut atau memilih segmen yang lebih panjang dengan menggunakan nilai CBR yang lebih konservatif.

Aspek lain yang penting adalah membedakan antara daya dukung tanah dasar yang rendah secara lokal (terbatas pada area tertentu) dengan daya dukung tanah dasar yang lebih luas dan mewakili lokasi secara keseluruhan. Tanah dasar yang memiliki daya dukung rendah biasanya akan diganti dengan material yang lebih baik atau diperlakukan secara khusus agar memenuhi standar yang diperlukan.

B. Pondasi Bawah

Bahan Pondasi bawah dapat berupa :

1. Bahan dengan Pengikat (BP)
 - 1) Stabilitas semen (*Cement Treated Based, CTB*)
 - 2) Beton Kurus giling padat (*Lean Rolled Concreate*)
 - 3) Campuran beraspal
2. Beton Kurus (BK/*lean Mix Concrete*)

Lapis pondasi bawah harus diperlebar hingga mencapai 400 mm dari tepi perkerasan beton semen. Untuk jenis tanah lunak dan ekspansif, penentuan lebar dan jenis lapisan pondasi perlu mendapat perhatian khusus, dengan mempertimbangkan potensi tegangan pengembangan yang mungkin terjadi. Memperlebar lapisan pondasi hingga tepi luar jalan merupakan salah satu cara efektif untuk mengurangi pengaruh buruk tanah lunak dan tanah ekspansif.

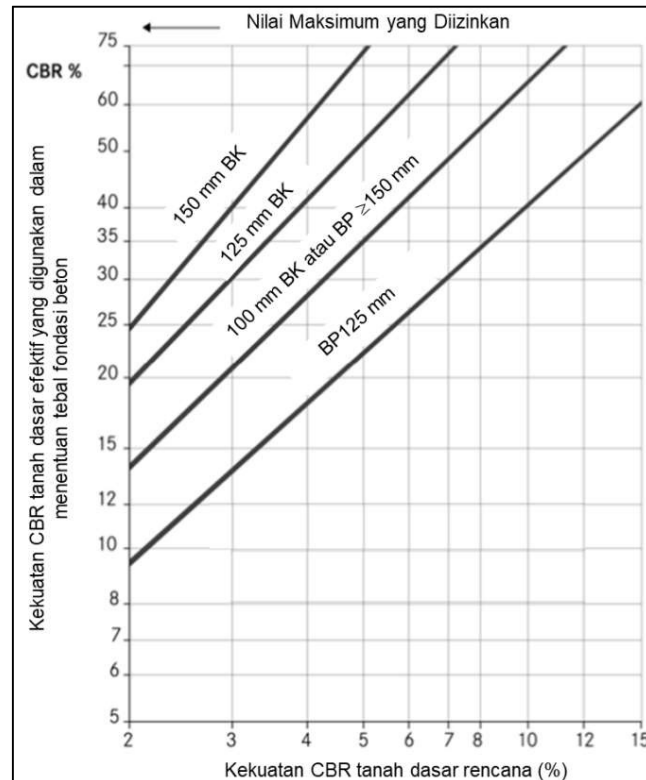
Beton kurus yang digunakan harus memenuhi persyaratan mutu yang tercantum dalam SNI 6388:2015, AASHTO M-155, serta SNI 1743:2008. Apabila konstruksi yang direncanakan memiliki risiko tinggi terhadap erosi, disarankan agar lapisan pondasi beton kurus memiliki ketebalan minimum 150 mm. Untuk perkerasan beton semen yang tersambung tanpa ruji, penggunaan beton kurus sebagai lapis pondasi bawah disarankan.

Ketebalan minimum lapis pondasi bawah yang disarankan dapat ditemukan pada tabel 2.11, dan nilai CBR tanah dasar yang efektif dapat diperoleh melalui gambar 2.4., sebagai berikut :

Tabel 2.11. Tebal Pondasi bawah Minimum untuk Perkerasan Beton Semen

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

(Sumber: Bina Marga Manual Desain Perkerasan Jalan, 2024)



Gambar 2.4. CBR Tanah Dasar Efektif dan Tebal pondasi bawah

(Sumber: Bina Marga Manual Desain Perkerasan Jalan, 2024)

Menurut (Direktorat Bina Marga, 2024) lapis pondasi bisa menggunakan material lainnya yaitu sebagai berikut :

1. Lapis pondasi bawah yang menggunakan bahan pengikat (BP) dapat menggunakan material dengan, :
 - 1) Stabilisasi material berbutir (*Cement treated based*, CTB) harus mempunyai kuat tekan sebesar 3.5 – 4.5 Mpa
 - 2) Campuran beraspal bergradasi rapat (*dense-graded asphalt*)

- 3) Campuran beton kurus padat giling yang harus memiliki kuat tekan umur 28 hari minimum 5,5 Mpa (55 kg/cm²)
2. Lapis pondasi bawah dengan campuran beton kurus (*Lean Mix Concrete*, BK) dengan memiliki karakteristik umur 28 hari kuat tekan 8-11 MPa
3. Lapis pemecah ikatan pondasi bawah dan pelat
Lapisan pemecah (*Bond Breaker*) berupa lapisan membran kedap air dengan ketebalan 125 micron atau bahan lain untuk pemecah ikatan dengan koefisien gesek yang disajikan pada tabel. 2.12, sebagai berikut :

Tabel 2.12. Nilai Koefisien Gesekan (μ)

No	Lapis Pemecah Ikatan	Koefisien Gesekan (μ)
1	Lapis resap ikat aspal diatas permukaan pondasi bawah	1,00
2	Laburan lilin tipis pemecah ikat	1,50
3	Karet kompon perawatan beton (Chlorinated Rubber Curing Compound)	2,00

(Sumber: Bina Marga Manual Desain Perkerasan Jalan, 2024)

C. Beton Semen

Menurut (Direktorat Bina Marga, 2024), mutu beton semen harus ditentukan berdasarkan nilai kuat tarik lentur (*flexural strength*) pada umur 28 hari, yang diperoleh melalui pengujian balok dengan pembebanan tiga titik sesuai dengan standar ASTM C-78, dengan nilai minimum 4,5 MPa. Kekuatan desain harus dinyatakan dalam bentuk kuat tarik lentur karakteristik yang dibulatkan ke angka terdekat, yaitu 0,25 MPa (atau 2,5 kg/cm²).

Hubungan antara kuat tekan karakteristik beton dan kuat tarik-lentur sebaiknya ditentukan melalui pengujian laboratorium dengan menggunakan material yang sama seperti yang akan diterapkan dalam proyek. Namun, jika pengujian tersebut belum tersedia, hubungan ini dapat diperkirakan menggunakan Persamaan sebagai berikut:

Persamaan 2.8. Kuat Tarik Beton karakteristik 28 hari

$$f_{cf} = K(fc')^{0,50} \text{ dalam Mpa} \quad (2.8)$$

Dimana,

f_c' : Kuat tekan beton umur 28 hari (kg/m)

f_{cf} : Kuat tarik lentur beton umur 28 hari (kg/m)

K : Konstanta 0,75 (agregat pecah0

Kuat tarik lentur dapat juga ditentukan dari hasil uji kuat tarik belah beton yang dilakukan menurut SNI 2491:201, berikut persamaan yang menentukan kuat tarik belah beton dari hasil uji kuat tarik belah beton :

Persamaan 2.9. Kuat Tarik Beton karakteristik 28 hari

$$f_{cf} = 1,37f_{CS} \text{ dalam Mpa} \quad (2.9)$$

Dimana,

f_{CS} : Kuat tarik beton umur 28 hari (kg/m)

f_{cf} : Kuat tarik lentur beton umur 28 hari (kg/m)

D. Bahu Beton

Menurut (Direktorat Bina Marga, 2024), yang dimaksud dengan bahu beton adalah bahu beton yang terikat dan terkunci dengan lajur lalu lintas harus memiliki lebar minimal 1,50 m, atau bahu yang menyatu langsung dengan lajur lalu lintas dengan lebar minimal 0,60 m, yang juga dapat mencakup saluran drainase dan kereb.

E. Persyaratan Mutu Material selain Mutu Beton

Berikut disajikan Tabel 2.13. tentang desain perkerasan kaku untuk jalan dengan lalu lintas berat dan Tabel 2.14. tentang ketebalan minimum perkerasan menurut (Direktorat Bina Marga, 2024), adalah sebagai berikut :

Tabel. 2.13. Desain Perkerasan Kaku untuk Jalan dengan beban Lalu Lintas Berat

Jenis Perkerasan	Perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan (JPCP), beton semen bersambung dengan tulangan (JRCP), dan beton semen menerus dengan tulangan (CRCP).
Sambungan Melintang	Wajib dipotong dengan kedalaman seperempat sampai dengan sepertiga tebal beton. Dipasang ruji (dowel), berupa baja tulangan polos (BjTP 280), dengan jarak antar tulangan 300 mm, panjang dowel 450 mm, dan diameter dowel minimal seperdelapan tebal beton
Sambungan Memanjang	Dipasang batang pengikat (tie bar), berupa baja tulangan sirip (BjTS 420A), dengan jarak antar tulangan 600 mm, panjang tie bar 700 mm, dan diameter tie bar minimum 16 mm.
bahu Jalan	Dalam bentuk satu kesatuan dengan pelat beton lajur lalu lintas (monolit) dengan lebar minimum 600 mm atau dengan batang pengikat (tie bar) untuk lebar bahu jalan minimum 1500 mm dan harus menggunakan beton dengan kereb dan saluran beton (curb and gutter) kualitas yang sama dengan lajur utama.
lapis Pondasi	Lapis pondasi disesuaikan dengan Subbab 2.3.2.3. B- Bagian Pondasi Bawah
lapis Drainase	Lapis pondasi 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 Pondasi bawah dengan pelat	Berupa membran kedap air dengan tebal minimum 125 mikron khusus pada lapis fondasi berupa beton krus.
Rasio dimensi Slab Beton (Panjang Lebar)	Sekitar 1,25 (khusus untuk beton semen bersambung tanpa tulangan (Jointed Plain Concrete Pavement)).

(Sumber: Bina Marga Manual Desain Perkerasan Jalan, 2024)

Tabel 2.14. 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: Bina Marga Manual Desain Perkerasan Jalan, 2024)

F. Lalu Lintas

Menurut (Direktorat Bina Marga, 2024), desain perkerasan kaku menggunakan Jumlah Kelompok Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN) dan bukan nilai ESA sebagai satuan beban lalu lintas untuk perkerasan beton. Lalu lintas harus dianalisis berdasarkan hasil perhitungan volume lalu lintas dan konfigurasi sumbu, menggunakan data terakhir atau data dua tahun terakhir.

Pada lampiran disajikan data distribusi beban JSKN per provinsi. Data ini dikembangkan untuk studi penimbangan beban gandar kendaraan di beberapa provinsi pada periode 5 tahun terakhir sekitar 2015 sampai 2019.

Kendaraan yang digunakan sebagai dasar perencanaan perkerasan beton semen adalah kendaraan dengan berat total minimal 5 ton. Perencanaan konfigurasi sumbu mencakup lima kelompok sumbu yang berbeda adalah, sebagai berikut:

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)

Berikut disajikan Tabel 2.15. tentang konfigurasi sumbu setiap kelas kendaraan, ialah sebagai berikut :

Tabel 2.15. Konfigurasi Sumbu Kendaraan

Kelas Kendaraan	JSKN	STRT	STRG	STdRT	STdRG	STrRG	SQdRG
5B	2	1	1	-	-	-	-

Kelas Kendaraan	JSKN	STRT	STRG	STdRT	STdRG	STrRG	SQdRG
6A	2	2	-	-	-	-	-
6B	2	1	1	-	-	-	-
7A1	2	-	1	1	-	-	-
7A2	2	1	-	-	1	-	-
7A3	2	-	-	1	1	-	-
7B1	4	1	3	-	-	-	-
7B2	4	-	3	1	-	-	-
7B3	4	1	2	-	1	-	-
7C1	3	1	1	-	1	-	-
7C2A	3	1	-	-	2	-	-
7C2B	3	1	1	-	-	1	-
7C3	3	1	-	-	1	1	-
7C4	3	1	-	-	1	-	1

(Sumber: Bina Marga Manual Desain Perkerasan Jalan, 2024)

Berikut disajikan persamaan untuk menghitung jumlah JSKN pada jalur desain selama umur rencana, adalah sebagai berikut :

Persamaan 2.10. Jumlah Komulatif JSKN pada jalur Desain

$$JSKN = (\sum LHR_{JK} \times JSKN_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (2.10)$$

Dimana,

LHR_{JK} : Lintas harian rata – rata tiap jenis kendaraan niaga
(kend/hari)

$JSKN_{JK}$: Sumbu total kendaraan niaga tiap jenis kendaraan niaga
(Tabel 2.15)

DD : Faktor distribusi arah

DL : Faktor distribusi lajur (Tabel 2.14)

R : Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas komulatif

$JSKN$: Jumlah sumbu total kendaraan niaga selama umur rencana

Berikut disajikan tabel 2.16 untuk faktor distribusi lajur (DL), adalah sebagai berikut :

Tabel 2.16. faktor Distribusi lajur (DL)

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

(Sumber: Bina Marga Manual Desain Perkerasan Jalan, 2024)

Berikut disajikan Tabel 2.17 tentang faktor laju pertumbuhan lalu lintas, I (%) adalah sebagai berikut :

Tabel 2.17. Faktor laju Pertumbuhan Lalu Lintas, I (%)

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

(Sumber: Bina Marga Manual Desain Perkerasan Jalan, 2024)

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

Persamaan 2.11. Faktor Pertumbuhan Komulatif

$$R = \frac{(1+0,01 i)^{UR}-1}{0,01 i} \quad (2.11.1)$$

Dimana :

R : Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas komulatif

i : Tingkat pertumbuhan tahunan (%)

UR : Umur rencana (tahun)

Jika diperkirakan akan terjadi perbedaan tingkat pertumbuhan tahunan selama total umur rencana (UR), dengan laju $i_1\%$ pada periode awal (UR1 tahun) dan $i_2\%$ untuk periode selanjutnya (UR – UR1), maka faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif dapat dihitung menggunakan formula berikut:

$$R = \frac{(1+0,01 i)^{UR-1}}{0,01 i} + (1 + 0,01 i_1)^{(UR_1-1)}(1 + 0,01 i_2) \left\{ \frac{(1+0,01 i_1)^{(UR-U_1)-1}}{0,01 i_2} \right\} \quad (2.11.2)$$

Dimana :

R : Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif

I₁ : Tingkat pertumbuhan tahunan periode 1 (%)

I₂ : Tingkat pertumbuhan tahunan periode 2 (%)

UR : Total umur rencana (tahun)

UR₁ : Umur rencana periode 1 (tahun)

G. Reliabilitas

Menurut (Direktorat Bina Marga, 2024), penentuan beban rencana, beban sumbu dikalikan dengan faktor keamanan beban (L_{sf}). Faktor keamanan beban ini digunakan sebesar 90% dengan nilai faktor keamanan beban (L_{SF}) untuk JPCP sebesar 1,2 dan CRCP sebesar 1,1.

Faktor Keamanan beban untuk perkerasan kaku pada bundaran harus memenuhi gaya radial atau sentris yang disalurkan ke roda luar sehingga nilai reliabilitas ditambah 0,3.

H. Persamaan Desain Perkerasan kaku

Persamaan desain perkerasan kaku mempertimbangkan data regional beban sumbu kendaraan berdasarkan tipe golongan jumlah sumbu kendaraan niaga (JSKN), data regional dapat diperoleh pada survey langsung, data daerah lajur keluar masuk, ataupun mengacu pada data survey yang diajukan lembaga. Berikut disajikan tabel 2.18 tentang data sumbu faktual dan tabel 2.19 tentang data sumbu normal pada regional Jawa Timur Jalur Lintas Selatan, adalah sebagai berikut :

Tabel 2.18. Jawa Timur - Lintas Selatan Beban Faktual

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SQdRG (%)
10	0,02	0,02	3,13	0,00	0,00	0,00
20	15,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	36,20	4,70	0,00	0,00	0,00	0,00
40	17,05	6,85	6,25	0,00	0,00	0,00
50	9,35	11,79	12,49	0,00	0,00	0,00
60	6,66	10,79	6,25	0,56	0,00	0,00
70	3,91	19,76	3,13	0,84	0,00	0,00
80	10,02	13,92	6,25	1,34	0,00	0,00
90	1,20	2,53	12,50	1,69	3,45	0,00
100	0,53	3,44	3,13	1,48	0,00	0,00
110	0,04	3,06	9,38	2,46	0,00	0,00
120	0,00	2,64	6,25	1,90	0,00	0,00
130	0,00	12,11	6,25	2,46	10,34	0,00
140	0,00	4,79	0,00	1,97	0,00	0,00
150	0,00	2,82	3,13	1,48	3,45	0,00
160	0,00	0,76	21,88	2,32	0,00	0,00
170	0,00	0,04	0,00	1,55	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	1,97	0,00	0,00
190	0,00	0,00	0,00	8,29	0,00	0,00
200	0,00	0,00	0,00	3,30	0,00	0,00
210	0,00	0,00	0,00	4,99	0,00	0,00
220	0,00	0,00	0,00	3,58	0,00	0,00
230	0,00	0,00	0,00	3,65	0,00	0,00
240	0,00	0,00	0,00	4,92	3,45	0,00
250	0,00	0,00	0,00	4,92	0,00	0,00
260	0,00	0,00	0,00	4,85	0,00	0,00
270	0,00	0,00	0,00	7,52	0,00	0,00
280	0,00	0,00	0,00	7,73	0,00	0,00
290	0,00	0,00	0,00	8,43	0,00	0,00
300	0,00	0,00	0,00	7,03	0,00	0,00
310	0,00	0,00	0,00	4,36	3,45	0,00
320	0,00	0,00	0,00	1,26	3,45	0,00
330	0,00	0,00	0,00	0,70	3,45	0,00
340	0,00	0,00	0,00	0,91	3,45	0,00
350	0,00	0,00	0,00	0,84	3,45	0,00

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SQdRG (%)
360	0,00	0,00	0,00	0,35	3,45	0,00
370	0,00	0,00	0,00	0,21	0,00	0,00
380	0,00	0,00	0,00	0,07	3,45	0,00
390	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00
400	0,00	0,00	0,00	0,00	51,72	0,00
410	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
420	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
430	0,00	0,00	0,00	0,00	3,45	0,00
Jumlah	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00

(Sumber: Bina Marga Manual Desain Perkerasan Jalan, 2024)

Tabel 2.19. Jawa Timur - Lintas Selatan Beban Normal

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SQdRG (%)
10	0,02	0,02	3,13	0,00	0,00	0,00
20	15,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	36,20	4,70	0,00	0,00	0,00	0,00
40	17,05	6,85	6,25	0,00	0,00	0,00
50	9,35	11,79	12,50	0,00	0,00	0,00
60	6,66	10,79	6,25	0,56	0,00	0,00
70	3,91	19,76	3,13	0,84	0,00	0,00
80	11,79	32,18	6,25	1,34	0,00	0,00
90	0,00	0,79	62,50	1,69	3,45	0,00
100	0,00	13,13	0,00	1,48	0,00	0,00
110	0,00	0,00	0,00	2,46	0,00	0,00
120	0,00	0,00	0,00	1,90	0,00	0,00
130	0,00	0,00	0,00	2,46	10,34	0,00
140	0,00	0,00	0,00	1,97	0,00	0,00
150	0,00	0,00	0,00	1,48	3,45	0,00
160	0,00	0,00	0,00	2,32	0,00	0,00
170	0,00	0,00	0,00	1,55	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	79,97	0,00	0,00
190	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
200	0,00	0,00	0,00	0,00	82,76	0,00

Beban Kelompok Sumbu (kN)	STRT (%)	STRG (%)	STdRT (%)	STdRG (%)	STrRG (%)	SQdRG (%)
Jumlah	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00

(Sumber: Bina Marga Manual Desain Perkerasan Jalan, 2024)

Dalam mempertimbangkan desain rencana tebal perkerasan kaku atau beton semen ada dua hal yang dipertimbangkan yaitu, sebagai berikut:

1. Retak lelah (*fatigue*) pada perkerasan

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

Persamaan 2.12. Jumlah Repetisi Beban yang Diizinkan

$$\log_{10} N_f = \left(\frac{0.9719 - S_r}{0.0828} \right) \text{ Jika } S_r > 0.55 \quad (2.12.1)$$

$$N_f = \left(\frac{4.258}{S_r - 0.4325} \right)^{3.268} \text{ Jika } 0.45 \leq S_r \leq 0.55 \quad (2.12.2)$$

$$S_r = \frac{S_e}{0.944 - f_{cf}} \left(\frac{P L_{SF}}{4.45 F_1} \right)^{0.94} \quad (2.12.3)$$

Dimana,

S_e : Tegangan ekuivalen beton (Mpa)

F_{cf} : Kuat lentur karakteristik desain pada umut beton 28 hari (MPa)

P : Beban kelompok sumbu (kN)

L_{SF} : Faktor load safety

F_1 : 9 untuk sumbu tunggal dengan roda tunggal (STRT)
: 18 untuk sumbu tunggal dengan roda ganda (STRG)
: 18 untuk sumbu tandem dengan roda tunggal (STdRT)
: 36 untuk sumbu tandem dengan roda ganda (STdRG)
: 54 untuk sumbu tridem dengan roda ganda (STrRG)
: 72 untuk sumbu empat dengan roda ganda (SQdRG)
 N_f : Tak terhingga jika nilai S_r kurang dari 0.45

Tegangan ekuivalen (S_e) dan faktor erosi (F_3) didapatkan pada persamaan 2.9. Koefisien a hingga j pada persamaan 2.9. diperoleh dari tabel 2.20 sampai tabel 2.22.

Persamaan 2.13. Tegangan Ekuivalen (S_e)

$$S_e \text{ atau } F_3 = a + \frac{b}{D} + c \cdot \ln(E_f) + \frac{d}{D^2} + e \cdot [\ln(E_f)]^2 + f \cdot \frac{\ln(E_f)}{D} + \frac{[\ln(E_f)]^2}{D} + j \cdot \frac{\ln(E_f)}{D^2} \quad (2.13)$$

Dimana,

A,b,c,d,e,f,g,h,I,j : Koefisien pada tabel 2.16 sampai 2.18

D : Tebal pelat beton (mm)

Ef : CBR tanah dasar efektif (%)

2. Kerusakan Erosi

Erosi tanah dasar atau lapis pondasi bawah yang timbul akibat lendutan berulang pada sambungan dan retakan. Jumlah beban yang diizinkan untuk nilai beban sumbu tertentu dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

Persamaan 2.14. Nilai Beban Sumbu Tertentu

$$\log_{10}(F_2 N_e) = 14.523 - 6.777 \left[\max \left(0 \text{ atau } \left(\frac{P L_{SF}}{4.45 F_4} \right) \cdot \frac{10^{F_3}}{41.35} - 9.0 \right) \right] \quad (2.14)$$

Dimana,

P : Beban kelompok sumbu (kN)

L_{SF} : Faktor load safety

F_2 : Penyesuaian untuk efek pada sisi pelat

: 0.06 untuk pelat dengan bahu bukan beton

: 0,94 untuk pelat dengan bahu beton

F_3 : Faktor erosi

F_4 : Penyesuaian beban untuk erosi karena kelompok sumbu

- : 9 untuk sumbu tunggal dengan roda tunggal (STRT)
- : 18 untuk sumbu tunggal dengan roda ganda (STRG)
- : 18 untuk sumbu tandem dengan roda tunggal (STdRT)
- : 36 untuk sumbu tandem dengan roda ganda (STdRG)
- : 54 untuk sumbu tridem dengan roda ganda (STrRG)
- : 54 untuk sumbu empat dengan roda ganda (SQdRG)

Faktor erosi (F3) diperoleh dari persamaan 2.13 dengan menggunakan koefisien a sampai j pada tabel 2.20, tabel 2.21, dan tabel 2.22. tidak ada batasan yang ditetapkan untuk input beban sumbu dan faktor keamanan beban sumbu yang digunakan pada persamaan 2.12.1 dan persamaan 2.13

Berikut disajikan tabel 2.20, tentang koefisien untuk prediksi tegangan ekuivalen (Se), tabel 2.21, tentang koefisien untuk prediksi faktor erosi (F3) untuk beton JPCP dan tabel 2.22, tentang koefisien untuk prediksi faktor erosi (F3) untuk beton CRCP

Tabel 2.20. Koefisien untuk Prediksi Tegangan Ekuivalen (Se)

Koefisien	Dengan Bahu Beton			
	Jenis Kelompok Gandar			
	STRT & STdRT	STRG	STdRG	STrRG & SQdRG
a	-0,0510	0,3300	0,0880	-0,1450
b	26,00	206,50	301,50	258,60
c	0,0899	-0,4684	-0,1846	0,0080
d	35.774,00	28.661,00	4.418,00	1,41
e	-0,0376	0,1650	0,0939	0,0312
f	14,5700	2,8200	-59,9300	-61,2500
g	-861,5480	-686,5100	280,2970	488.079,0000
h	0,0031	-0,0186	-0,0128	-0,0058
i	1,3098	-1,9606	-1,9606	4,7428
j	-4.009,00	-2.717,00	- 2.717,00	2.564,00

(Sumber: Bina Marga Manual Desain Perkerasan Jalan, 2024)

Tabel 2.21. Koefisien untuk Prediksi Faktor Eroso (F3) untuk Beton JPCP

Koefisien	Dengan Bahu Beton			
	Jenis Kelompok Gandar			
	STRT & STdRT	STRG	STdRG	STrRG & SQdRG
a	0,3450	0,9140	1,5640	2,1040
b	534,600	539,800	404,100	245,400
c	-0,1711	-0,1416	-0,1226	-0,2473
d	-44.908,00	-44.900,00	-32.024,00	-15.007,00
e	0,0347	0,0275	0,0256	0,0469
f	20,4900	16,3700	-9,7900	8,8600
g	1.676.710,00	1.654.590,00	1.150.280,00	518.916,00
h	-0,0038	-0,0032	-0,0052	-0,0075
i	-1,3829	-0,9584	2,1997	1,5517
j	-913,00	-765,00	469,00	-599,00

(Sumber: Bina Marga Manual Desain Perkerasan Jalan, 2024)

Tabel 2.22. Koefisien untuk Prediksi Faktor Eroso (F3) untuk Beton CRCP

Koefisien	Dengan Bahu Beton			
	Jenis Kelompok Gandar			
	STRT & STdRT	STRG	STdRG	STrRG & SQdRG
a	-0,1840	0,4400	0,9520	1,6500
b	602,30	609,80	544,90	359,40
c	-0,0085	-0,0484	-0,0404	-0,1765
d	-50.996,00	-52.519,00	-47.500,00	-28.901,00
e	-0,0122	0,0017	0,0179	0,0435
f	8,9900	9,6200	-31,5400	-15,9700
g	1.874.370,00	1.949.350,00	1.719.950,00	1.085.800,00
h	0,0008	-0,0007	-0,0051	-0,0084
i	-0,4759	-0,6314	3,3789	3,2908
j	-374,00	-326,00	1.675,00	785,00

(Sumber: Bina Marga Manual Desain Perkerasan Jalan, 2024)

I. Perencanaan Tulangan

Menurut (Direktorat Bina Marga, 2024) tujuan dari tulangan ada dua yaitu sebagai berikut :

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

Jumlah tulangan yang dibutuhkan dipengaruhi oleh jarak antar sambungan susut, sementara pada beton bertulang yang bersifat menerus, diperlukan jumlah tulangan yang memadai untuk meminimalkan dampak sambungan susut. Berikut disajikan tipe penulangan berdasarkan strukturnya :

1. Tulangan pada Perkerasan Beton Semen Bersambung Tanpa Tulangan

Tulangan perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan atau disingkat JPCP, Ada kemungkinan bahwa pemasangan tulangan diperlukan untuk mengontrol terjadinya retak. Bagian pelat yang diperkirakan akan retak karena konsentrasi tegangan yang tidak bisa dihindari meskipun pola sambungan sudah diatur, maka pelat tersebut harus dilengkapi dengan tulangan. Penerapan tulangan pada perkerasan beton semen yang bersambung tanpa tulangan umumnya dilakukan pada:

- 1) Pelat dengan bentuk tak lazim. Pelat tersebut tidak lazim apabila perbandingan antara panjang dengan lebar lebih besar 1.25 atau pola sambungan pelat tidak benar benar berbentuk persegi
- 2) Pelat dengan sambungan tidak sejalur
- 3) Pelat berlubang

2. Tulangan pada Perkerasan Beton Semen Bersambung dengan Tulangan

Pada perkerasan semen yang menggunakan sambungan dengan tulangan, luas penampang tulangan yang diperlukan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

Persamaan 2.15. Perhitungan Luas Penampang Tulangan

$$A_s = \frac{\mu \times L \times M \times g \times h}{2 \times f_s} \quad (2.15)$$

Dimana,

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

f_s : Kuat tarik ijin tulangan (Mpa). Biasanya sebesar 0.6 kali tegangan lelah

g : Percepatan gravitasi

h : Jarak antara sambungan yang tidak diikat dan atau tepi bebas pelat (m)

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

μ : Koefisien gesekan antara pelat beton dengan pondasi bawah seperti yang disajikan pada tabel 2.12

3. Tulangan pada Perkerasan Beton Semen Menerus dengan Tulangan Tulangan Memanjang

Tulangan memanjang yang diperlukan pada perkerasan beton semen bertulang yang bersambung dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

Persamaan 2.16. Persentase persentase luas tulangan memanjang

$$P_s = \frac{100 \times f_{ct} \times (1.3 - 0.2\mu)}{f_y - n \times f_{ct}} \quad (2.16)$$

Dimana,

P_s : Presentase luas tulangan memanjang yang dibutuhkan terhadap luas penampang beton (%)

f_{ct} : Kuat tarik langsung beton = $(0.4-0.5 f_{cf})(\text{kg/cm}^2)$

f_y : Tegangan leleh rencana baja (kg/cm^2)

n : Koefisien gesekan antara pelat beton dengan lapisan di bawahnya, berikut disajikan tabel 2.23 untuk koefisien gesekan antara pelat dengan lapisan bawahnya :

Tabel 2.23. Hubungan Kuat Tekan Beton dan Angka Ekuivalen Baja dan Beton (n)

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

(Sumber: Bina Marga Manual Desain Perkerasan Jalan, 2024)

Persentase minimum tulangan memanjang pada perkerasan beton bertulang yang bersambung adalah 0,6% dari luas penampang beton. Untuk mengendalikan jarak dan lebar retakan, jumlah tulangan memanjang yang

optimal harus dipasang. Secara teori, jarak antar retakan pada perkerasan beton bertulang yang bersambung dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

Persamaan 2.17. Jarak Teoritis Antara Retakan

$$L_{cr} = \frac{f_{ct}^2}{n \times P^2 \times u \times f_b (\varepsilon_s \times E_c - f_{ct})} \quad (2.17)$$

Dimana,

L_{cr} : Jarak teoritis retakan (cm)

P : Perbandingan luas tulangan memanjang dengan luas penampang beton

u : Perbandingan keliling terhadap luass 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 = $(0.4-0.5 f_{cf})(\text{kg/cm}^2)$

n : Angka ekuivalensi antara baja dan beton = (E_s/E_c)

E_c : Modulus elastisitas beton = $14.850 \sqrt{f_c}$ (kg/cm²)

E_s : Modulus elastisitas baja = 2.1×10^6 (kg/cm²)

Untuk memastikan terbentuknya retakan yang halus dan jarak antar retakan yang optimal, maka : Persentase tulangan dan perbandingan antara keliling dan luas tulangan harus besar, serta perlu menggunakan tulangan ulir untuk memperoleh tegangan lekat yang lebih tinggi.

Ketentuan dari persamaan diatas, jarak retakan teoritis yang dihitung harus memberikan hasil antara 150 sampai 250 cm dan jarak tulangan 100 mm sampai 225 mm dengan batang tulangan memanjang berkisar antara 12mm sampai 20 mm

Tulangan Melintang

Luas tulangan melintang (A_s) yang dibutuhkan pada perkerasan beton bertulang yang bersambung dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.11. tulangan melintang direkomendasikan dengan diameter batang ulir tidak lebih kecil dari 12mm dan jarak maksimum tulangan dari sumbu ke sumbu 75 cm

Penempatan Tulangan

Tulangan memanjang pada perkerasan beton semen harus dipasang pada kedalaman yang lebih dari 65 mm dari permukaan untuk pelat dengan ketebalan ≤ 20 cm. Untuk pelat dengan ketebalan > 20 cm, tulangan memanjang diposisikan antara sepertiga hingga setengah dari ketebalan pelat dari permukaan. Tulangan memanjang dipasang di atas tulangan melintang.

J. Perencanaan Sambungan

Sambungan pada Perkerasan kaku di menunjukkan pembatasan tegangan dan sebagai pengendali retakan yang disebabkan susut perkerasan kaku, penyusutan ini juga bisa disebabkan pengaruh lenting (*curling/warping*) serta beban lalu lintas. Pekerjaan yang dilakukan dalam sambungan pun dapat dipermudah dan memiliki ruang gerak pelat agar tidak terjadi retakan

Ada tiga jenis sambungan pada perkerasan beton semen atau perkerasan kaku yaitu : Sambungan memanjang, Sambungan melintang, Sambungan isolasi. Semua sambungan wajib di tutup oleh bahan penutup atau biasa disebut joint sealer.

1. Sambungan Memanjang dengan Batang Pengikat (*Tie Bars*)

Pemasangan sambungan menjang memiliki tujuan sebagai pengendali terjadinya retak yang memanjang dengan jarak antar sambu8ngan berkisar antara 3 sampai 4 meter. Sambungan memanjang harus dilengkapi dengan tipe batang baja ulir dengan minimum mutu baja ulir BJTU-24 dengan diameter 16 mm. Ukuran batang yang digunakan dapat dihitung dengan persamaan 2.18.1 dan 2.18.2

Persamaan 2.18. Ukuran Batang Pengikat

$$A_t = 240 \times b \times h \quad (2.18.1)$$

$$I = (38,3 \times \phi) + 75 \quad (2.18.2)$$

Dimana,

A_t : Luas penampang tulangan per meter panjang sambungan (mm²)

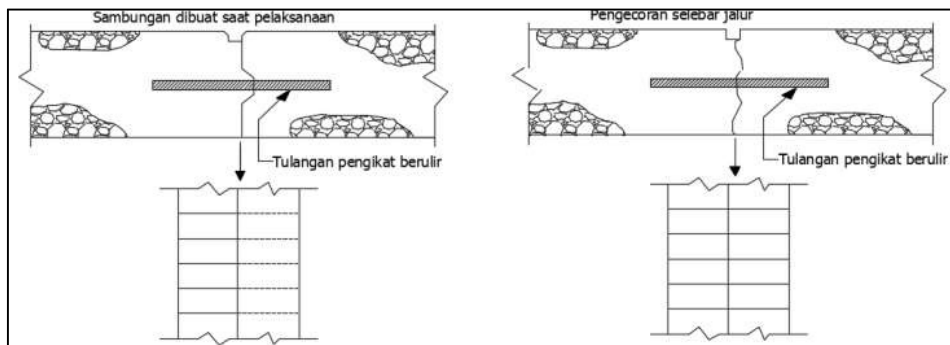
b : Jarak terkecil antar sambungan atau jarak sambungan dengan tepi perkerasan (m)

h : Tebal pelat (m)

I : Panjang batang pengikat (mm)

ϕ : Diameter batang pengikat yang dipilih (mm)

Berikut disajikan gambar 2.5. jarak batang pengikat yang digunakan ialah 70 cm, dengan tipikal sambungan memanjang, sebagai berikut :

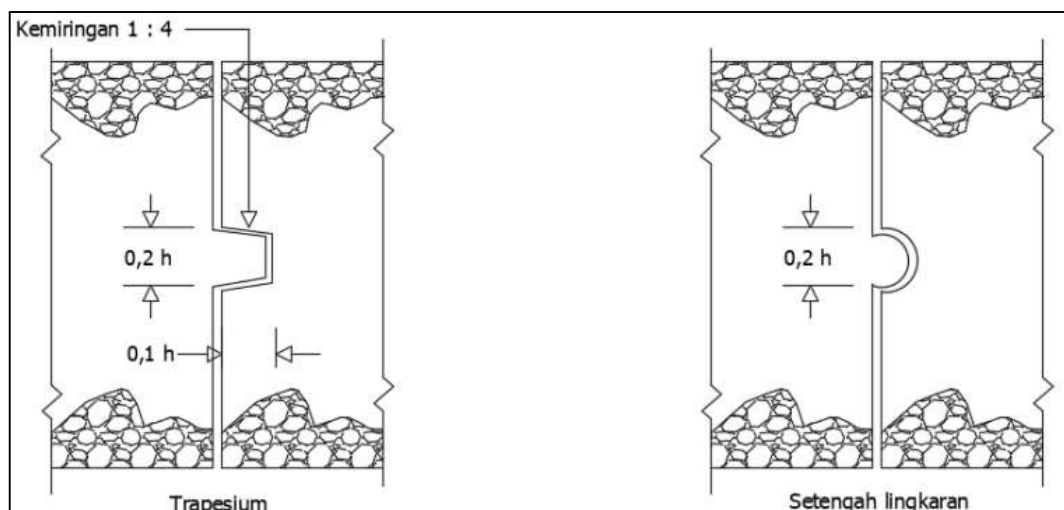


Gambar 2.5. Tipikal Sambungan Memanjang

(Sumber: Bina Marga Manual Desain Perkerasan Jalan, 2024)

2. Sambungan Pelaksanaan Memanjang

Secara umum dalam pelaksanaan sambungan memanjang adalah dengan cara penguncian. Bentuk dan ukuran penguncian berbentuk trapesium atau setengah lingkaran sebagaimana yang disajikan pada gambar 2.6. sebagai berikut :



Gambar 2.6. Ukuran Standar Penguncian Sambungan Memanjang

(Sumber: Bina Marga Manual Desain Perkerasan Jalan, 2024)

Sebelum pelat beton dipasang di sebelahnya, permukaan sambungan harus diberi lapisan aspal atau kapur tembok untuk menghindari terjadinya keterikatan antara beton yang lama dan yang baru.

3. Sambungan Susut Memanjang

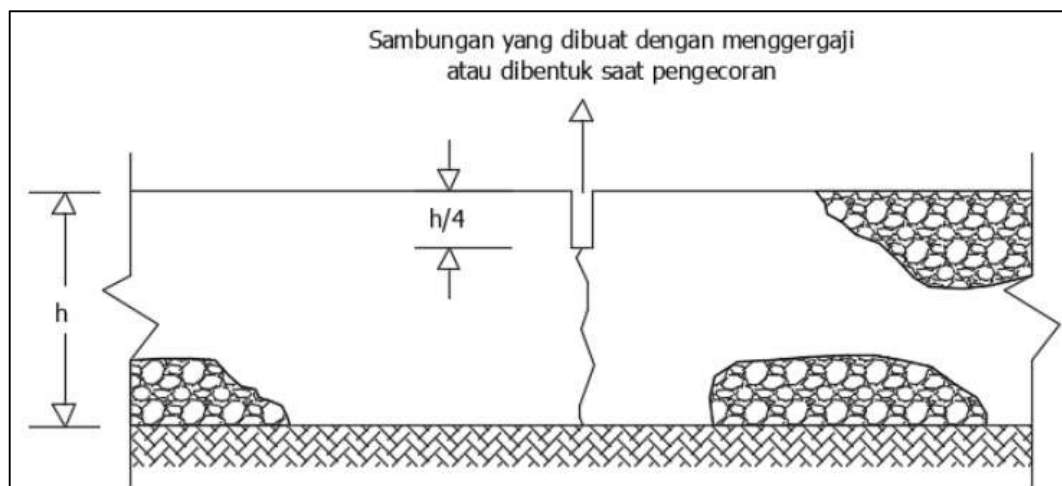
Sambungan susut memanjang dapat dibuat dengan dua metode, yaitu dengan menggergaji atau membentuknya saat beton masih dalam keadaan plastis, dengan kedalaman sekitar sepertiga dari ketebalan pelat.

4. Sambungan Susut dan Sambungan pelaksanaan melintang

Ujung sambungan ini harus membentuk sudut 90 derajat terhadap sumbu memanjang jalan dan tepi perkerasan. Untuk mengurangi beban dinamis, sambungan melintang perlu dipasang dengan kemiringan 1:10 mengikuti arah perputaran jarum jam.

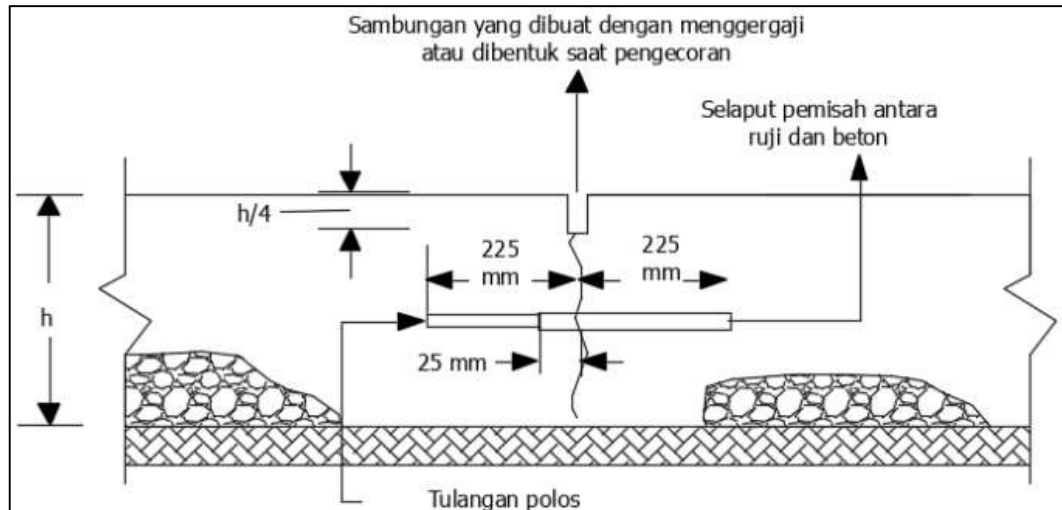
5. Sambungan Susut Melintang

Sambungan susut melintang memiliki kedalaman kurang lebih mencapai seperempat dari tebal pelat sebagaimana disajikan gambar 2.7 dan gambar 2.8 sebagai berikut :



Gambar 2.7. Sambungan Susut Melintang Tanpa Ruji

(Sumber: Bina Marga Manual Desain Perkerasan Jalan, 2024)



Gambar 2.8. Sambungan Susut Melintang dengan Rui

(Sumber: Bina Marga Manual Desain Perkerasan Jalan, 2024)

Jarak antar sambungan susut melintang pada perkerasan beton bersambung tanpa tulangan adalah sekitar 4-5 meter, sementara untuk perkerasan beton bersambung dengan tulangan berkisar antara 8-15 meter. Untuk sambungan pada perkerasan beton menerus dengan tulangan, jaraknya disesuaikan dengan kemampuan pelaksanaan.

Sambungan ini harus dilengkapi dengan rui polos sepanjang 45 cm, dengan jarak antar rui sekitar 30 cm, dan harus dipasang lurus tanpa tonjolan tajam yang dapat mengganggu pergerakan bebas saat beton mengalami penyusutan. Setengah bagian panjang rui polos harus dilapisi cat atau bahan anti-lengket untuk memastikan tidak terjadi ikatan dengan beton. Berikut disajikan tabel 2.24 tentang diameter rui yang digunakan mengikuti ukuran tebal perkerasan, adalah sebagai berikut :

Tabel 2.24. Diameter Rui

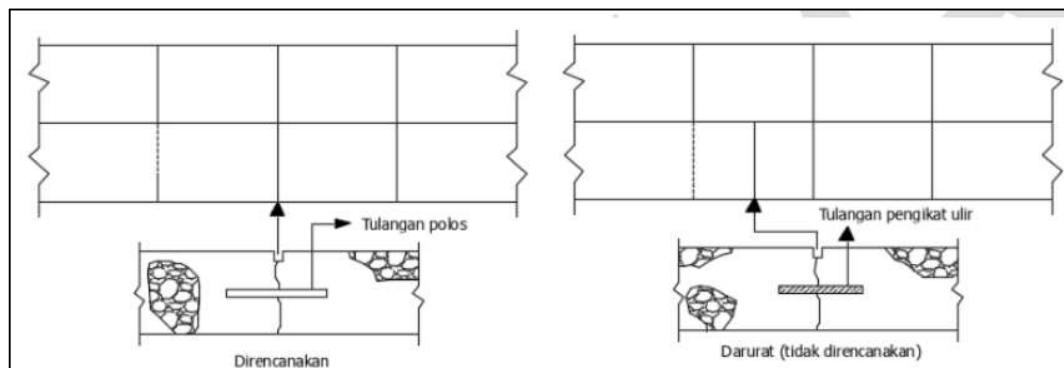
No	Tebal Pelat beton, h (mm)	Diameter Rui (mm)
1	$125 < h \leq 140$	20
2	$140 < h \leq 160$	24
3	$160 < h \leq 190$	28
4	$190 < h \leq 220$	33

No	Tebal Pelat beton, h (mm)	Diameter Ruji (mm)
5	$220 < h \leq 250$	36
6	$250 < h \leq 300$	38

(Sumber: Bina Marga Manual Desain Perkerasan Jalan, 2024)

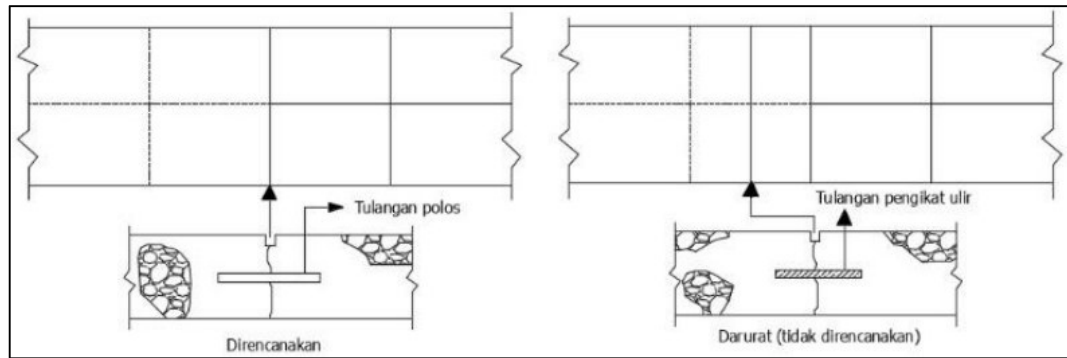
6. Sambungan Pelaksanaan Melintang

Sambungan pelaksanaan melintang yang bersifat darurat harus menggunakan batang pengikat berulir, sedangkan untuk sambungan yang direncanakan, batang tulangan polos diletakkan di tengah ketebalan pelat. Berikut disajikan gambar tipikal sambungan pelaksanaan melintang dapat dilihat pada gambar 2.9 dan gambar 2.10. Sambungan tersebut harus dilengkapi dengan batang pengikat berdiameter 16 mm, panjang 69 cm, dan jarak 60 cm untuk ketebalan pelat hingga 17 cm. Untuk ketebalan pelat lebih dari 17 cm, batang pengikat yang digunakan harus berdiameter 20 mm, panjang 84 cm, dan jarak 60 cm.



Gambar 2.9. Sambungan Pelaksanaan yang Direncanakan dan Tidak Direncanakan Untuk Pengecoran per Lajur

(Sumber: Bina Marga Manual Desain Perkerasan Jalan, 2024)

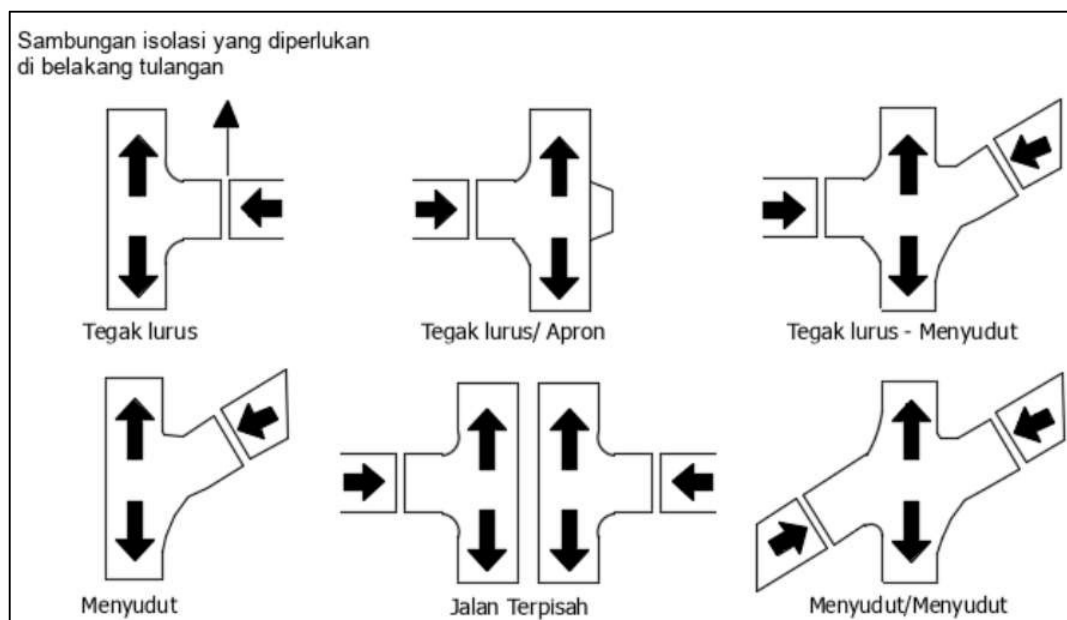


Gambar 2.9. Sambungan Pelaksanaan yang Direncanakan dan Tidak Direncanakan Untuk Pengecoran per Lajur Seluruh Lebar Perkerasan

(Sumber: Bina Marga Manual Desain Perkerasan Jalan, 2024)

7. Sambungan Isolasi

Sambungan Isolasi merupakan sambungan yang memisahkan perkerasan dengan konstruksi lain, seperti : manhole, tiang listrik, jembatan, jalan lama, persimpangan, dan sebagainya. Berikut disajikan gambar 2.10 sebagai contoh dari sambungan isolasi sebagai berikut :

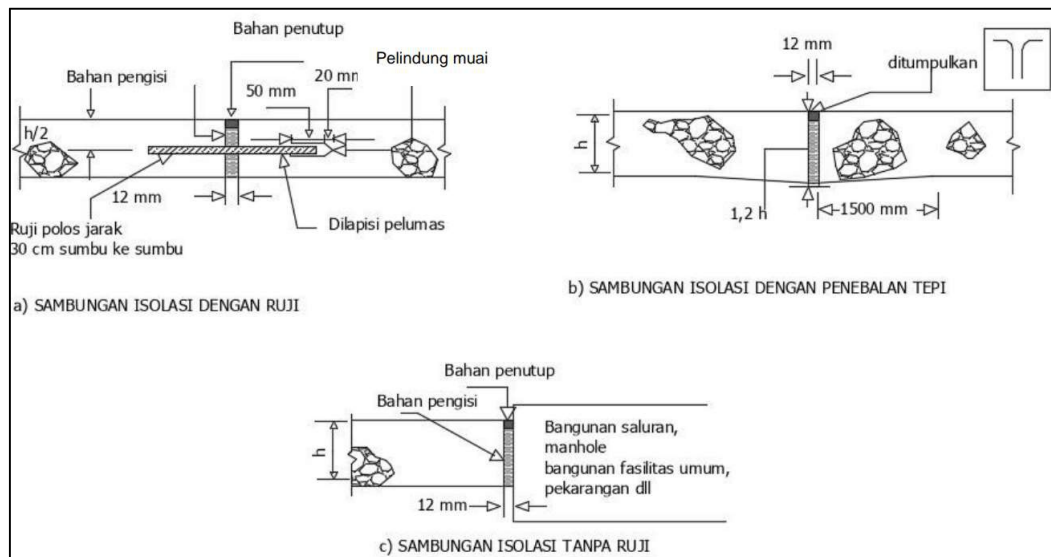


Gambar 2.10. Contoh Persimpangan yang membutuhkan Sambungan isolasi

(Sumber: Bina Marga Manual Desain Perkerasan Jalan, 2024)

Sambungan isolasi harus dilengkapi dengan bahan penutup (*joint sealer*) dengan ketebalan 5-7 mm, sementara bagian yang tersisa diisi dengan bahan

pengisi (*joint filler*). Berikut disajikan gambar 2.11. tentang sambungan isolasi, sebagai berikut :



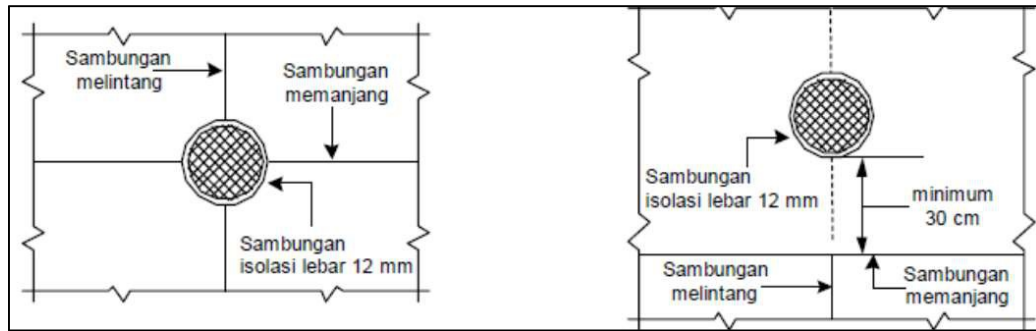
Gambar 2.11. Sambungan isolasi

(Sumber: Bina Marga Manual Desain Perkerasan Jalan, 2024)

Sambungan isolasi yang digunakan pada bangunan lainnya, seperti jembatan, memerlukan pemasangan ruji untuk mentransfer beban. Pada ujung ruji, harus dipasang pelindung muai agar ruji dapat bergerak bebas. Pelindung muai harus cukup panjang untuk menutupi ruji sepanjang 50 mm dan tetap memiliki ruang bebas yang cukup, dengan panjang minimal setara dengan lebar sambungan isolasi ditambah 6 mm, seperti pada gambar 2.11 a. Ukuran ruji dapat dilihat pada tabel 2.20

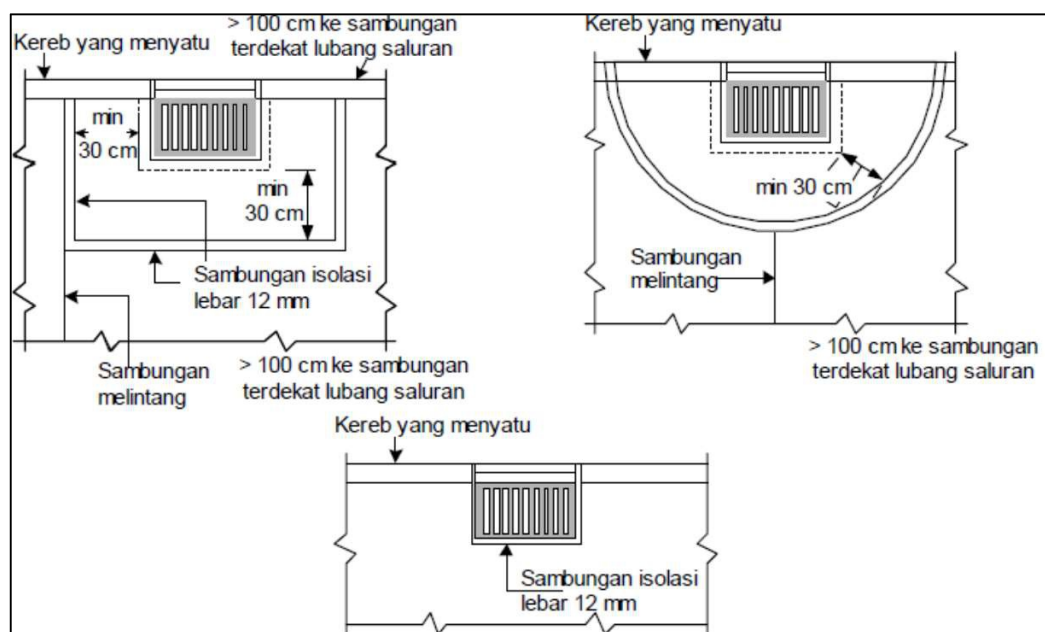
Sambungan isolasi pada persimpangan dan ram tidak memerlukan pemasangan ruji, namun harus diberi penebalan pada tepi untuk mengurangi tegangan. Setiap tepi sambungan harus ditebalkan sebesar 20% dari ketebalan perkerasan sepanjang 1,5 meter, seperti pada gambar 2.11 b

Sambungan isolasi yang digunakan pada lubang masuk ke saluran, manhole, tiang listrik, dan bangunan lain yang tidak memerlukan penebalan tepi atau ruji, diletakkan di sekitar bangunan tersebut. Berikut disajikan seperti gambar 2.11 c, gambar 2.12 dan gambar 2.13



Gambar 2.12. Tampak Atas Penempatan Sambungan Isoalasi pada Manhole

(Sumber: Bina Marga Manual Desain Perkerasan Jalan, 2024)



Gambar 2.13. Tampak Atas Penempatan Sambungan Isoalasi pada Lubang Masuk Saluran

(Sumber: Bina Marga Manual Desain Perkerasan Jalan, 2024)

K. Pola Sambungan

Pola sambungan pada perkerasan beton semen harus mematuhi batasan-batasan tertentu. Berikut batasan batasan pada sambungan perkerasan kaku :

1. Hindari penggunaan panel dengan bentuk yang tidak teratur. Usahakan panel berbentuk hampir persegi, dengan perbandingan panjang terhadap lebar maksimum 1,25.
2. Jarak maksimum sambungan memanjang adalah 3-4 meter.
3. Jarak maksimum sambungan melintang adalah 5 meter.

4. Semua sambungan susut harus diteruskan hingga ke kereb dan memiliki kedalaman sepertiga hingga seperempat dari ketebalan perkerasan.
5. Sambungan antar panel harus bertemu pada satu titik untuk mencegah terjadinya retakan refleksi pada lajur yang bersebelahan.
6. Hindari sudut antar sambungan yang lebih kecil dari 60 derajat dengan cara mengatur panjang terakhir sepanjang 0,5 meter untuk dibuat tegak lurus terhadap tepi perkerasan.
7. Jika sambungan berada dalam radius 1,5 meter dari *manhole* atau bangunan lainnya, jarak sambungan harus diatur agar sambungan dan bangunan tersebut membentuk sudut tegak lurus. Ini juga berlaku untuk bangunan berbentuk bundar. Untuk bangunan berbentuk segi empat, sambungan harus berada pada sudut atau di antara dua sudut bangunan.
8. Semua bangunan seperti *manhole* harus dipisahkan dari perkerasan dengan sambungan muai selebar 12 mm yang mencakup seluruh ketebalan pelat.
9. Perkerasan yang dekat dengan bangunan atau *manhole* harus ditebalkan 20% dari ketebalan normal dan berangsur-angsur berkurang kembali ke ketebalan normal sepanjang 1,5 meter.
10. Panel yang tidak berbentuk persegi panjang dan mengelilingi *manhole* harus dilengkapi dengan tulangan anyaman sebesar 0,15% dari penampang beton semen dan dipasang 5 cm di bawah permukaan atas. Tulangan harus dihentikan 7,5 cm dari sambungan.

Berikut disajikan gambar 2.14 dan gambar 2.15 tentang pola sambungan pada perkerasan kaku :

F : Sambungan pelaksanaan melintang yang tidak direncanakan

L. Penutup Sambungan

Penutup sambungan bertujuan untuk mencegah masuknya air dan/atau benda asing ke dalam sambungan perkerasan. Benda-benda yang masuk ke dalam sambungan dapat menyebabkan kerusakan, seperti penggompalan atau pelat beton yang saling menekan ke atas (*blow up*).