

**PERBANDINGAN PERKERASAN KAKU
(RIGID PAVEMENT) METODE
BINAMARGA 2017 DAN AASHTO 1993
PADA PENINGKATAN JALAN TOL**

Sanksi Pelanggaran Pasal 113
Undang-Undang No. 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
3. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
4. Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

**PERBANDINGAN PERKERASAN KAKU
(RIGID PAVEMENT) METODE
BINAMARGA 2017 DAN AASHTO 1993
PADA PENINGKATAN JALAN TOL**

Ir. Kemmala Dewi., M. T.



**PERBANDINGAN PERKERASAN KAKU (RIGID PAVEMENT)
METODE BINAMARGA 2017 DAN AASHTO 1993
PADA PENINGKATAN JALAN TOL**

**Diterbitkan pertama kali oleh Penerbit Arta Media Nusantara
Hak cipta dilindungi oleh undang-undang *All Rights Reserved*
Hak penerbitan pada Penerbit Arta Media Nusantara
Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian
atau seluruh isi buku ini
tanpa seizin tertulis dari Penerbit**

**Anggota IKAPI
NO.265/JTE/2023**
Cetakan Pertama: Mei 2022
15,5 cm x 23 cm
ISBN: 978-623-8571-31-4

Penulis:
Ir. Kemmala Dewi., M. T.

Editor:
Dimas Rahman Rizqian

Desain Cover:
Dwi Prasetyo

Tata Letak:
Ladifa Nanda

Diterbitkan Oleh:
Penerbit Arta Media Nusantara

Jalan Kebocoran, Gang Jalak No. 52, Karangsalam Kidul,
Kedungbanteng, Banyumas, Jawa Tengah
Email: artamediantara.co@gmail.com
Website: <http://artamedia.co/>
Whatsapp : 081-392-189-880

PRAKATA

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga buku ini dapat tersusun dan diterbitkan. Buku ini hadir sebagai jawaban atas kebutuhan mendesak akan pemahaman yang komprehensif dan praktis mengenai perencanaan peningkatan kapasitas jalan tol, yang menjadi salah satu aspek krusial dalam pengembangan infrastruktur transportasi di Indonesia.

Pesatnya pertumbuhan jumlah kendaraan dan meningkatnya mobilitas masyarakat menuntut adanya peningkatan kapasitas jalan, khususnya pada jalan tol yang merupakan tulang punggung transportasi darat. Peningkatan kapasitas jalan tol tidak hanya bertujuan untuk mengurangi kemacetan, tetapi juga untuk meningkatkan keselamatan dan efisiensi waktu perjalanan, yang pada akhirnya berkontribusi pada pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan masyarakat.

Pembangunan di sektor jalan tol adalah krusial untuk pembangunan wilayah dan peningkatan pertumbuhan ekonomi masyarakat di era seperti saat ini. Sehubungan dengan hal tersebut, buku ini menjelaskan perihal bagaimana meningkatkan kapasitas jalan tol, sehingga didapat waktu efektif untuk melakukan peningkatan kapasitas jalan.

Buku ini disusun berdasarkan pemahaman dan pembahasan yang komprehensif, serta pengalaman praktis dari berbagai proyek peningkatan kapasitas jalan tol di Indonesia. Kami berusaha menyajikan materi secara sistematis dan mudah dipahami, sehingga dapat menjadi panduan yang bermanfaat bagi para praktisi, akademisi, dan mahasiswa di bidang teknik sipil, perencanaan transportasi, dan manajemen infrastruktur.

Dalam buku ini, pembaca akan menemukan pembahasan meliputi: Klasifikasi Jalan di Indonesia, Kapasitas Jalan Bebas hambatan, Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku, Perencanaan Perkerasan Kaku Metode AASHTO 1993, Perencanaan Drainase

Jalan, Pengumpulan dan Pengolahan Data Lalu Lintas, hingga Perencanaan Struktur Jalan.

Akhir kata, kami menyadari bahwa buku ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran dari pembaca sangat kami harapkan untuk perbaikan dan penyempurnaan di masa yang akan datang. Kami berharap buku ini dapat memberikan kontribusi yang berarti bagi pengembangan infrastruktur jalan tol di Indonesia dan bermanfaat bagi semua pihak yang berkepentingan.

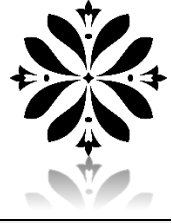
Semarang, Mei 2022
Penulis,

Ir. Kemmala Dewi, M.T

DAFTAR ISI

PRAKATA.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
BAB 2 KLASIFIKASI JALAN DI INDONESIA	9
- Jenis Jalan di Indonesia.....	9
- Klasifikasi Jalan.....	10
BAB 3 KAPASITAS JALAN BEBAS HAMBATAN.....	13
- Analisa Kapasitas Jalan Bebas hambatan	13
BAB 4 PERENCANAAN TEBAL PERKERASAN KAKU	19
- Perencanaan Perkerasan Kaku Metode MDP Bina Marga 2017	19
- Struktur Pondasi Perkerasan	26
- Daya Dukung Efektif Tanah Dasar	26
- Struktur Lapisan Perkerasan	28
- Jenis Sambungan	31
- Jenis Bahu Jalan.....	31
- Perencanaan Tebal Pelat Perkerasan	32
- Perencanaan Tulangan.....	33
- Perencanaan Sambungan Perkerasan Kaku.....	36
- Daya Dukung Tepi Perkerasan.....	40
BAB 5 PERENCANAAN PERKERASAN KAKU METODE AASHTO 1993	43
- Umur Rencana.....	43
- Analisa Lalu-Lintas	44
- Kemampuan Pelayanan (<i>Serviceability</i>).....	44
- Reliabilitas (<i>R</i>) dan Deviasi Standar Normal (<i>Z_r</i>).....	45
- Deviasi Standar Keseluruhan (<i>S_o</i>).....	47
- Modulus Reaksi Tanah Dasar (<i>k</i>).....	47

- Kuat Tekan Beton (f_c').....	49
- Modulus Elastisitas Beton (E_c).....	49
- Kuat Lentur Beton (<i>flexural strength</i> , S_c')	49
- Koefisien Drainase (C_d).....	50
- Koefisien Penyalur Beban (J).....	50
- Persamaan Penentu Tebal Pelat (D)	51
BAB 6 PERENCANAAN DRAINASE JALAN	53
- Koefisien Penyalur Beban (J).....	53
- Waktu Konsentrasi (T_c)	55
- Koefisien Pengaliran (C)	56
- Menghitung Luas Daerah Pengaliran (A).....	57
- Menghitung Debit Air (Q).....	58
- Menghitung Dimensi Saluran Drainase	58
- Menghitung Kemiringan Saluran Drainase	61
- Menghitung Tinggi Jagaan Saluran Drainase	62
- Menghitung Kemiringan Tanah	63
BAB 7 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA LALU LINTAS.....	65
- Pengumpulan Data.....	65
- Pengolahan Data Lalu Lintas.....	68
BAB 8 PERENCANAAN STRUKTUR JALAN	77
- Analisa Kapasitas Jalan	77
- Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku Metode MDP Bina Marga 2017	82
- Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku Metode AASHTO 1993	93
- Perbandingan Perencanaan Perkerasan Kaku antara Metode MDP Bina Marga 2017 dan AASHTO 1993.....	100
- Perencanaan Sambungan Perkerasan	102
- Perencanaan Saluran Tepi (<i>Drainase</i>).....	103
BAB 9 PENUTUP.....	111
DAFTAR PUSTAKA	115
INDEKS	116
PROFIL PENULIS.....	117

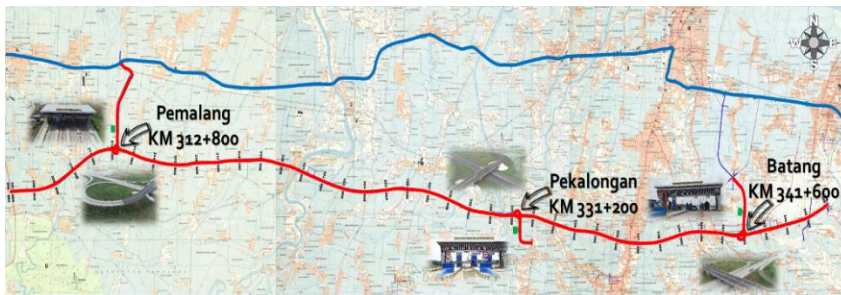


BAB 1

Pendahuluan

Pengembangan jalan memegang peranan penting dalam mengembangkan wilayah dan mendorong pertumbuhan masyarakat di zaman ini. Pembangunan di sektor jalan tol, juga krusial untuk pembangunan wilayah dan peningkatan pertumbuhan ekonomi masyarakat di era seperti saat ini. Oleh karenanya sektor jalan tol merupakan salah satu sektor prioritas di industri infrastruktur yang akan dibangun di seluruh Indonesia. Seiring dengan peningkatan pertumbuhan ekonomi masyarakat, jalan tol akan menjadi pilihan utama masyarakat untuk melakukan perjalanan darat baik dengan kendaraan pribadi, angkutan darat dan atau angkutan logistik yang tentunya akan menghemat waktu perjalanan.

Jalan tol Pemalang – Batang termasuk ke dalam ruas jalan tol Waskita Tol Road dibawah Badan Usaha Jalan Tol PT. Pemalang Batang Tol Road. Jalan tol Pemalang – Batang terhubung dengan Jalan tol Pejagan – Pemalang di bagian Barat dan Jalan tol Batang – Semarang di sebelah timur. Jalan tol tersebut masuk ke dalam jalan tol trans jawa yang mendistribusikan beban lalu lintas jalan nasional pantura antara Jakarta, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur dan sebaliknya maupun pergerakan antar kabupaten/kota (Pemalang – Pekalongan – Batang) seperti pada gambar 1.1 berikut ini:



Gambar 1.1 Trase Jalan tol Pemalang – Batang yang menghubungkan Pemalang – Pekalongan – Batang

Jalan tol Pemalang – Batang merupakan jalan bebas hambatan dan termasuk ke dalam jalan nasional dimana penggunaannya diwajibkan membayar tol. Pendapatan dari pengguna yang membayar tol tersebut adalah untuk pengembalian investasi Badan Usaha Jalan Tol, biaya operasional dan pemeliharaan jalan tol serta untuk peningkatan kapasitas jalan/ pelebaran jalan.

Jalan tol Pemalang – Batang memiliki panjang 39,2 km yang terbagi menjadi 2 jalur dan masing – masing jalur terdiri dari 2 lajur. Lebar jalan per lajur yaitu 3,6 m dengan lebar bahu dalam 1,5 m dan lebar bahu luar 3 m. Jenis perkerasan yang digunakan di jalan tol ini adalah perkerasan kaku dan perkerasan lentur. Adapun dalam bisnis plan perusahaan, desain akhir jalan tol Pemalang – Batang adalah 2 jalur 3 lajur.

Seiring dengan pertumbuhan dan perkembangan ekonomi, pergerakan barang dan manusia dalam sektor transportasi khususnya transportasi darat akan semakin meningkat. Mobilitas dan aksesibilitas orang dan barang yang menggunakan jalan tol akan meningkat sehingga kapasitas jalan tol yang ada dimungkinkan tidak lagi mampu menampung dan melayani pengguna jalan tol dengan baik. Hal tersebut dikarenakan volume kendaraan yang melintasi jalan tol sudah mendekati atau bahkan melebihi kapasitas jalan tol sehingga perjalanan pengguna jalan tol terhambat akibat kondisi arus lalu lintas yang padat.

Sehubungan dengan hal tersebut, penulis akan merencanakan peningkatan kapasitas jalan tol Pemalang – Batang yang sebelumnya akan dilakukan analisa derajat kejenuhan jalan tol Pemalang – Batang yaitu nilai rasio arus terhadap kapasitas sehingga didapat

waktu efektif untuk melakukan peningkatan kapasitas jalan. Analisa peningkatan kapasitas jalan menggunakan perkerasan kaku pada ruas jalan tol Pemalang – Batang berdasarkan data – data yang tersedia untuk ditulis dalam proyek akhir dengan Judul “Analisa Perbandingan Metode MDP Bina Marga 2017 dan AASHTO 1993 dalam Perencanaan Peningkatan Kapasitas Jalan Ruas Jalan Tol Pemalang – Batang menggunakan Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)”.

Berdasarkan latar belakang di atas maka penulis ingin membahas beberapa hal yang akan terjawab pada bab akhir buku ini, di antaranya yaitu : Pertama, berdasarkan hasil Analisa perhitungan Degree of Saturation (DS) kondisi eksisting, pada tahun berapa nilai $DS \geq 0,75$ sehingga diperlukan peningkatan kapasitas jalan? Kedua, berapa kebutuhan kapasitas rencana jalan pada saat nilai DS kondisi eksisting mencapai $\geq 0,75$ sebagai awal umur rencana hingga 45 tahun ke depan? Kedua, berapa tebal perkerasan yang dibutuhkan untuk pelebaran ruas jalan dengan metode MDP Bina Marga 2017? Ketiga, berapa tebal perkerasan yang dibutuhkan untuk peningkatan kapasitas jalan ruas jalan dengan metode AASHTO 1993? Keempat, berapa dimensi saluran tepi (drainase) yang direncanakan untuk mengurangi genangan air pada saat terjadi hujan berdasarkan SNI 03-3424-1994?

Berangkat dari rumusan masalah maka didapatkan tujuan dari buku ini yaitu untuk mengetahui poin-poin kunci sebagai berikut:

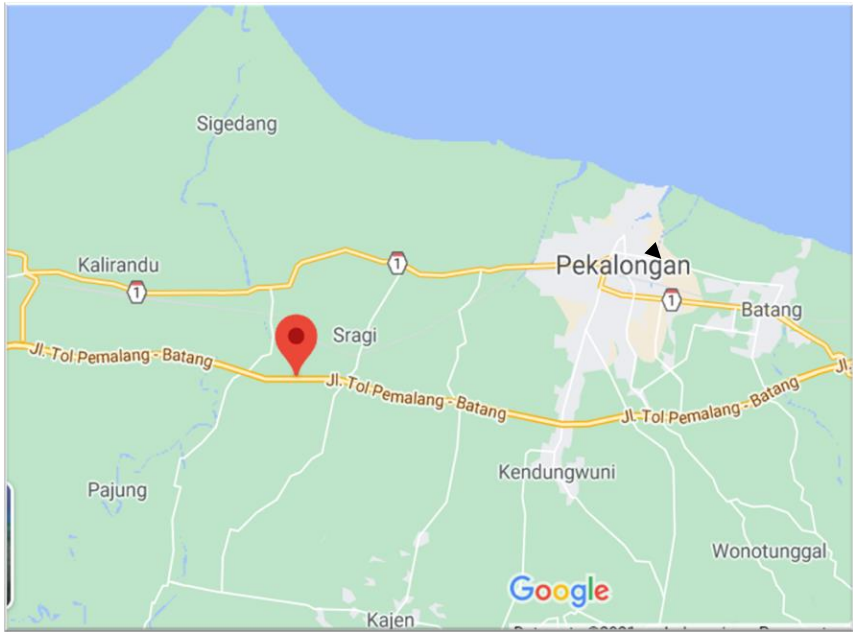
- Untuk mengetahui hasil perhitungan *Degree of Saturation* (DS) pada kondisi eksisting.
- Untuk mengetahui kebutuhan kapasitas rencana jalan yang berpedoman pada Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 pada saat nilai DS kondisi eksisting mencapai $\geq 0,75$ sebagai awal umur rencana hingga 45 tahun ke depan.
- Untuk mengetahui ketebalan perkerasan kaku yang direncanakan pada peningkatan kapasitas jalan ruas jalan tol Pemalang – Batang dengan menggunakan metode MDP Bina Marga 2017 dan metode AASHTO 1993 untuk umur rencana 45 tahun.
- Untuk mengetahui dimensi saluran tepi (drainase) yang direncanakan untuk jalan tersebut menurut Tata Cara Perencanaan Drainase Permukaan Jalan (SNI 03-3424-1994).

Adapun manfaat dari pembahasan buku ini, yaitu perihal Perencanaan Peningkatan Kapasitas Jalan ini adalah : Pertama, menambah wawasan bagi penulis dan pembaca. Kedua, mampu mengetahui dan melakukan analisis tentang perencanaan jalan khususnya peningkatan kapasitas jalan tol menggunakan perkerasan kaku. Ketiga, sebagai salah satu bentuk bukti nyata penerapan ilmu selama menjadi mahasiswa di fakultas teknik sipil.

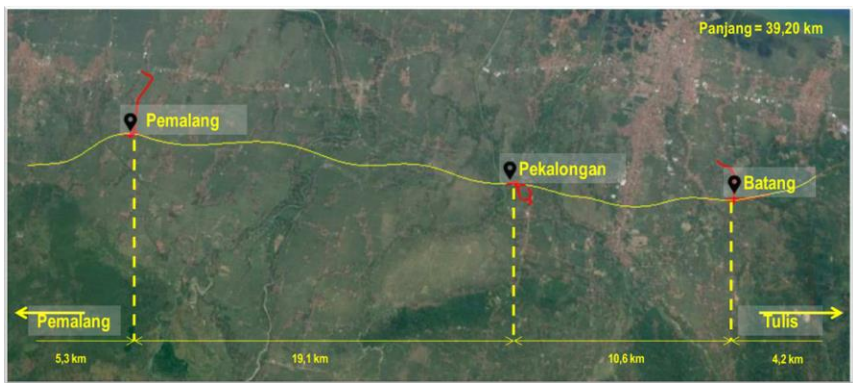
Mengingat luasnya perencanaan yang dapat terjadi, maka batasan masalah yang digunakan meliputi : Data tanah dan data lalu lintas yang digunakan dalam perencanaan peningkatan kapasitas jalan merupakan data sekunder. Kemudian, analisa dibatasi sampai dengan didapat desain perkerasan kaku dan tidak membahas tentang rencana anggaran biaya. Serta, perencanaan Drainase menggunakan tata cara perencanaan drainase permukaan jalan (SNI 03-3424-1994).

Demi memberikan gambaran kepada pembaca sekalian, berikut penulis sajikan gambaran umum lokasi yang menjadi fokus pembahasan dalam buku ini:

- Nama Badan Usaha Jalan Tol : PT. Pemalang Batang Tol Road
- Ruas Jalan Tol : Jalan Tol Pemalang – Batang
- Jaringan Jalan Tol : Pemalang – Pekalongan – Batang



Lokasi Jalan Tol Pemalang – Batang.



Jaringan Jalan Tol Pemalang – Batang.

Di bawah ini adalah diagram alur (*flow chart*) yang menjelaskan pembahasan dalam buku ini, seperti yang terlihat pada gambar 1.4..

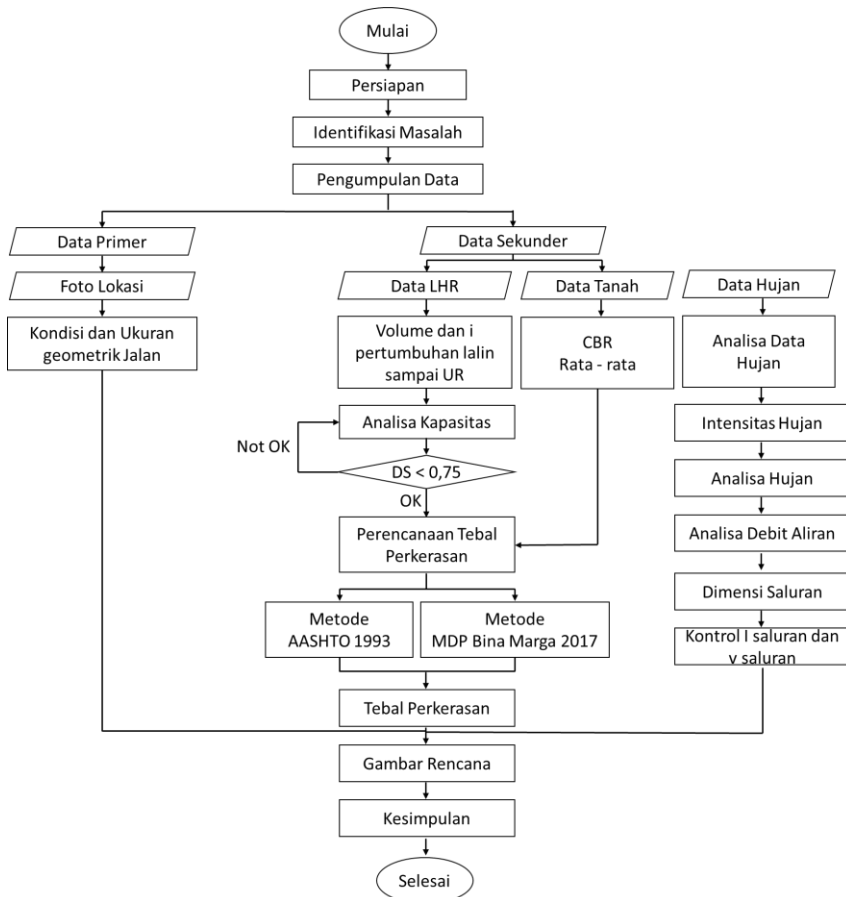


Diagram Alir Perencanaan

Diagram alir perencanaan tersebut di atas, menjelaskan bagaimana urutan proses perencanaan yang berawal dari data apa saja yang dibutuhkan, cara pengolahan data, sampai masuk ke perhitungan tebal perkerasan yang dibutuhkan.

Kemudian, tahap persiapan. Tahap persiapan merupakan tahapan yang dilakukan sebelum pengumpulan data. Tahap persiapan tersebut meliputi,

- Studi literatur yang menjadi acuan dalam penulisan tugas akhir.
- Pengumpulan buku yang digunakan sebagai acuan penyusunan proyek akhir terapan.
- Pembuatan proposal tugas akhir.
- Perencanaan jadwal penyusunan tugas akhir.

Adapun pada tahapan pengumpulan data, data yang digunakan adalah data sekunder dan data primer. Data-data tersebut meliputi:

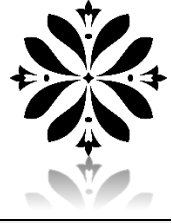
- Data primer :
 - Foto
Foto yang dimaksud merupakan foto kondisi eksisting lokasi rencana studi. Data ini didapatkan dari melakukan survei lapangan di lokasi studi. Foto diambil di beberapa titik dan kondisi sekitar.
 - Survei
Survei langsung untuk mengetahui kondisi dan ukuran eksisting geometri jalan serta mengetahui secara langsung kondisi lalu lintas di lokasi rencana studi pada saat jam puncak.
- Data Sekunder :
 - Data LHR
 - Data CBR tanah
 - Data Trase Jalan
 - Data Curah Hujan

Adapun analisa data, digunakan untuk menghitung perencanaan jalan, langkah-langkah kegiatan yang harus diperhatikan, diantara lain :

- Analisis Kapasitas Jalan
- Perencanaan struktur perkerasan kakuX
- Perencanaan Drainase (Saluran Tepi)

Kemudian, gambar rencana. Pada tahap ini, gambar rencana berupa gambar dari hasil perhitungan perencanaan jalan. Gambar rencana pekerjaan yang dimaksud adalah gambar perencanaan tebal perkerasan jalan, penampang melintang jalan, dan gambar perencanaan drainase.

Pada bab-bab berikutnya, disajikan tulisan, pendapat, atau penemuan, yang berkaitan dengan perencanaan peningkatan kapasitas jalan, yang merupakan *core* pembahasan dalam buku ini.



BAB 2

Klasifikasi Jalan di Indonesia

Jenis Jalan di Indonesia

Sebagai komponen infrastruktur yang memegang peranan krusial dalam menghubungkan berbagai wilayah di negara ini, jaringan jalan Indonesia menjadi tulang punggung mobilitas dan pertumbuhan ekonomi. Dari jalan tol yang termodernisasi hingga jalan desa yang sederhana, setiap jenis jalan memiliki atribut dan fungsi yang unik. Berikut ini merupakan jenis jalan yang ada di Indonesia.

1. Jalan Umum

Jalan umum diperuntukkan bagi lalu lintas umum. Dalam pasal 8 UU 38 Tahun 2004 yang mengatur soal tersebut, disebutkan bahwa menurut fungsinya jalan umum dikelompokkan kembali ke dalam jalan arteri, jalan kolektor, jalan lokal, dan jalan lingkungan. Jika dilihat dari statusnya, jalan umum dapat dikelompokkan ke dalam jalan nasional, jalan provinsi, jalan kabupaten, jalan kota, dan jalan desa. Pengelompokan tersebut tergantung pada besarnya wilayah yang saling menghubungkan.

2. Jalan Tol

Jalan tol pada dasarnya merupakan bagian dari system jaringan jalan dan termasuk ke dalam jalan nasional dimana penggunaannya diwajibkan membayar tol. Jalan tol dibangun untuk memperlancar lalu lintas di daerah berkembang demi meningkatkan pertumbuhan ekonomi. Jalan tol juga dapat meningkatkan pemerataan hasil pembangunan dan keadilan. Uang yang dibayar

oleh pengguna akan digunakan untuk pengembalian investasi, pemeliharaan jalan, dan pengembangan jalan tol.

3. Jalan Khusus

Jalan khusus merupakan jalan yang dibangun oleh instansi, badan usaha, perseorangan, atau kelompok masyarakat, untuk kepentingan sendiri.

Klasifikasi Jalan

Klasifikasi jalan merupakan upaya sistematis untuk mengkategorikan jalan-jalan berdasarkan berbagai faktor seperti fungsinya, kapasitasnya, serta karakteristik teknis lainnya. Dalam konteks Indonesia, pemahaman yang mendalam mengenai klasifikasi jalan sangatlah penting mengingat keragaman geografis dan kondisi infrastruktur yang berbeda di setiap daerah. Berikut ini, merupakan klasifikasi jalan berdasarkan fungsi, kelas, medan, serta wewenang pembinaan.

1. Berdasarkan Fungsi Jalan

Klasifikasi berdasarkan fungsi jalan terbagi atas :

- a. Jalan Arteri adalah jalan yang melayani angkutan utama dengan ciri-ciri perjalanan jauh, kecepatan rata-rata tinggi, dan jumlah masuk dibatasi secara efisien.
- b. Jalan Kolektor adalah jalan yang melayani angkutan pengumpul atau pembagi dengan ciri-ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang dan jumlah jalan masuk dibatasi.
- c. Jalan Lokal adalah jalan yang melayani angkutan setempat dengan ciri-ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata-rata rendah, dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi.

2. Berdasarkan Kelas Jalan

Klasifikasi berdasarkan kelas jalan seperti pada tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Klasifikasi Jalan Menurut Kelas Jalan

Fungsi	Kelas	Muatan Suambu Terberat, MST (ton)
Arteri	I	>10
	II	10
	IIIA	8
Kolektor	IIIA	8
	IIIB	

Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota (No. 038/TBM/1997)

3. Berdasarkan Medan Jalan

Tiga tipe alinyemen umum ditentukan untuk digunakan dalam analisa operasional dan perancangan jalan bebas hambatan. Klasifikasi menurut medan jalan seperti pada tabel 2.2 dibawah ini.

Tabel 2.2 Klasifikasi Menurut Medan Jalan

Tipe alinyemen	Naik + turun (m/km)	Lengkung horisontal (%)
Datar	< 10	< 1,0
Bukit	10 – 30	1,0 – 2,5
Gunung	> 30	> 2,5

Sumber : MKJI 1997 hal 7-17

4. Berdasarkan Wewenang Pembinaan Jalan

Klasifikasi jalan menurut wewenang pembinaanya sesuai PP. No.26/1985 terdiri atas Jalan Nasional, Jalan Provinsi, Jalan Kabupaten/Kotamadya, Jalan Desa, dan Jalan Khusus.



BAB 3

Kapasitas Jalan Bebas Hambatan

Analisa Kapasitas Jalan Bebas hambatan

Analisa kapasitas jalan bebas hambatan dilakukan untuk periode satu-jam puncak, dan arus serta kecepatan rata-rata adalah berlaku untuk periode ini. Menggunakan periode analisa sehari penuh (LHRT) adalah terlalu kasar untuk analisa operasional dan perencanaan. Sepanjang manual, arus dinyatakan sebagai suatu satuan perjam (smp/j), kecuali dinyatakan lain.

Analisa kapasitas jalan merupakan suatu susunan prosedur yang digunakan untuk memperkirakan kemampuan daya tampung suatu ruas jalan terhadap arus lalu lintas dalam suatu Batasan kondisi operasional tertentu. Tujuan dari Analisa ini yaitu untuk memprediksi jumlah lalu lintas maksimum yang mampu dilayani oleh ruas jalan tersebut. Dalam melakukan Analisa kapasitas jalan, ada beberapa faktor yang mempengaruhi, diantaranya sebagai berikut :

1. Analisa Kapasitas (C)

Untuk jalan bebas hambatan tak terbagi, seluruh analisa (selain analisa kelandaian khusus) dikerjakan untuk kombinasi kedua arah pergerakan dengan menggunakan satu set formulir analisa. Untuk jalan terbagi, analisa dikerjakan terpisah untuk masing-masing arah pergerakan, dengan menggunakan satu set formulir analisa seolah-olah masing-masing arah merupakan jalan satu-arah yang terpisah.

$$C = C_0 \times FCW \times FCSP \text{ (smp/jam)} \quad (\text{Pers. 2.1})$$

Keterangan :

C = Kapasitas

C_0 = Kapasitas dsar (smp/jam)

FCW = Faktor penyesuaian lebar jalan bebas hambatan

FCSP = Faktor penyesuaian pemisah arah (hanya untuk jalan bebas hambatan tak terbagi)

2. Kapasitas (C)

Kapasitas didefinisikan sebagai arus maksimum yang melewati suatu titik pada jalan bebas hambatan yang dapat dipertahankan persatuan jam dalam kondisi yang berlaku. Untuk jalan bebas hambatan takterbagi, kapasitas adalah arus maksimum dua-arah (kombinasi kedua arah), untuk jalan bebas hambatan terbagi kapasitas adalah arus maksimum per lajur.

3. Kapasitas Dasar (C_0)

Kapasitas dasar adalah kapasitas dari suatu segmen jalan untuk kondisi tertentu (geometrik, pola arus lalu lintas, dan faktor lingkungan). Perhatikan bahwa pengaruh tipe jalan pada kapasitas dasar juga diperhitungkan seperti dapat dilihat pada Tabel 2.3 dibawah ini :

Tabel 2.3. Kapasitas dasar jalan bebas hambatan terbagi

Tipe jalan bebas hambatan/ Tipe alinyemen	Kapasitas dasar (smp/jam/lajur)
Empat dan enam lajur terbagi	2300
- Datar	2250
- Bukit	2150
- Gunung	

Sumber : MKJI 1997 hal 7-47

4. Faktor Penyesuaian Kapasitas Lebar Jalur Lalu Lintas (FCW)

Penyesuaian untuk lebar jalur lalu lintas ditentukan berdasar pada lebar efektif jalur lalu-lintas (W_c) yang dapat dilihat pada Tabel 2.4 dibawah ini. Untuk jalan bebas hambatan yang umumnya mempunyai bahu diperkeras yang dapat digunakan untuk lalu lintas, lebar bahu tidak ditambahkan pada lebar efektif jalur lalu lintas.

Tabel 2.4. Faktor penyesuaian kapasitas akibat lebar jalur lalu lintas (FCW)

Tipe jalan bebas hambatan	Lebar efektif jalur lalu-lintas W_c (m)	FCW
Empat-lajur terbagi Enam-lajur terbagi	Per lajur	
	3,25	0,96
	3,5	1,00
	3,75	1,03
Dua-lajur tak-terbagi	Total kedua arah	
	6,5	0,96
	7	1,00
	7,5	1,04

Sumber : MKJI 1997 hal 7-48

5. Faktor Penyesuaian Kapasitas akibat Pemisah Arah (FCSP)

Nilai faktor penyesuaian kapasitas akibat pemisah arah (FCSP) merupakan nilai kapasitas dasar akibat pemisah arah (epmabgi arah arus pada jalan dua arah yang dinyatakan sebagai prosentase dari arah arus total pada masing-masing arah). Faktor penyesuaian kapasitas akibat pemisah arah dapat ditentukan sesuai dengan Tabel 2.5 dibawah ini.

Tabel 2.5. Faktor penyesuaian kapasitas akibat pemisah arah (FCSP)

Pemisah arah SP %--%		50-50	55-45	60-40	65-35	70-30
FCSP	Jalan bebas hambatan tak terbagi	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88

Sumber : MKJI 1997 hal 7-49

6. Derajat Kejenuhan (DS)

Derajat kejenuhan didefinisikan sebagai rasio arus terhadap kapasitas, digunakan sebagai faktor kunci dalam penentuan tingkat kinerja suatu simpang. Derajat kejenuhan dihitung dengan menggunakan arus dan kapasitas yang dinyatakan dalam satuan yang sama smp/jam. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$DS = Q/C \quad (\text{Pers. 2.2})$$

Dimana:

DS = Degree of Saturation (Derajat Kejenuhan)

Q = Arus lalu lintas (smp/jam)

C = Kapasitas

7. Arus Lalu Lintas

Analisa kapasitas jalan bebas hambatan dilakukan untuk periode satu-jam puncak, dan arus serta kecepatan rata-rata adalah berlaku untuk periode ini. Menggunakan periode analisa sehari penuh (LHRT) adalah terlalu kasar untuk analisa operasional dan perencanaan. Perhitungan arus lalu lintas pada jalan bebas hambatan berpedoman pada MKJI 1997, dengan menggunakan rumus seperti pada persamaan 2.3 sebagai berikut :

$$Q = LHRT \times k \times emp \quad (\text{Pers. 2.3})$$

Keterangan :

Q = Arus kendaraan (smp/jam)

LHRT = Lalu lintas Harian Rata-rata Tahunan (kendaraan/hari)

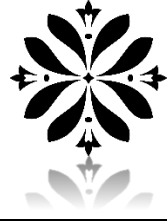
K = Rasio antara arus jam rencana dan LHRT, nilai normal k
= 0,11

emp = Ekvivalen mobil penumpang

**Tabel 2.6. Emp untuk jalan bebas hambatan dua-arah empat-lajur
(MW 4/2 D)**

Tipe alinyemen	Arus kend/jam	emp		
	MW terbagi per arah kend/jam	MHV	LB	LT
Datar	0	1,2	1,2	1,6
	1250	1,4	1,4	2,0
	2250	1,6	1,7	2,5
	≥ 2800	1,3	1,5	2,0
Bukit	0	1,5	1,6	4,8
	900	2,0	2,0	4,6
	1700	2,2	2,3	4,3
	≥ 2250	1,8	1,9	3,5
Gunung	0	3,2	2,2	5,5
	700	2 »	2,6	5,1
	1450	2,0	2,9	4,8
	≥ 2000	2,0	2,4	3,8

Sumber : MKJI 1997 hal 7-33



BAB 4

Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku

Perencanaan Perkerasan Kaku Metode MDP Bina Marga 2017

Metode Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) Bina Marga tahun 2017 merupakan salah satu metode yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga untuk merencanakan suatu perkerasan jalan, baik perkerasan kaku maupun perkerasan lentur.

Dalam metode ini terdiri dari 2 bagian yaitu Bagian pertama, menjelaskan tentang pedoman pembangunan perkerasan jalan baru dan Bagian kedua, tentang rehabilitasi perkerasan jalan. Pada metode ini juga menjelaskan faktor-faktor yang harus dipertimbangkan ketika merencanakan struktur perkerasan kaku, diantaranya sebagai berikut:

1. Umur Rencana

Umur rencana merupakan jumlah waktu yang dinyatakan dalam satuan tahun yang dihitung dari saat jalan dibuka hingga saat jalan tersebut memerlukan perbaikan, baik dalam skala berat maupun saat dianggap perlu untuk diberi pelapisan ulang pada permukaannya. Perencanaan umur rencana perkerasan baru, dapat dilihat pada Tabel 2.7 berikut ini.

Tabel 2.7. Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR)

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (tahun) ⁽¹⁾
Perkerasan Lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir	20
	Fondasi Jalan	40
	Semua perkerasan untuk daerah yang tidak dimungkinkan pelapisan ulang (overlay), seperti: jalan perkotaan, underpass, jembatan, terowongan.	
	<i>Cement Treated Based (CTB)</i>	
Perkerasan Kaku	Lapis fondasi atas, lapis fondasi bawah, lapis beton semen, dan fondasi jalan.	
Jalan tanpa Penutup	Semua elemen (termasuk fondasi jalan)	Minimum 10

Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum, 2017

2. Analisa Volume Lalu Lintas

Dalam merencanakan perkerasan kaku, diperlukan analisa lalu lintas. Analisa data lalu lintas ini diperlukan untuk menghitung beban lalu lintas rencana yang akan dilayani oleh perkerasan sesuai umur rencana. Terdapat beberapa hal yang harus perlu ditinjau dalam menganalisa data lalu lintas, diantaranya sebagai berikut :

- a. Beban gandar kendaraan komersial
- b. Volume lalu lintas yang dinyatakan dalam beban sumbu standar

Dalam analisa lalu lintas, penentuan volume lalu lintas pada jam sibuk dan lalu lintas harian rata-rata tahunan (LHRT) mengacu pada Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI). Penentuan nilai LHRT didasarkan pada data survei volume lalu lintas dengan mempertimbangkan factor k.

3. Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Faktor pertumbuhan arus lalu lintas didasarkan pada data pertumbuhan historis atau rumus yang terkait dengan factor pertumbuhan lain yang berlaku, jika tidak tersedia dapat menggunakan tabel 2.8 sebagai nilai minimum.

Tabel 2.8. Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (i) (%)

Jenis Jalan	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 : MDP revisi Juni 2017 hal 4-2

Pertumbuhan lalu lintas selama periode umur rencana dapat dihitung dengan menggunakan factor pertumbuhan kumulatif sesuai dengan persamaan 2.4 dibawah ini :

$$R = \frac{(1+0,01)^{UR}-1}{0,01 i} \quad (\text{Pers. 2.4})$$

Dengan :

R = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif

i = laju pertumbuhan lalu lintas tahunan (%)

UR = umur rencana (tahunan)

4. Faktor Distribusi Lajur

Faktor distribusi lajur untuk kendaraan niaga (truk dan bus) ditentukan pada Tabel 2.9. Beban rencana pada setiap lajur tidak boleh melebihi kapasitas lajur pada setiap tahun selama umur rencana. Kapasitas lajur maksimum mengacu pada MKJI 1997.

Tabel 2.9. Faktor Distribusi Lajur (DL)

Jumlah Lajur setiap arah	Kendaraan niaga pada lajur desain (% terhadap populasi kendaraan niaga)
1	100
2	80
3	60
4	50

Sumber : MDP revisi Juni 2017 hal 4-3

5. Faktor Ekuivalen Beban

Dalam merencanakan perkerasan, faktor ekuivalen beban atau VDF (*Vehicle Damage Factor*) digunakan untuk mengubah beban lalu lintas menjadi beban standar (ESA). Analisis struktur perkerasan didasarkan pada jumlah kumulatif ESA pada lajur rencana selama periode umur rencana. Dalam memperhitungkan beban standar (ESA), diperlukan survei beban lalu lintas apabila memungkinkan. Ketentuan pengumpulan data beban lalu lintas ditunjukkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 2.10. Pengumpulan Data Beban Lalu Lintas

Spesifikasi Penyediaan Prasarana Jalan	Sumber Data Beban Gandar*
Jalan Bebas Hambatan*	1 atau 2
Jalan Raya	1 atau 2 atau 3
Jalan Sedang	2 atau 3
Jalan Kecil	2 atau 3

Sumber : MDP revisi Juni 2017 hal 4-4

*Data beban gandar dapat diperoleh dari:

- 1) Jembatan timbang, timbangan statis atau WIM (survei langsung).
- 2) Survei beban gandar pada jembatan timbang atau WIM yang pernah dilakukan dan dianggap cukup representatif.
- 3) Data WIM Regional yang dikeluarkan oleh Ditjen Bina Marga.

Jika perencana tidak dapat melakukan pengukuran beban gandar dan data pengukuran beban gandar sebelumnya tidak tersedia, maka nilai VDF dapat menggunakan tabel 2.11 dan untuk menghitung ESA dapat digunakan tabel 2.12

Tabel 2.11 menunjukkan nilai VDF regional masing-masing jenis kendaraan niaga yang diolah berdasarkan data penelitian WIM yang dilakukan oleh Ditjen Bina Marga pada tahun 2012 –2013. Data tersebut perlu diperbarui secara berkala minimal setiap 5 tahun.

Jika survei lalu lintas yang dilakukan dapat mengidentifikasi jenis dan beban kendaraan niaga, maka data VDF untuk masing-masing kendaraan dapat digunakan sesuai Tabel 2.11

Tabel 2.11. Nilai VDF masing – masing jenis kendaraan niaga

Jenis Kendaraan	Sumatera				Jawa				Kalimantan				Sulawesi				Bali, Nusa Tenggara, Maluku dan Papua				
	Beban Aktual		Normal		Beban Aktual		Normal		Beban Aktual		Normal		Beban Aktual		Normal		Beban Aktual		Normal		
	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	
5B	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6A	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	
6B	4,5	7,4	3,4	4,6	5,3	9,2	4	5,1	4,8	8,5	3,4	4,7	4,9	9	2,9	4	3	4	2,5	3	
7A1	10,1	18,4	5,4	7,4	8,2	14,4	4,7	6,4	9,9	18,3	4,1	5,3	7,2	11,4	4,9	6,7	-	-	-	-	
7A2	10,5	20	4,3	5,6	10,2	19	4,3	5,6	9,6	17,7	4,2	5,4	9,4	19,1	3,8	4,8	4,9	9,7	3,9	6	
7B1	-	-	-	-	11,8	18,2	9,4	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
7B2	-	-	-	-	13,7	21,8	12,6	17,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
7C1	15,9	29,5	7	9,6	11	19,8	7,4	9,7	11,7	20,4	7	10,2	13,2	25,5	6,5	8,8	14	11,9	10,2	8	
7C2A	19,8	39	6,1	8,1	17,7	33	7,6	10,2	8,2	14,7	4	5,2	20,2	42	6,6	8,5	-	-	-	-	
7C2B	20,7	42,8	6,1	8	13,4	24,2	6,5	8,5	-	-	-	-	17	28,8	9,3	13,5	-	-	-	-	
7C3	24,5	51,7	6,4	8	18,1	34,4	6,1	7,7	13,5	22,9	9,8	15	28,7	59,6	6,9	8,8	-	-	-	-	

Sumber : MDP revisi Juni 2017 hal 4-5

Tabel 2.12. Nilai VDF masing – masing Jenis Kendaraan Niaga Berdasarkan Jenis Kendaraan dan Muatan

Jenis Kendaraan		Uraian	Konfigurasi sumbu	Muatan ² yang diangkut	Kelompok sumbu	Distribusi tipikal (%)		Faktor Ekuivalen Beban (VDF) (ESA / kendaraan)	
Klasifikasi Lama	Alternatif					Sumbu Kendaraan bermotor	Semua Kendaraan bermotor kecuali sepeda motor	VDF4 Pangkat 4	VDF5 Pangkat 5
1	1	Sepeda motor	1.1		2	30,4			
2, 3, 4	2, 3, 4	Sedan / Angkot / Pickup / Station wagon	1.1		2	51,7	74,3		
5a	5a	Bus Kecil	1.2		2	3,5	5	0,3	0,2
5b	5b	Bus Besar	1.2		2	0,1	0,2	1	1
6a.1	6.1	Truk 2 sumbu-cargo ringan	1.1	Muatan Umum	2	4,6	6,6	0,3	0,2
6a.2	6.2	Truk 2 sumbu-ringan	1.2	Tanah Pasir, Besi, Semen	2			0,8	0,8
6b1.1	7.1	Truk 2 sumbu-cargo sedang	1.2	Muatan Umum	2	-	-	0,7	0,7
6b1.2	7.2	Truk 2 sumbu-sedang	1.2	Tanah Pasir, Besi, Semen	2			1,6	1,7
6b2.1	8.1	Truk 2 sumbu-berat	1.2	Muatan Umum	2	3,8	5,5	0,9	0,8
6b2.2	8.2	Truk 2 sumbu-berat	1.2	Tanah Pasir, Besi, Semen	2			7,3	11,2
7a1	9.1	Truk 3 sumbu-ringan	1.22	Muatan Umum	2	3,9	5,6	7,6	11,2

7a2	9.2	Truk 3 sumbu-sedang	11.2	Tanah Pasir, Besi, Semen	2			28,1	64,4
7a3	9.3	Truk 3 sumbu-berat	1.222		2	0,1	0,1	28,9	62,2
7b	10	Truk 2 sumbu dan trailer penarik 2 sumbu	1.2-2.2		4	0,5	0,7	36,9	90,4
7c1	11	Truk 4 sumbu-trailer	1.2-22		3	0,3	0,5	13,6	24
7c2.1	12	Truk 5 sumbu-trailer	1.22-22		3	0,7	1,00	19	33,2
7c2.2	13	Truk 5 sumbu-trailer	1.2-222		3			30,3	69,7
7c3	14	Truk 6 sumbu-trailer	1.22-222		3	0,3	0,5	41,6	93,7

Sumber : MDP revisi Juni 2017 hal 4-6

6. Beban Sumbu Standar Kumulatif (CESAL)

Beban sumbu standar kumulatif atau *Cumulative Equivalent Single Axle Load* (CESAL) adalah jumlah beban sumbu lalu lintas rencana secara kumulatif pada lajur rencana selama periode umur rencana dan sesuai dengan nilai VDF masing-masing kendaraan niaga dengan menggunakan persamaan 2.5, sebagai berikut :

$$ESA_{TH-1} = (\sum LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (\text{Pers. 2.5})$$

Dimana :

ESA_{TH-1} = Kumulatif lintasan sumbu standar ekuivalen (*equivalent standard axle*)

LHR_{JK} = Lintasan harian rata-rata tiap jenis kendaraan niaga (satuan kendaraan per hari)

VDF_{JK} = Faktor ekivalen beban (*Vehicle Damage Factor*) tiap jenis kendaraan niaga sesuai tabel 2.11 dan tabel 2,12

DD = Faktor distribusi arah (nilainya antara 0,3 – 0,7)

DL = Faktor distribusi lajur (Tabel 2.9)

R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif (Persamaan 2.4)

Struktur Pondasi Perkerasan

Dalam struktur perkerasan kaku, faktor kekuatan sangat dipengaruhi oleh kekuatan dari pelat beton sehingga tebal perkerasan beton dapat ditentukan berdasarkan kelompok sumbu kendaraan terberatnya, sebagaimana disajikan pada tabel 2.13.

Daya Dukung Efektif Tanah Dasar

Daya dukung tanah dasar ditentukan dengan pengujian CBR insitu sesuai dengan SNI 031731-1989 atau CBR laboratorium sesuai dengan SNI 03-1744-1989, masing-masing untuk perencanaan tebal perkerasan lama dan perkerasan jalan baru. Apabila tanah dasar mempunyai nilai CBR lebih kecil dari 2 %, maka harus dipasang pondasi bawah yang terbuat dari beton kurus atau *Lean-Mix Concrete* (LMC) setebal 15 cm yang dianggap mempunyai nilai CBR tanah dasar efektif 5 %.

Tabel 2.13. Desain Fondasi Jalan Minimum

CBR Tanah Dasar (%)	Kelas Kekuatan Tanah Dasar	Uraian Struktur Fondasi	Perkerasan Lentur			Perkerasan Kaku
			Beban lalu lintas rencana dengan umur rencana 40 tahun			Stabilitas Semen
			< 2	2 - 4	> 4	
			Tebal minimum perbaikan tanah dasar			
≥ 6	SG6	Perbaikan tanah dasar dapat berupa stabilisasi semen atau material timbunan pilihan (sesuai persyaratan spesifikasi umum, Devisi 3 - Pekerjaan Tanah) (pemadatan lapisan ≤ 200 mm tebal gembur)	Tidak diperlukan perbaikan			150 mm stabilisasi di atas 150 mm material timbunan pilihan.
5	SG5		-	-	100	
4	SG4		100	150	200	
3	SG3		150	200	300	
2,5	SG2.5		175	250	350	
Tanah ekspansif (potensi pemuai > 5%)			400	500	600	Berlaku ketentuan yang sama dengan fondasi jalan perkerasan lentur
Perkerasan di atas tanah lunak	SG1	Lapis Penopang	1000	1100	1200	
		-atau- lapis penopang dan geogrid	650	750	850	
Tanah gambut dengan HRS atau DBST untuk perkerasan jalan raya minor (nilai minimum-ketentuan lain berlaku)		Lapis Penopang Bututir	1000	1250	1500	

Sumber : MDP revisi Juni 2017 hal 7-16

Struktur Lapisan Perkerasan

Pemilihan jenis perkerasan akan bervariasi berdasarkan perkiraan lalu lintas, umur rencana dan kondisi pondasi jalan. Pemilihan jenis perkerasan sebaiknya juga harus mempertimbangkan biaya terendah selama umur pelayanan, keterbatasan serta kepraktisan konstruksi. Perencanaan desain perkerasan jalan dengan metode manual desain perkerasan jalan 2017 harus didasarkan pada biaya umur pelayanan *discounted* terendah. Pemilihan jenis perkerasan berdasarkan jumlah kumulatif beban standar (CESA) lalu lintas selama umur rencana seperti pada tabel 2.14 dibawah ini.

Tabel 2.14. Pemilihan Jenis Perkerasan

Struktur Perkerasan	Bagan Desain	CESA (juta) dalam 20 tahun (pangkat 4 kecurali ditentukan lain)				
		0- 0,5	0,1- 4	>4- 10	>10- 30	>30 - 200
Perkerasan kaku dengan lalu lintas berat (di atas tanah dengan CBR \geq 2,5%)	4 (tabel 2.11)	-	-	2	2	2
Perkerasan kaku dengan lalu lintas rendah (daerah pedesaan dan perkotaan)	4A (tabel 2.12)	-	1,2	-	-	-
AC WC modifikasi atau SMA modifikasi dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC tebal \geq 100 mm dengan lapis	3B	-	1,2	1,2	2	2

Struktur Perkerasan	Bagan Desain	CESA (juta) dalam 20 tahun (pangkat 4 kecuali ditentukan lain)				
		0-0,5	0,1-4	>4-10	>10-30	>30-200
fondasi berbutir (ESA pangkat 5)						
AC atau HRS tipis di atas lapis fondasi berbutir (ESA pangkat 5)	3A	-	1,2	-	-	-
Burda atau Burtu dengan LFA Kelas A atau batuan asli	5	3	3	-	-	-
Lapis Fondasi Soil Cement	6	1	1	-	-	-
Perkerasan tanpa penutup (Japat, jalan kerikil)	7	1	-	-	-	-

Sumber : MDP revisi Juni 2017 hal 3-1

Catatan:

Tingkat kesulitan:

- 1) kontraktor kecil-medium;
- 2) kontraktor besar dengan sumber daya yang memadai;
- 3) membutuhkan keahlian dan tenaga ahli khusus-kontraktor spesialis Burtu/Burda.

Untuk struktur lapisan perkerasan kaku dengan jumlah kumulatif beban standar (CESA) lebih dari 4 juta, termasuk dalam struktur perkerasan kaku dengan lalu lintas berat. Bagan Desain perkerasan kaku dengan lalu lintas berat dapat dilihat pada tabel 2.15 berikut ini.

Tabel 2.15. Perkerasan Kaku Untuk Jalan dengan Beban Lalu Lintas Berat

Struktur Perkerasan	R1	R2	R3	R4	R5
Kelompok sumbu kendaraan berat (overloaded) (10E6)	< 4.3	< 8.6	< 25.8	< 43	< 86
Dowel dan bahu beton	Ya				
STRUKTUR PERKERASAN (mm)					
Tebal pelat beton	265	275	285	295	305
Lapisan Fondasi LMC	100				
Lapis Drainase (dapat mengalir dengan baik)	150				

Sumber : MDP revisi Juni 2017 hal 7-16

Untuk struktur lapisan perkerasan kaku dengan jumlah kumulatif beban standar (CESA) 0,1 - 4 juta, termasuk dalam struktur perkerasan kaku dengan lalu lintas rendah. Bagan Desain perkerasan kaku dengan lalu lintas rendah dapat dilihat pada tabel 2.16 dibawah ini.

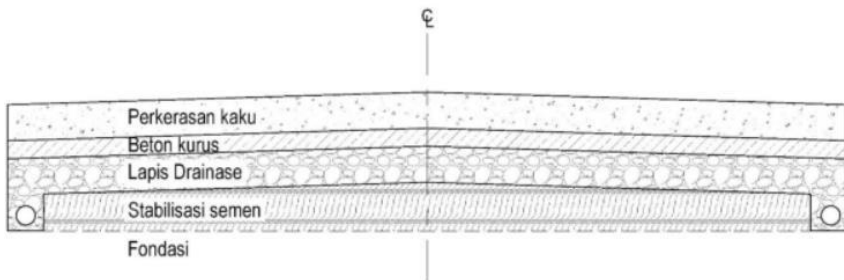
Tabel 2.16. Perkerasan Kaku Untuk Jalan dengan Beban Lalu Lintas Rendah

	Tanah Dasar			
	Tanah Lunak dengan Lapis Penopang		Dipadatkan normal	
Bahu pelat beton (<i>tied shoulder</i>)	Ya	Tidak	Ya	Tidak
Tebal Pelat Beton (mm)				
Akses terbatas hanya mobil penumpang dan motor	160	175	135	150
Dapat diakses oleh truk	180	200	160	175
Tulangan distribusi retak	Ya		Ya jika daya dukung fondasi tidak seragam	
<i>Dowel</i>	Tidak dibutuhkan			
LMC	Tidak dibutuhkan			

Lapis Fondasi Kelas A (ukuran butir nominal maksimum 30 mm)	125 mm
Jarak sambungan melintang	4 m

Sumber : MDP revisi Juni 2017 hal 7-16

Susunan struktur lapisan pada perkerasan kaku dapat diketahui dari gambar tipikal potongan melintang, dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut ini:



Gambar 2.1. Tipikal Potongan Melintang Perkerasan Kaku

Sumber: Manual Desain Perkerasan Jalan revisi Juni 2017

Jenis Sambungan

Dalam merencanakan jenis perkerasan kaku, sambungan diperlukan untuk menghubungkan setiap segmen yang ada pada perkerasan kaku, penggunaan sambungan didasarkan pada beban lalu lintas rendah ataupun berat, jika beban lalu lintas rendah, maka tidak perlu menggunakan sambungan dowel, dan untuk beban lalu lintas berat diperlukan sambungan dengan dowel.

Jenis Bahu Jalan

Untuk jenis perkerasan kaku, biasanya digunakan bahu beton. bahu beton termasuk dalam jenis bahu diperkeras, untuk memenuhi kebutuhan berikut:

- Jika terdapat kerb (bahu harus ditutup sampai dengan garis kerb).
- Gradien jalan lenih dari 40%.
- Sisi yang lebih tinggi dari kurva superelevasi
- Jalan dengan LHRT lebih dari 10.000 kendaraan
- Jalan tol dan jalan bebas hambatan.

Material yang digunakan dalam membuat perkerasan bahu jalan dapat berupa:

- a) Penetrasi makadam;
- b) Burtu/ Burda;
- c) Beton aspal (AC);
- d) Beton semen;
- e) Kombinasi bahu beton 500 mm – 600 mm atau pelat beton dengan *tied shoulder*, atau bahu dengan aspal.

Untuk perencanaan lalu lintas bahu jalan, beban lalu lintas desain pada bahu jalan tidak boleh kurang dari 10% lalu lintas lajur rencana, atau sama dengan lalu lintas yang diperkirakan akan menggunakan bahu jalan (diambil yang terbesar). (Kementerian PUPR, 2017)

Perencanaan Tebal Pelat Perkerasan

Dalam perencanaan tebal pelat perkerasan kaku, tebal pelat perkerasan kaku dapat ditaksir berdasarkan pada tabel 2.15 atau tabel 2.16 dan juga memperhitungkan total fatik serta kerusakan erosi berdasarkan komposisi lalu-lintas selama umur rencana. Jika kerusakan fatik atau erosi melebihi 100% tebal taksiran pelat ditambah dan proses perencanaan dapat diulangi. Tebal rencana adalah perkiraan tebal minimum yang mempunyai total fatik dan atau total kerusakan erosi kurang dari atau sama dengan 100%.

Faktor Keamanan Beban

Pada penentuan beban rencana, beban sumbu dikalikan dengan faktor keamanan beban (F_{KB}) yang dapat dilihat pada tabel 2.17

Tabel 2.17. Faktor Keamanan Beban

No	Penggunaan	Nilai F_{KB}
1	Jalan bebas hambatan utama (major freeway) dan jalan berlajur banyak, yang aliran lalu lintasnya tiak terhambat serta volume kendaraan niaga yang tinggi. Bila menggunakan data lalu-lintas dari hasil survai beban (weight-in-motion) dan adanya	1,2

No	Penggunaan	Nilai F_{KB}
	kemungkinan route alternatif, maka nilai faktor keamanan beban dapat dikurangi menjadi 1,15	
2	Jalan bebas hambatan (freeway) dan jalan arteri dengan volume kendaraan niaga menengah	1,1
3	Jalan dengan volume kendaraan niaga rendah	1,0

Sumber : Pd. T-14-2003 hal. 12

Perencanaan Tulangan

Perencanaan tulangan perkerasan kaku, kebutuhan jumlahnya dipengaruhi oleh jarak sambungan susut, sedangkan untuk perkerasan kaku beton bertulang menerus, diperlukan jumlah tulangan yang cukup untuk mengurangi sambungan susut. Berikut merupakan tujuan utama penulangan pada perkerasan kaku, yaitu:

- Membatasi lebar retakan, agar kekuatan pelat tetap dapat dipertahankan
- Memungkinkan penggunaan pelat yang lebih Panjang agar dapat mengurangi jumlah sambungan melintang sehingga dapat meningkatkan kenyamanan
- Mengurangi biaya pemeliharaan

1. Perkerasan Beton Semen Bersambung Tanpa Tulangan (BBTT)

Pada perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan, ada kemungkinan bahwa perkuatan perlu dipasang untuk mengendalikan retak. Bagian pelat yang diperkirakan akan mengalami keretakan sebagai akibat dari konsentrasi tegangan yang tidak dapat dihindari dengan pengaturan pola sambungan, maka diharuskan pelat perkerasan untuk diberi tulangan.

2. Perkerasan Beton Semen Bersambung Dengan Tulangan (BBDT)

Luas penampang tulangan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$A_s = \frac{\mu \times L \times M \times g \times h}{2 \times f_s} \quad (\text{Pers. 2.6})$$

Dimana :

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

- f_s = kuat-tarik ijin tulangan (MPa). Biasanya 0,6 kali tegangan leleh
- g = gravitasi (m/detik²)
- h = tebal pelat beton (m)
- L = jarak antara sambungan yang tidak diikat dan/atau tepi beban pelat (m)
- M = berat per satuan volume pelat (kg/m³)
- μ = koefisien gesek antara pelat beton dan pondasi bawah

3. Perkerasan Beton Semen Menerus Dengan Tulangan (BMDT)

a) Tulangan Memanjang

Tulangan memanjang yang dibutuhkan pada perkerasan beton semen bertulang menerus dengan tulangan dapat dihitung dari persamaan berikut :

$$P_s = \frac{100 \times f_{ct} \times (1,3 - 0,2\mu)}{f_y - n \times f_{ct}} \quad (\text{Pers. 2.7})$$

Dengan pengertian:

- P_s = persentase luas tulangan memanjang yang dibutuhkan terhadap luas penampang beton (%)
- f_{ct} = kuat Tarik langsung beton = (0,4 – 0,5 f_{cf})
- f_y = tegangan leleh rencana baja (kg/cm²)
- n = angka ekuivalen antara baja dan beton (E_s/E_c)
- μ = koefisien gesek antara pelat beton dengan lapisan dibawahnya

Untuk nilai hubungan kuat tekan beton dan angka ekuivalen baja dan beton (n) dapat dilihat pada tabel 2.18 dibawah ini.

Tabel 2.18. Hubungan kuat tekan beton dan angka ekuivalen baja dan beton (n)

$f'c$ (kg/cm ²)	N
175 – 225	10
235 – 285	8
290 – ke atas	6

Sumber : Pd. T-14-2003 hal. 30

Persentase minimum tulangan memanjang pada perkerasan beton menerus adalah 0,6% dari luas penampang beton. Jumlah optimum tulangan memanjang, perlu dipasang agar jarak dan

lebar retakan dapat dikendalikan. Secara teoritis jarak antara retakan dan tulangan pada perkerasan beton menerus dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$L_{cr} = \frac{f_{ct}^2}{n \cdot p^2 \cdot u \cdot f_b (\epsilon_s \cdot E_c - f_{ct})} \quad (\text{Pers. 2.8})$$

Dimana :

L_{cr} = jarak teoritis antara retakan (cm)

p = perbandingan luas tulangan memanjang dengan luas penampang beton

u = perbandingan keliling terhadap luas tulangan = $4/d$.

f_b = tegangan lekat antara tulangan dengan beton = $(1,97\sqrt{f'c})/d$. (kg/cm²)

ϵ_s = koefisien susut beton = (400×10^{-6}) .

f_{ct} = kuat Tarik langsung beton = $(0,4 - 0,5 f_{ct})$. (kg/cm²)

n = angka ekivalensi antara baja dan beton (E_s/E_c)

E_s = modulus elastisitas baja = $2,1 \times 10^6$ (kg/cm²)

E_c = modulus elastisitas beton = $(1485\sqrt{f'c})$ (kg/cm²)

Jarak retakan teoritis yang dihitung dengan persamaan 2.8 di atas harus memberikan hasil antara 150 - 250 cm. Dan jarak antar tulangan 100 mm - 225 mm serta diameter batang tulangan memanjang berkisar antara 12 mm - 20 mm. (Pd-T-14-2003)

b) Tulangan Melintang

Luas tulangan melintang (A_s) yang dibutuhkan pada perkerasan beton menerus dengan tulangan dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$A_s = \frac{\mu \times L \times M \times g \times h}{2 \times f_s} \quad (\text{Pers. 2.9})$$

Dimana :

A_s = luas penampang tulangan baja (mm²/m lebar pelat)

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

g = gravitasi (m/detik²)

h = tebal pelat beton (m)

L = jarak antara sambungan yang tidak diikat dan/atau tepi beban pelat (m)

M = berat per satuan volume pelat (kg/m³)

μ = koefisien gesek antara pelat beton dan pondasi bawah

Perencanaan Sambungan Perkerasan Kaku

Sambungan pada perkerasan kaku bertujuan untuk :

- a) Memudahkan Pelaksanaan
- b) Mengakomodasi gerak pelat
- c) Membatasi tegangan dan pengendalian retak yang disebabkan oleh penyusutan, pengaruh lenting, serta beban lalu-lintas

Semua sambungan harus ditutup dengan bahan penutup (*joint sealer*), kecuali pada sambungan isolasi; harus diberi bahan pengisi (*joint filler*). Penutup sambungan dimaksudkan untuk mencegah masuknya air dan benda lain ke dalam sambungan perkerasan.

1. Sambungan Memanjang dan Batang Pengikat (*tie bars*)

Pemasangan sambungan memanjang ditujukan untuk mengendalikan terjadinya retak memanjang. Jarak antar sambungan memanjang sekitar 3-4 m. Sambungan memanjang harus dilengkapi dengan batang ulir dengan mutu minimum BJTU- 24 dan berdiameter 16 mm. (Pd-T-14-2003)

Ukuran batang pengikat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$A_t = 204 \times b \times h \quad (\text{Pers. 2.10})$$

$$I = (38,3 \times \varphi) + 75 \quad (\text{Pers. 2.11})$$

Dengan pengertian :

A_t = Luas penampang tulangan per meter Panjang sambungan (mm^2).

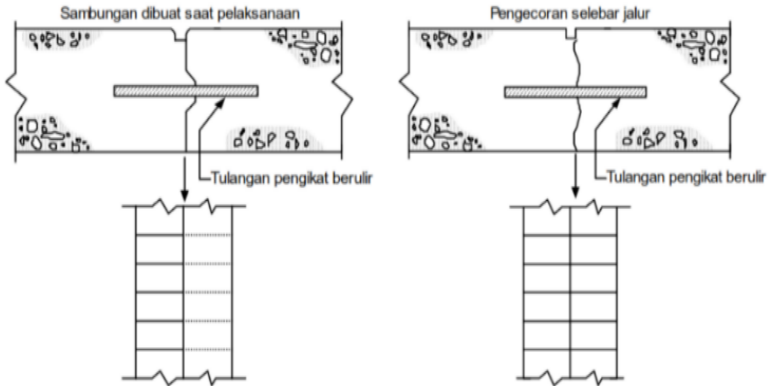
b = Jarak terkecil antara sambungan atau jarak sambungan dengan tepi perkerasan (m).

h = Tebal pelat (m).

I = Panjang batang pengikat (mm).

φ = Diameter batang pengikat yang dipilih (mm).

Jarak batang pengikat yang digunakan adalah 75 cm. Tipikal sambungan memanjang diperlihatkan pada gambar 2.2.

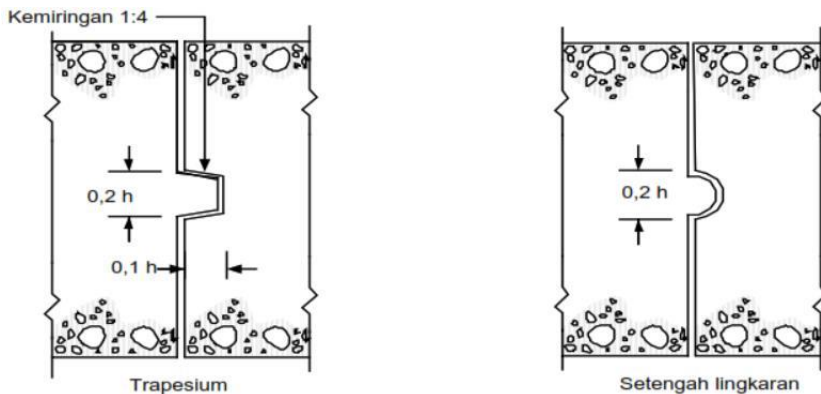


Gambar 2.2 Tipikal sambungan memanjang

Sumber : *Manual Desain Perkerasan Jalan revisi Juni 2017*

2. Sambungan Pelaksanaan Memanjang

Sambungan pelaksanaan memanjang umumnya dilakukan dengan cara penguncian. Bentuk dan ukuran penguncian dapat berbentuk trapesium atau setengah lingkaran sebagai mana diperlihatkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Ukuran standar penguncian sambungan memanjang

Sumber : *Manual Desain Perkerasan Jalan revisi Juni 2017*

Sebelum penghamparan pelat beton di sebelahnya, permukaan sambungan pelaksanaan harus dicat dengan aspal atau kapur tembok untuk mencegah terjadinya ikatan beton lama dengan yang baru.

3. Sambungan Susut Memanjang

Sambungan susut memanjang dapat dilakukan dengan dua cara yaitu menggergaji atau membentuk saat beton masih dalam keadaan plastis dengan kedalaman sepertiga dari ketebalan pelat perkerasan.

4. Sambungan Susut Melintang

Kedalaman sambungan sekitar seperempat dari ketebalan pelat perkerasan dengan lapisan pondasi berbutir atau sepertiga dari ketebalan pelat untuk lapisan pondasi stabilisasi semen seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4 dan Gambar 2.5.

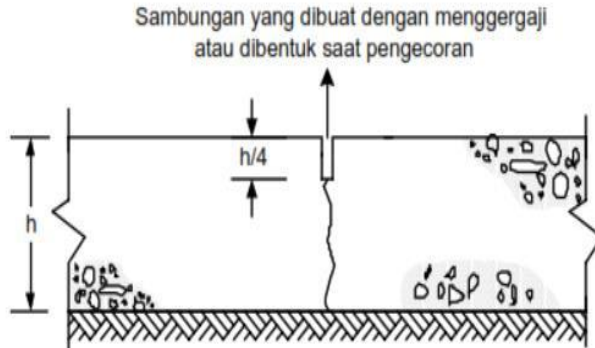
Jarak sambungan susut melintang untuk perkerasan beton bersambung tanpa tulangan sekitar 4 - 5 m, sedangkan untuk perkerasan beton bersambung dengan tulangan 8 - 15 m dan untuk sambungan perkerasan beton menerus dengan tulangan sesuai dengan kemampuan pelaksanaan. Sambungan ini harus dilengkapi dengan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

Setengah panjang ruji polos harus dicat atau dilumuri dengan bahan anti lengket untuk menjamin tidak ada ikatan dengan beton. Diameter ruji tergantung pada ketebalan pelat beton sebagaimana terlihat pada Tabel 2.19 dibawah ini.

Tabel 2.19. Diameter Ruji

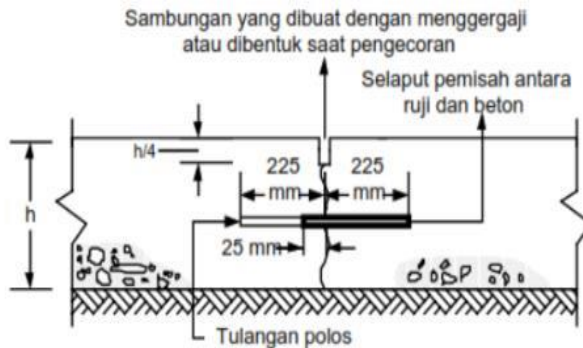
No.	Tebal pelat beton h (mm)	Diameter ruji (mm)
1	$125 < h \leq 140$	20
2	$140 < h \leq 160$	24
3	$160 < h \leq 190$	28
4	$190 < h \leq 220$	33
5	$220 < h \leq 250$	36

Sumber : Pd. T-14-2003 hal. 30



Gambar 2.4 Sambungan susut melintang tanpa ruji

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan revisi Juni 2017



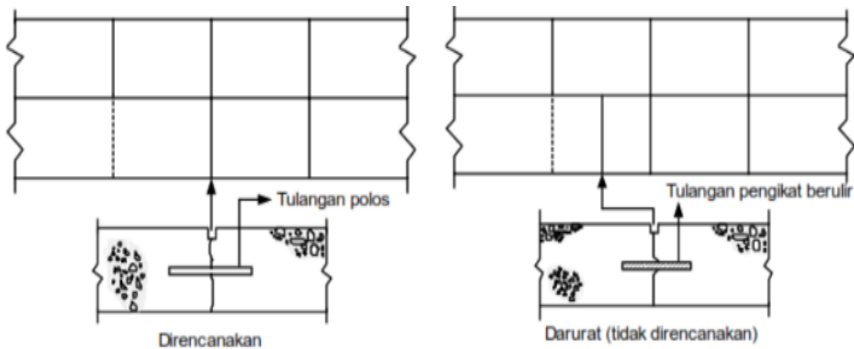
Gambar 2.5 Sambungan susut melintang dengan ruji

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan revisi Juni 2017

5. Sambungan Pelaksanaan Melintang

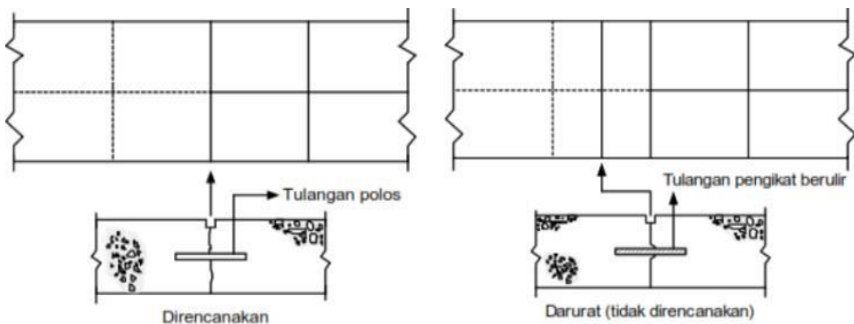
Sambungan pelaksanaan melintang yang tidak direncanakan (darurat) harus menggunakan batang pengikat berulir, sedangkan pada sambungan yang direncanakan harus menggunakan batang tulangan polos yang diletakkan di tengah tebal pelat. tipikal sambungan pelaksanaan melintang diperlihatkan pada Gambar 2.6 dan Gambar 2.7.

Sambungan pelaksanaan tersebut harus dilengkapi dengan batang pengikat berdiameter 16 mm, panjang 69 cm dan jarak 60 cm, untuk ketebalan pelat sampai 17 cm. Untuk ketebalan lebih dari 17 cm, ukuran batang pengikat berdiameter 20 mm, Panjang 84 cm dan jarak 60 cm.



Gambar 2.6 Sambungan pelaksanaan yang direncanakan dan yang tidak direncanakan untuk pengecoran per lajur

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan revisi Juni 2017



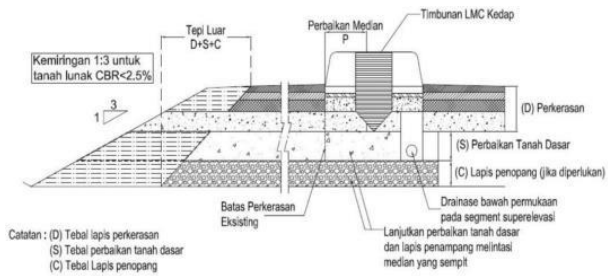
Gambar 2.7 Sambungan pelaksanaan yang direncanakan dan yang tidak direncanakan untuk pengecoran seluruh lebar perkerasan

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan revisi Juni 2017

Daya Dukung Tepi Perkerasan

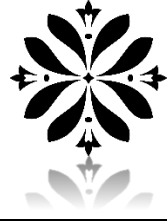
Struktur perkerasan memerlukan daya dukung tepi yang cukup, terutama bila terletak pada tanah lunak atau tanah gambut. Ketentuan daya dukung tepi harus dinyatakan secara detil dalam gambar-gambar kontrak (*drawings*). Ketentuan minimum adalah:

- 1) Setiap lapis perkerasan harus dipasang sampai lebar yang sama atau lebih dari nilai minimum seperti pada gambar 2.8
- 2) Timbunan tanpa penahan pada tanah lunak (CBR < 2.5%) atau tanah gambut harus dipasang pada kemiringan tidak lebih curam dari 1V : 3H



Gambar 2.8 Dukungan Tepi Perkerasan

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan revisi Juni 2017



BAB 5

Perencanaan Perkerasan Kaku Metode AASHTO 1993

Hardiyatmo (2015) mengemukakan bahwa pertimbangan utama dalam mendesain perkerasan beton atau perkerasan kaku adalah kekuatan struktur betonnya. Semakin tebal perkerasan beton maka akan semakin baik dalam menahan beban lalu lintas yang berat karena tegangan lentur yang bekerja di dalam beton menjadi berkurang. Dalam merencanakan perkerasan beton umumnya diasumsikan perkerasan tersebut akan melayani lalu lintas lebih dari 50.000, 18 kip *ESAL*, selama masa pelayanan.

Umur Rencana

AASHTO (1993) menyarankan bahwa umur perkerasan yang di definisikan sebagai periode analisis. Penentuan waktu analisis sangat dipengaruhi oleh kondisi jalan yang direncanakan. Umur Rencana ditentukan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.20

Tabel 2.20. Umur Rancangan Perkerasan

Kondisi Jalan Raya	Periode Analisis Umur Rancangan (tahun)
Perkotaan Volume Tinggi	30 – 50
Pedesaan Volume Tinggi	20 – 50
Volume Rendah, Jalan Diperkeras	15 – 25
Volume Rendah, Permukaan Agregat	10 – 20

Sumber : AASHTO (1993)

Analisa Lalu-Lintas

Menurut Suryawan (2009), traffic design merupakan salah satu parameter lalu lintas yang digunakan dalam perencanaan tebal perkerasan. Berdasarkan AASHTO 1993, penentuan *traffic design* dapat ditentukan menggunakan Persamaan 2.12 dibawah ini

$$W_{18} = \sum_{N1}^{Nn} LHR_j \times VDF_j \times D_D \times D_L \times 365 \quad (\text{Pers. 2.12})$$

W_{18} = *Traffic design* pada lajur lalu lintas (ESAL)

LHR_j = Jumlah lalu lintas harian rata-rata 2 arah untuk kendaraan

VDF_j = *Vehicle Damage Factor* untuk jenis kendaraan

D_D = Faktor distribusi arah

D_L = Faktor distribusi lajur

$N1$ = Lalu lintas pada tahun pertama jalan dibuka

Nn = Lalu lintas pada akhir umur rencana

Suryawan (2009) menguraikan lalu lintas yang digunakan untuk perencanaan tebal perkerasan kaku adalah lalu lintas kumulatif selama umur rencana. Besaran ini didapatkan dengan mengalikan beban gandar standar kumulatif pada jalur rencana selama setahun (W_{18}) dengan besaran kenaikan lalu lintas (*traffic growth*) yang dapat di lihat pada Persamaan 2.13.

$$W_t = W_{18} + \frac{(1+g)^n - 1}{g} \quad (\text{Pers. 2.13})$$

W_t = Jumlah beban gandar tunggal standar kumulatif

W_{18} = Beban gandar standar kumulatif selama 1 tahun

n = Umur pelayanan, atau umur rencana UR (tahun)

g = Perkembangan lalu-lintas (%)

Kemampuan Pelayanan (*Serviceability*)

Selesai pembangunan perkerasan jalan dan lalu lintas mulai dibuka dengan berjalannya waktu kemampuan pelayanan jalan semakin berkurang. AASHTO mengembangkan konsep penilaian kemampuan pelayanan (*serviceability rating*) yang dikaitkan dengan kerataan dan kemampuan pelayanan perkerasan yang dinyatakan dalam indeks kemampuan pelayanan sekarang (*Present Serviceability Index, PSI*). Tingkat penurunan pelayanan atau kerusakan perkerasan dinyatakan oleh kehilangan PSI pada suatu skala 0 sampai 5. Penilaian skala PSI dapat ditunjukkan pada Tabel 2.21.

Tabel 2.21 Skala PSI

Skala <i>PSI</i>	Kategori
0 – 1	Sangat Buruk
1 – 2	Buruk
2 – 3	Sedang
3 – 4	Baik
4 – 5	Sangat Baik

Sumber : AASHTO (1993)

Kemampuan pelayanan awal (Initial Serviceability, P_o) bergantung pada tingkat kehalusan atau rata-rata perkerasan awal. AASHTO (1993) menyarankan untuk perkerasan kaku atau perkerasan beton nilai P_o yang dipakai adalah 4,5. Kemampuan pelayanan akhir (*Terminal Serviceability*, P_t) bergantung pada kekasaran atau ketidakrataan jalan yang masih memungkinkan untuk dilalui kendaraan sebelum dilakukan rehabilitasi. Perancangan tebal perkerasan membutuhkan pemilihan indeks kemampuan pelayanan awal dan akhir. AASHTO (1993) menyarankan nilai-nilai kemampuan pelayanan akhir (P_t) adalah sebagai berikut.

- 1) Jalan raya utama, nilai P_t adalah 2,5 atau 3
- 2) Jalan raya dengan lalu lintas rendah, nilai P_t adalah 2
- 3) Jalan raya relatif minor, nilai P_t adalah 1,5

Kehilangan kemampuan pelayanan total (*total loss of serviceability*) dapat dinyatakan dengan Persamaan 2.14

$$\Delta PSI = P_o - P_t \quad (\text{Pers. 2.14})$$

dengan:

ΔPSI = Kehilangan kemampuan pelayanan total

P_o = Kemampuan pelayanan awal

P_t = Kemampuan pelayanan akhir

Reliabilitas (R) dan Deviasi Standar Normal (Z_r)

Reliability menyatakan tingkat kemungkinan bahwa perkerasan yang dirancang akan tetap memuaskan selama masa pelayanan (Hardiyatmo, 2015). Nilai reliability yang lebih besar menunjukkan kinerja perkerasan yang lebih baik namun membutuhkan tebal perkerasan yang lebih tebal.

Tabel 2.22. Nilai Reliability (R)

Klasifikasi Jalan	Nilai Reliability (%)	
	Perkotaan	Pedesaan
Jalan Bebas Hambatan	85 - 99,9	80 - 99,9
Arteri	80 - 99	75 - 95
Kolektor	80 - 95	75 - 95
Lokal	50 - 80	50 - 80

Sumber : AASHTO (1993)

Tabel 2.23. Standard Normal Deviate (Zr)

Reliability (%)	Standard Normal Deviate (Zr)
50	0,000
60	- 0.253
70	- 0.524
75	- 0.674
80	- 0.841
85	- 1,037
90	- 1,282
91	- 1,340
92	- 1,405
93	- 1,476
94	- 1,555
95	- 1,645
96	- 1,751
97	- 1,881
98	- 2,054
99	- 2,327
99,9	- 3,090
99,99	- 3,750

Sumber : AASHTO (1993)

AASHTO (1993) menyarankan nilai-nilai *reliability* (R) yang digunakan dalam perancangan berbagai klasifikasi jalan. Penentuan nilai *reliability* akan berhubungan dengan penentuan nilai *standard normal deviate* (Zr). Penentuan nilai *reliability* (R) ditunjukkan pada tabel 2.22 dan penentuan nilai *standard normal deviate* (Zr) ditunjukkan tabel 2.23.

Deviasi Standar Keseluruhan (S_o)

Hardiyatmo (2015) menyatakan deviasi standar keseluruhan (S_o) merupakan parameter yang digunakan untuk memperhitungkan adanya variasi dari input data. Deviasi standar keseluruhan dipilih sesuai dengan kondisi lokal. AASHTO (1993) menyarankan nilai deviasi standar keseluruhan (S_o) untuk perkerasan kaku di antara 0,30 - 0,40. Nilai deviasi standar keseluruhan (S_o) yang umum digunakan yaitu 0,35.

Modulus Reaksi Tanah Dasar (k)

Modulus reaksi tanah dasar (k) menggunakan gabungan formula dan grafik penentuan modulus reaksi tanah dasar berdasar ketentuan CBR tanah dasar. AASHTO (1993) menyarankan penentuan nilai *modulus of subgrade reaction* (k) dapat ditentukan dengan Persamaan 2.15 dan Persamaan 2.16

$$MR = 1500 \times CBR \quad (\text{Pers. 2.15})$$

$$k = \frac{MR}{19,4} \quad (\text{Pers. 2.16})$$

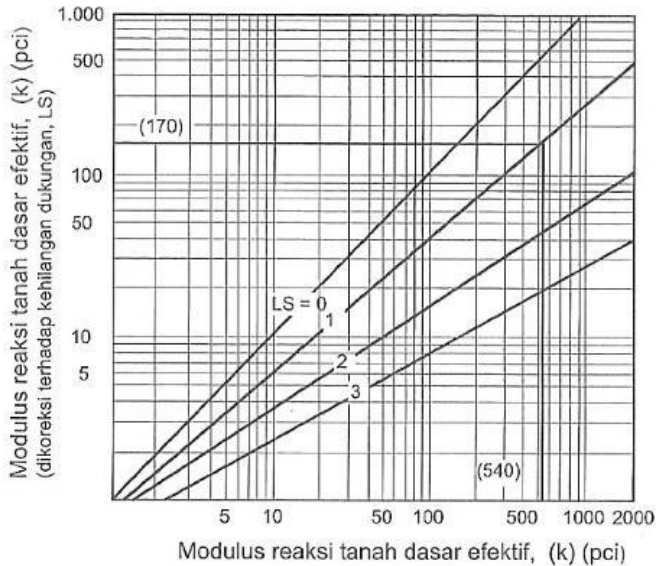
dengan:

MR = *Modulus resilient*

CBR = *California Bearing Ratio*

k = *Modulus of subgrade reaction*

Modulus reaksi tanah dasar yang didapat dari formula kemudian dikoreksi terhadap kehilangan dukungan lapi pondasi untuk mendapat modulus reaksi tanah efektif. Penentuan modulus reaksi tanah dasar efektif dapat menggunakan Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Modulus Reaksi Tanah Dasar Dikoreksi Terhadap Potensi Kehilangan Dukungan Lapis Pondasi Bawah

Sumber : AASHTO (1993)

Modulus reaksi tanah dasar efektif dipengaruhi oleh faktor kehilangan dukungan yang didasarkan pada potensi erosi material pondasi bawah. Faktor kehilangan dukungan (*loss of support factors*) seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.24

Tabel 2.24. Loss of Support Factors (LS)

No	Tipe Material	LS
1	<i>Cement treated granular base</i> (E = 1000000 - 2000000 psi)	0 - 1
2	<i>Cement aggregate mixtures</i> (E = 500000 - 1000000 psi)	0 - 1
3	<i>Asphalt treated base</i> (E = 350000 - 1000000 psi)	0 - 1
4	<i>Bituminous stabilized mixtures</i> (E = 40000 - 300000 psi)	0 - 1
5	<i>Lime stabilized</i> (E = 20000 - 70000 psi)	1 - 3
6	<i>Unbound granular materials</i> (E = 15000 - 45000 psi)	1 - 3
7	<i>Fine grained / natural subgrade materials</i> (E = 3000 - 4000 psi)	2 - 3

Sumber : AASHTO (1993)

Kuat Tekan Beton (f_c')

Hardiyatmo (2015) menguraikan bahwa kuat tekan beton merupakan kemampuan beton untuk menahan besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Secara tipikal, kuat tekan beton umur 7 hari bisa mencapai 70% dan pada umur 14 hari mencapai 85-90% dari kuat tekan beton 28 hari. Kuat tekan beton umur 28 hari berkisar 10-65 Mpa. Kebanyakan struktur beton bertulang menggunakan kuat tekan antara 17-30 Mpa. Uji tekan beton umumnya mempunyai kekuatan tekan beton maksimum pada regangan sekitar 0,002

Modulus Elastisitas Beton (E_c)

$$E_c = 57000 \times \sqrt{f_c'} \quad (\text{Pers. 2.17})$$

dengan :

E_c = Modulus Elastisitas Beton (psi)

W_c = Berat Volume Beton (pcf)

f_c' = Kuat tekan beton 28 hari (psi)

Kuat tekan beton f_c ditetapkan sesuai dengan spesifikasi pekerjaan.

Kuat Lentur Beton (*flexural strength*, S_c')

Kuat lentur beton merupakan kemampuan balok beton untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu yang diberikan pada balok beton tersebut sampai balok beton patah (Hardiyatmo, 2015). Kuat lentur (*flexural strength*) beton umur 28 hari disyaratkan tidak boleh lebih rendah dari 4 MPa (40 kg/cm²) sesuai Pd.T05-2004-B. Kuat lentur beton dengan agregat batu pecah menurut Pd.T-14-2003 dapat ditentukan dengan Persamaan 2.18

$$S_c' = 0,75 \times \sqrt{f_c'} \quad (\text{Pers. 2.18})$$

dengan :

S_c' = Kuat lenutr (MPa)

f_c' = Kuat tekan beton 28 hari (MPa)

Koefisien Drainase (C_d)

Penentuan nilai koefisien drainase bergantung pada kualitas drainase yang mempertimbangkan air hujan atau air dari atas permukaan jalan yang akan masuk ke dalam pondasi jalan, air dari samping jalan yang akan masuk ke pondasi jalan serta muka air tanah yang tinggi di bawah tanah dasar. Nilai koefisien drainase dapat di lihat pada Tabel 2.25.

Tabel 2.25. Koefisien Drainase (C_d) untuk Perkerasan Beton

Kualitas Drainase	Persentase Waktu Struktur Perkerasan Terkena Air			
	< 1 %	1 - 5%	5 - 25%	> 25 %
Sangat baik	1,25 - 1,20	1,20 - 1,15	1,15 - 1,10	1,10
Baik	1,20 - 1,15	1,15 - 1,10	1,10 - 1,00	1,00
Sedang	1,15 - 1,10	1,10 - 1,00	1,00 - 0,90	0,90
Buruk	1,10 - 1,00	1,00 - 0,90	0,90 - 0,80	0,80
Sangat Buruk	1,00 - 0,90	0,90 - 0,80	0,80 - 0,70	0,70

Sumber : AASHTO (1993)

Koefisien Penyalur Beban (J)

Hardiyatmo (2015) menyatakan koefisien transfer beban (J) adalah faktor yang digunakan dalam perancangan perkerasan kaku untuk memperhitungkan kemampuan struktur beton dalam mentransfer atau mendistribusikan beban yang melintas di atas sambungan atau retakan. Nilai transfer beban yang dapat digunakan sebagai pendekatan yaitu untuk sambungan dengan dowel sebesar 2,5 - 3,1.

AASHTO (1993) menyarankan untuk perkerasan kaku bersambung tanpa dilengkapi alat transfer beban pada sambungannya maka direkomendasikan nilai transfer beban sebesar 3,8-4. Nilai koefisien transfer beban (J) yang digunakan sebagai parameter desain dapat di lihat pada tabel 2.26

Tabel 2.26. Koefisien Transfer Beban (J)

Bahu Jalan	Aspal		Pelat Beton Semen Portland Terikat	
	Ya	Tidak	Ya	Tidak
Tipe Perkerasan:				
4. Perkerasan Beton Tak Bertulang Bersambungan (JPCP) dan Bertulang Bersambungan (JRCP)	3,2	3,8 - 4,4	2,5 - 3,1	3,6 - 4,2
5. Perkerasan Beton Bertulang Kontinyu (CRCP)	2,9 - 3,2	Tidak Ada	2,3 - 2,9	Tidak Ada

Sumber : AASHTO (1993)

Persamaan Penentu Tebal Pelat (D)

$$\log_{10} W_{18} = Z_R \times S_o + 7,35 \log_{10}(D + 1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,5 - 1,5} \right]}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(D+1)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32 p_t) \times \log_{10} \frac{S_c C_d \times [D^{0,75} - 1,132]}{215,63 \times j \times \left[D^{0,75} - \frac{18,42}{(E_c/k)^{0,25}} \right]} \quad (\text{Pers. 2.18})$$

Dimana :

- W_{t18} = Beban sumbu standar total (ESA) selama umur rencana
- Z_r = Standar Normal Deviasi
- S_o = Standar deviasi
- D = Tebal pelat beton (inch)
- ΔPSI = *Serviability*
- P_o = *Initial serviceability index*
- S_c' = Modulus of rupture sesuai spesifikasi pekerjaan (psi)
- C_d = *Drainage Coefficient*
- J = *Load transfer coefficient*
- E_c = Modulus elastisitas (psi)
- k = Modulus reaksi tanah dasar (pci)



BAB 6

Perencanaan Drainase Jalan

Saluran drainase jalan merupakan saluran yang direncanakan di tepi jalan yang berfungsi untuk menampung, membuang, dan mengalirkan air hujan yang jatuh dipermukaan perkerasan jalan dan daerah di sekitar jalan yang masih terdapat pada suatu catchment area agar tidak merusak konstruksi jalan yang ada. Dalam merencanakan konstruksi jalan, diperlukan adanya kemiringan melintang agar memudahkan dan mempercepat mengalirnya air ke sistem drainase di tepi jalan. Kemiringan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.27. dibawah ini :

Tabel 2.27. Kemiringan Melintang Perkerasan dan Bahu Jalan

No.	Jenis lapisan permukaan jalan	Kemiringan melintang normal (i)
1	Beraspal, beton	2% - 3%
2	Japat	4% - 6%
3	Kerikil	3% - 6%
4	Tanah	4% - 6%

Sumber : SNI 03-3424-1994 hal 5

Koefisien Penyalur Beban (J)

Perhitungan intensitas curah hujan (I) menggunakan analisa distribusi frekuensi, rumus yang digunakan sebagai berikut :

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum(X_1 - X)^2}{n-1}} \quad (\text{Pers. 2.19})$$

$$X_t = x + \frac{S_x}{s_n} (Y_t - Y_n) \quad (\text{Pers. 2.20})$$

$$I = \frac{90\% \times X_t}{4} \quad (\text{Pers. 2.21})$$

Keterangan :

X_t = besar curah hujan untuk periode ulang T tahun (mm)/24 jam

\bar{x} = nilai rata – rata aritmatik hujan kumulatif

S_x = standar deviasi

Y_t = variasi yang merupakan fungsi periode ulang

Y_n = nilai yang tergantung pada n

S_n = standar deviasi merupakan fungsi dari n

I = intensitas curah hujan mm/jam

Dalam menentukan variasi yang merupakan fungsi dalam suatu periode ulang dapat dilihat pada tabel 2.28

Tabel 2.28. Nilai Y_t

Periode Ulang (tahun)	Variasi yang Berkurang
2	0,3665
5	1,4999
10	2,2505
25	3,1985
50	3,9019
100	4,6001

Sumber : SNI 03-3424-1994 hal 15

Untuk menentukan nilai Y_n berdasarkan jumlah data curah hujan dapat dilihat pada tabel 2.29

Tabel 2.29. Nilai Y_n

n	0	1	2	3	4	5	6
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157
20	0,5225	0,5252	0,5288	0,5283	0,5255	0,5309	0,5320
30	0,5352	0,5371	0,5380	0,5388	0,5402	0,5402	0,5410
40	0,5435	0,5422	0,5448	0,5453	0,5458	0,5453	0,5468
50	0,5485	0,5485	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508
60	0,5521	0,5534	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538
70	0,5548	0,5552	0,5555	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561
80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580
90	0,5566	0,5589	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595

Sumber : SNI 03-3424-1994 hal 15

Standard deviasi yang merupakan fungsi n dapat dilihat pada Tabel 2.30 berikut :

Tabel 2.30. Nilai Sn

n	0	1	2	3	4	5	6
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316
20	0,0628	1,0696	1,0696	1,0811	1,0864	1,0915	1,0961
30	0,1124	1,1159	1,1159	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313
40	0,1413	1,1436	1,1436	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538
50	0,1607	1,1623	1,1623	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696
60	0,1747	1,1759	1,1759	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814
70	0,1899	1,1863	1,1863	1,1881	1,1890	1,1898	1,1906
80	0,1938	1,1945	1,1945	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980
90	0,2007	1,2013	1,2020	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044

Sumber : SNI 03-3424-1994 hal 15

Waktu Konsentrasi (Tc)

Waktu konsentrasi adalah lama waktu yang diperlukan air untuk mengalir dari titik terjauh pada daerah pengairan ke lokasi drainase. Waktu konsentrasi dipengaruhi oleh kemiringan saluran, kecepatan aliran dan kondisi permukaan saluran. Dari ketiga pengaruh tersebut, Perhitungan waktu konsentrasi (Tc) menggunakan rumus berikut :

$$T_c = t_1 + t_2 \quad (\text{Pers. 2.22})$$

Untuk mendapatkan inlet time (t_1) digunakan rumus :

$$t_1 = \left(\frac{2}{3} \times 3,28 \times L_o \times \frac{N_d}{\sqrt{S}} \right)^{0,167} \quad (\text{Pers. 2.23})$$

Untuk mendapatkan nilai time of flow (t_2) digunakan rumus :

$$t_2 = \frac{L}{60V} \quad (\text{Pers. 2.24})$$

Keterangan :

- Tc = Waktu konsentrasi (menit).
- t_1 = Waktu inlet (menit).
- t_2 = Waktu aliran (menit).
- L_o = jarak titik terjauh ke fasilitas drainase
- L = panjang saluran.
- N_d = koefisien hambatan
- S = Kemiringan daerah pengaliran.
- V = Kecepatan air rata-rata di selokan (m/dt)

Dalam perhitungan untuk mencari t_1 dibutuhkan nilai N_d . Nilai N_d ditentukan berdasarkan tabel yang menunjukkan hubungan kondisi permukaan tanah dengan koefisien hambatan.

Tabel. 2.31. Hubungan Kondisi Permukaan dengan Koefisien Hambatan

No.	Kondisi Lapis Permukaan	N_d
1	Lapis semen dan aspal beton	0,013
2	Permukaan licin dan kedap air	0,020
3	Permukaan licin dan kokoh	0,100
4	Tanah dengan rumput tipis dan gundul dengan permukaan sedikit kasar	0,200
5	Padang rumput dan rerumputan	0,400
6	Hutan gundul	0,600
7	Hutan rimbun dan hutan gundul rapat dengan hamparan rumput jarang sampai rapat	0,800

Sumber : SNI 03-3424-1994 hal 16

Tabel. 2.32. Kecepatan Aliran Air yang diizinkan Berdasarkan Jenis Material

Jenis Bahan	Kecepatan aliran air yang diizinkan (m/detik)
Pasir Halus	0,45
Lempung kepasiran	0,5
Lanau aluvial	0,6
Kerikil Halus	0,75
Lempung kokoh	0,75
Lempung padat	1,1
Kerikil kasar	1,2
Batu-batu besar	1,5
Pasangan Batu	1,5
Beton	1,5
Beton Bertulang	1,5

Sumber : SNI 03-3424-1994 hal 7

Koefisien Pengaliran (C)

Aliran yang menuju ke dalam saluran drainase berasal dari suatu catchment area di sekitar saluran drainase untuk menentukan koefisien pengaliran digunakan rumus :

$$C_{gabungan} = \frac{\sum C_i \times A_i}{\sum A_i} \quad (\text{Pers. 2.25})$$

Keterangan :

Ci = koefisien pengaliran

Ai = Luas daerah pengaliran

Dalam perhitungan untuk mencari $C_{gabungan}$ dibutuhkan nilai koefisien pengaliran. Nilai koefisien ini ditentukan berdasarkan kondisi permukaan tanah. Nilai koefisien tersebut dapat dilihat pada tabel 2.33 dibawah ini.

Tabel 2.33. Hubungan Kondisi Permukaan Tanah dan Koefisien Pengaliran

No.	Kondisi Permukaan Tanah	Koefisien Pengaliran (C)
1.	Jalan Beton dan Jalan Aspal	0,70 - 0,95
2.	Jalan kerikil & jalan tanah	0,40 - 0,70
3.	Bahu Jalan :	
	- Tanah berbutir halus	0,40 - 0,65
	- Tanah berbutir kasar	0,10 - 0,20
	- Batuan masif keras	0,70 - 0,85
	- Batuan masif lunak	0,60 - 0,75
4.	Daerah Perkotaan	0,70 - 0,95
5.	Daerah Pinggir Kota	0,60 - 0,70
6.	Daerah industri	0,60 - 0,90
7.	Pemukiman padat	0,40 - 0,60
8.	Pemukiman tidak padat	0,40 - 0,60
9.	Taman dan kebun	0,20 - 0,40
10.	Persawahan	0,45 - 0,60
11.	Perbukitan	0,70 - 0,80
12.	Pegunungan	0,75 - 0,90

Sumber : SNI 03-3424-1994 hal 18

Menghitung Luas Daerah Pengaliran (A)

Batas luas daerah pengaliran (A) tergantung dari pembebasan daerah sekitarnya. Untuk mendapatkan luas daerah pengaliran digunakan rumus:

$$L = L1 + L2 + L3 \quad (\text{Pers. 2.26})$$

$$A = L (L1 + L2 + L3) \quad (\text{Pers. 2.27})$$

Dimana :

L = batas daerah pengaliran yang diperhitungkan

L1 = ditetapkan dari as jalan sampai bagian tepi perkerasan

L2 = ditetapkan dari tepi perkerasan sampai bahu

L3 = tergantung dari daerah setempat dan panjang maksimum

A = luas daerah pengali

Menghitung Debit Air (Q)

Debit air adalah jumlah air yang mengalir masuk ke dalam saluran tepi. Dari keseluruhan analisis diatas, maka debit air yang melalui saluran dapat dihitung menggunakan rumus :

$$Q = \frac{1}{3,6} \times C \times I \times A \quad (\text{Pers. 2.28})$$

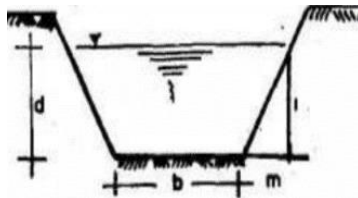
Keterangan :

- Q = debit air (m³)
- C = Koefisien Pengaliran
- I = Intensitas Hujan (mm/jam)
- A = Luas daerah pengaliran (km²)

Menghitung Dimensi Saluran Drainase

Bentuk saluran tepi dipilih berdasarkan beberapa faktor seperti kondisi tanah dasar, kecepatan aliran air yang masuk, dan permukaan air tanah yang dalam atau dangkal. Saluran tepi diperhitungkan sedemikian rupa sehingga dapat menampung dan mengalirkan air (hujan) dari permukaan perkerasan jalan dan area sekitar jalan. Hal perlu diperhitungkan dalam perencanaan dimensi saluran adalah sebagai berikut :

- 1) Penampang basah yang paling ekonomis untuk menampung debit maksimum (Fe), yaitu :
 - Saluran bentuk trapesium :



Gambar 2.10. Saluran bentuk trapesium

Sumber : SNI 03-3424-1994

$$\frac{b+2md}{2} = d\sqrt{m^2 + 1} \quad (\text{Pers. 2.29})$$

$$R = \frac{d}{2} \quad (\text{Pers. 2.30})$$

Kemiringan talud tergantung dari besarnya debit, dapat dilihat pada tabel 2.34.

Tabel 2.34. Nilai perbandingan kemiringan talud

Debit air Q (m ³ /detik)	Kemiringan Talud
0,00 - 0,75	1 : 1
0,75 - 15	1 : 1,5
15 - 80	1 : 2

Sumber : SNI 03-3424-1994 hal 20

Keterangan :

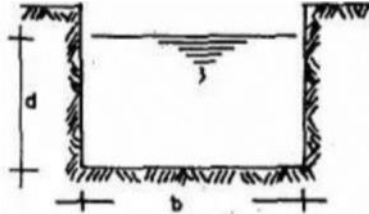
b = lebar saluran (m)

d = kedalaman saluran tergenang air (m)

m = perbandingan kemiringan talud

R = jari-jari hidrolis (m)

- Saluran bentuk segi empat :



Gambar 2.11. Saluran Bentuk Segi Empat

Sumber : SNI 03-3424-1994

$$b = 2d \quad (\text{Pers. 2.31})$$

$$R = \frac{d}{2} \quad (\text{Pers. 2.32})$$

Keterangan :

b = lebar saluran (m)

d = kedalaman saluran tergenang air (m)

R = jari-jari hidrolis (m)

- 2) Penampang basah berdasarkan debit air dan kecepatan (V), menggunakan rumus dibawah ini :

$$Fd = \frac{Q}{v} \quad (\text{Pers. 2.33})$$

Keterangan :

Fd = luas penampang (m²)

Q = Debit air (m³)/detik

V = Kecepatan aliran (m/detik) (tabel 2.36)

3) Dimensi selokan ditentukan atas dasar :

$$F_e = F_d \quad (\text{Pers. 2.34})$$

Keterangan :

F_e = luas penampang ekonomis (m^2)

F_d = luas penampang berdasarkan debit air yang ada (m^2)

Menghitung Kemiringan Saluran Drainase

Tabel 2.35. Harga n untuk Rumus Manning

No.	Tipe Saluran	Baik Sekali	Baik	Sedang	Jelek
	<u>SALURAN BUATAN</u>				
01.	Saluran tanah, lurus teratur	0,017	0,020	0,023	0,025
02.	Saluran tanah yang dibuat dengan excavator	0,023	0,028	0,030	0,040
03.	Saluran pada dinding batuan, lurus, teratur	0,020	0,030	0,033	0,035
04.	Saluran pada dinding batuan, tidak lurus, tidak teratur	0,035	0,040	0,045	0,045
05.	Saluran batuan yang diledakkan, ada tumbuh-tumbuhan	0,025	0,030	0,035	0,040
06.	Dasar saluran dari tanah, sisi saluran berbatu	0,028	0,030	0,033	0,035
07.	Saluran lengkung, dengan kecepatan aliran daerah	0,020	0,025	0,028	0,030
	<u>SALURAN ALAM</u>				
08.	Bersih, lurus, tidak berpasir, tidak berlubang	0,025	0,028	0,030	0,033
09.	Bersih, lurus, tidak berpasir, tidak berlubang tetapi ada timbunan atau kerikil	0,030	0,033	0,035	0,040
10.	Melengkung, bersih, berlubang, dan berdinding pasir	0,033	0,035	0,040	0,045
11.	Melengkung, bersih, berlubang, dan berdinding pasir, dangkal, tidak teratur	0,040	0,045	0,050	0,055
12.	Melengkung, bersih, berlubang, berdinding pasir, berbatu dan ada tumbuh-tumbuhan	0,035	0,040	0,045	0,050
13.	Melengkung, bersih, berlubang, dan berdinding pasir, dangkal, tidak teratur, sebagian berbatu	0,045	0,050	0,055	0,060
14.	Aliran pelan, banyak tumbuh-tumbuhan dan berlubang	0,050	0,060	0,070	0,080
15.	Banyak tumbuh-tumbuhan	0,075	0,100	0,125	0,150
	<u>SALURAN BUATAN, BETON, ATAU BATU KALI</u>				
16.	Saluran pasangan batu, tanpa penyelesaian	0,025	0,030	0,033	0,035
17.	Saluran pasangan batu, dengan penyelesaian	0,017	0,020	0,025	0,030
18.	Saluran beton	0,014	0,016	0,019	0,021
19.	Saluran beton halus dan rata	0,010	0,011	0,012	0,013
20.	Saluran beton pracetak dengan acuan baja	0,013	0,014	0,014	0,015
21.	Saluran beton pracetak dengan acuan kayu	0,015	0,016	0,016	0,018

Sumber : SNI 03-3424-1994 hal 25

Untuk memperhitungkan kemiringan saluran drainase samping menggunakan rumus :

$$V = \frac{1}{n} \times (R)^{\frac{2}{3}} \times (i)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Pers. 2.35})$$

$$i = \left\{ \frac{V \times n}{R^{\frac{2}{3}}} \right\}^2 \quad (\text{Pers. 2.36})$$

Keterangan :

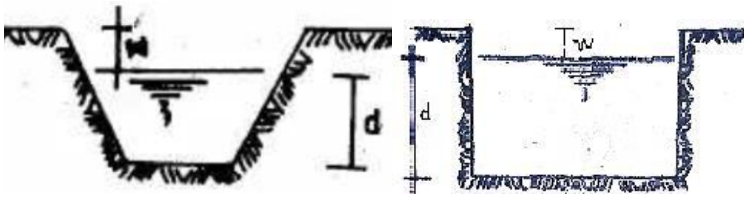
- V = kecepatan aliran (m/detik)
- n = koefisien kekasaran manning (Tabel 2.35)
- R = F/P = jari-jari hidrolis
- F = luas penampang basah (m²)
- P = keliling basah (m)
- i = kemiringan saluran yang diizinkan

Dari hasil kedua perhitungan diatas akan dibandingkan.

- Apabila (i lapangan) < (i perhitungan), maka kemiringan selokan direncanakan sesuai dengan i perhitungan
- Apabila (i lapangan) > (i perhitungan), maka harus dibuat pematah arus

Menghitung Tinggi Jagaan Saluran Drainase

Tinggi jagaan (W) untuk saluran drainase bentuk trapesium dan segi empat ditentukan berdasarkan rumus :



Gambar 2.12. Tinggi Jagaan Saluran Drainase bentuk Trapesium dan Segi Empat

Sumber : SNI 03-3424-1994

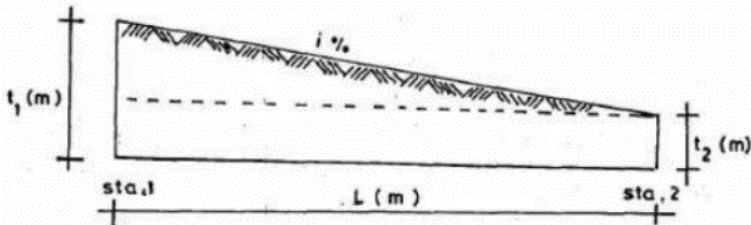
$$w = \sqrt{0,5 d} \quad (\text{Pers. 2.37})$$

Keterangan :

d = tinggi selokan yang terendam air

Menghitung Kemiringan Tanah

Kemiringan tanah ditempat saluran ditentukan dari hasil pengukuran di lapangan dan hasil perhitungan dengan menggunakan rumus :



Gambar 2.13. Kemiringan Tanah

Sumber : SNI 03-3424-1994

$$i = \frac{t_1 - t_2}{L} \times 100\% \quad (\text{Pers. 2.38})$$

Keterangan :

t_1 = tinggi tanah di bagian tertinggi (m)

t_2 = tinggi tanah di bagian terendah (m)



BAB 7

Pengumpulan dan Pengolahan Data Lalu Lintas

Pengumpulan Data

1. Lokasi

Ruas Jalan Tol Pemalang – Batang melintasi Kabupaten Pemalang, Kabupaten Pekalongan dan Kabupaten Batang dan termasuk ke dalam jalan nasional dan merupakan jalan bebas hambatan. Total Panjang jalan yaitu 39,2 km dimulai dari KM 307+000 s/d KM 346+200. Jalan Tol Pemalang – Batang memiliki empat lajur dua arah terbagi (MW 4/2 D) dengan muatan sumbu terberat >10 ton.

2. Data CBR Tanah

Parameter utama yang digunakan untuk menyatakan daya dukung tanah dasar pada perkerasan kaku adalah modulus reaksi tanah dasar (k). Modulus reaksi tanah dasar dapat ditetapkan di lapangan salah satunya dengan pengujian CBR. Nilai CBR di laboratorium digunakan sebagai standar untuk kelayakan CBR di lapangan. Pada perencanaan peningkatan kapasitas ruas jalan tol Pemalang – Batang ini nilai CBR tanah timbunan yang disyaratkan adalah minimal 6%. Didapatkan data CBR tanah pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.1. Hasil data tes CBR laboratorium

Proyek	Pekerjaan	Lokasi	CBR Soaked
Jalan Tol Pemalang - Batang	Timbunan	Seksi II (KM 309 – 315)	6,62 %

Sumber : Laporan Quality Bulanan Kontraktor

3. Data Lalu Lintas

Data lalu lintas harian rata-rata diperlukan untuk merencanakan tebal perkerasan dan analisa kapasitas jalan. Data lalu lintas yang diperoleh dari PT Pemalang – Batang Tol Road selaku Badan Usaha Jalan Tol Pemalang – Batang adalah LHR tahun 2021. Data LHRT Jalan Tol Pemalang – Batang tercantum dalam tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.2. Data Lalu Lintas Tahun 2021

Jenis Kendaraan	Segmen I (Sewaka - Pemalang)	Segmen II (Pemalang - Pekalongan)	Segmen III (Pekalongan - Batang)	Segmen IV (Batang - Pasekaran)
Gol 1	18.196	18.724	18.828	19.375
Gol 2	2.189	3.005	3.015	2.893
Gol 3	638	1.371	1.378	1.266
Gol 4	128	306	307	281
Gol 5	180	469	469	451
Total	21.331	23.875	23.997	24.266

Sumber : Data Lalu Lintas Jalan Tol Pemalang – Batang

4. Data Perekonomian

Beberapa penelitian telah menunjukkan hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan transportasi. Secara khusus, lalu lintas di jalan arteri utama (jalan tol dan jalan non-tol) akan dipengaruhi oleh banyak faktor seperti penduduk, PDRB, tenaga kerja. Parameter tersebut diasumsikan mempunyai korelasi yang kuat terhadap pertumbuhan bangkitan/tarikan perjalanan antar zona lalu-lintas. Pertumbuhan lalu-lintas berbasis zona diprediksi berdasarkan skenario perkembangan sosio ekonomi yang diperoleh dari prediksi dan proyeksi parameter-parameter penduduk, PDRB, dan penggunaan lahan (tata ruang kegiatan) di masa mendatang.

1) Penduduk

Prediksi tingkat pertumbuhan penduduk untuk koridor wilayah studi meliputi Provinsi Jawa Tengah, Kota Pemalang, Pekalongan dan Batang antara 0,24% hingga 1,17%. Kota Pemalang memiliki laju pertumbuhan yang lebih rendah dibandingkan dengan kota/kabupaten lainnya. Laju pertumbuhan terbesar di Kota Pemalang adalah 0,38% yang terjadi pada tahun 2016.

2) Perekonomian Wilayah

Skenario pertumbuhan ekonomi wilayah kajian periode lima tahunan dalam jangka panjang. Skenario ini selanjutnya akan digunakan untuk masukan permodelan lalu lintas.

Tabel 4.3 Laju Pertumbuhan PDRBHK

Wilayah	Pertumbuhan (%)
PDRB Jawa Tengah	5,40
PDRB Pemalang	5,57
PDRB Batang	5,50
PDRB Pekalongan	5,39
Inflasi	2,9

Sumber : *Studi Proyeksi Lalu Lintas Jalan Tol Pemalang - Batang*

Selain dari faktor pertumbuhan penduduk dan ekonomi, parameter besaran faktor pertumbuhan juga didapat dari angka pertumbuhan lalu lintas dari jalan tol Pemalang – Batang dan jalan tol terdekat dengan karakteristik lalu lintas yang kurang lebih sama dengan jalan Tol Pemalang - Batang. Berdasarkan dari berbagai macam variabel penentu faktor pertumbuhan di atas maka didapatkan angka tingkat pertumbuhan di bawah.

Tabel 4.4 Parameter Tingkat Pertumbuhan

Tahun	Pertumbuhan (%)
2022 – 2024	2,90
2025 – 2029	5,49
2030 – 2031	8,07
2032 – 2036	5,90
2037 – 2039	5,49
2040 – 2047	4,07
2048 – 2066	3,51

Sumber : *Studi Proyeksi Lalu Lintas Jalan Tol Pemalang – Batang*

5. Data Curah Hujan

Data curah hujan adalah tinggi hujan dalam satu tahun waktu. Data curah hujan digunakan untuk merencanakan drainase jalan berupa saluran tepi. Pembangunan saluran tepi sangat diperlukan karena perkerasan kaku mudah meresap ke dalam lapisan perkerasan beton. Sehingga diperlukan adanya perencanaan saluran tepi untuk mengalirkan air yang menggenang pada badan jalan. Data curah hujan didapat dari Badan Pusat Statistik Kabupaten Pekalongan. Data curah hujan yang digunakan adalah curah hujan rata-rata per tahun selama 10 tahun dari tahun 2012 hingga tahun 2021.

Tabel 4.5 Data Curah Hujan

No	Tahun	Hujan Harian Xi (mm)
1	2012	224.9
2	2013	224.9
3	2014	190.9
4	2015	169.0
5	2016	206.3
6	2017	224.9
7	2018	161.3
8	2019	116.4
9	2020	49.5
10	2021	483.8

Sumber : Badan Pusat Statistik Kabupaten Pekalongan

Pengolahan Data Lalu Lintas

Peningkatan jalan direncanakan dengan umur rencana 45 tahun dengan awal umur rencana 2021, sehingga akhir umur rencana adalah pada tahun 2066. Dari data LHR pada tahun 2021 dihitung perkiraan kenaikan intensitas lalu-lintas sampai dengan akhir umur rencana dengan angka pertumbuhan sesuai pada tabel 4.5.

Rekapitulasi hasil perhitungan LHR hingga akhir umur rencana dapat dilihat pada tabel 4.6 s/d tabel 4.9. Berikut contoh perhitungan volume monil penumpang (Gol.1) pada segmen 1 tahun 2022 :

$$\begin{aligned}
 \text{LHR} &= \text{Volume kendaraan} \times (1+i)^{n-1} \\
 &= 18196 \times (1+2.90\%)^{2-1} \\
 &= 18724
 \end{aligned}$$

Tabel 4.6 Proyeksi Lalu Lintas Harian Rata - Rata (LHR) Segmen I (Sewaka – Pemalang)

Tahun Rencana	n	Jenis Kendaraan						I
		Gol 1	Gol 2	Gol 3	Gol 4	Gol 5	Total	
2021	2	18196	2189	638	128	180	21331	2.90%
2022	2	18724	2252	657	132	185	21950	2.90%
2023	2	19267	2318	676	136	191	22586	2.90%
2024	2	19825	2385	695	139	196	23241	2.90%
2025	2	20914	2516	733	147	207	24517	5.49%
2026	2	22062	2654	774	155	218	25863	5.49%
2027	2	23273	2800	816	164	230	27283	5.49%
2028	2	24551	2954	861	173	243	28781	5.49%
2029	2	25899	3116	908	182	256	30361	5.49%
2030	2	27989	3367	981	197	277	32811	8.07%
2031	2	30247	3639	1061	213	299	35459	8.07%
2032	2	32032	3853	1123	225	317	37551	5.90%
2033	2	33922	4081	1189	239	336	39766	5.90%
2034	2	35923	4322	1260	253	355	42113	5.90%
2035	2	38043	4577	1334	268	376	44597	5.90%
2036	2	40287	4847	1413	283	399	47228	5.90%
2037	2	42499	5113	1490	299	420	49821	5.49%
2038	2	44832	5393	1572	315	443	52557	5.49%
2039	2	47294	5689	1658	333	468	55442	5.49%
2040	2	49218	5921	1726	346	487	57698	4.07%
2041	2	51222	6162	1796	360	507	60047	4.07%
2042	2	53306	6413	1869	375	527	62491	4.07%
2043	2	55476	6674	1945	390	549	65034	4.07%
2044	2	57734	6945	2024	406	571	67681	4.07%
2045	2	60084	7228	2107	423	594	70435	4.07%
2046	2	62529	7522	2192	440	619	73302	4.07%
2047	2	65074	7828	2282	458	644	76286	4.07%
2048	2	67358	8103	2362	474	666	78963	3.51%
2049	2	69722	8388	2445	490	690	81735	3.51%
2050	2	72170	8682	2530	508	714	84604	3.51%
2051	2	74703	8987	2619	525	739	87573	3.51%
2052	2	77325	9302	2711	544	765	90647	3.51%
2053	2	80039	9629	2806	563	792	93829	3.51%
2054	2	82848	9967	2905	583	820	97122	3.51%
2055	2	85756	10317	3007	603	848	100531	3.51%
2056	2	88766	10679	3112	624	878	104060	3.51%

Tahun Rencana	n	Jenis Kendaraan						I
		Gol 1	Gol 2	Gol 3	Gol 4	Gol 5	Total	
2057	2	91882	11054	3222	646	909	107712	3.51%
2058	2	95107	11441	3335	669	941	111493	3.51%
2059	2	98445	11843	3452	693	974	115406	3.51%
2060	2	101901	12259	3573	717	1008	119457	3.51%
2061	2	105477	12689	3698	742	1043	123650	3.51%
2062	2	109180	13134	3828	768	1080	127990	3.51%
2063	2	113012	13595	3962	795	1118	132483	3.51%
2064	2	116979	14073	4102	823	1157	137133	3.51%
2065	2	121084	14567	4246	852	1198	141946	3.51%
2066	2	125335	15078	4395	882	1240	146929	3.51%

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.7 Proyeksi Lalu Lintas Harian Rata - Rata (LHR) Segmen II (Pemalang – Pekalongan)

Tahun Rencana	n	Jenis Kendaraan						I
		Gol 1	Gol 2	Gol 3	Gol 4	Gol 5	Total	
2021	2	18724	3005	1371	306	469	23875	2.90%
2022	2	19267	3092	1411	315	483	24567	2.90%
2023	2	19826	3182	1452	324	497	25280	2.90%
2024	2	20401	3274	1494	333	511	26013	2.90%
2025	2	21521	3454	1576	352	539	27441	5.49%
2026	2	22702	3643	1662	371	569	28948	5.49%
2027	2	23949	3843	1754	391	600	30537	5.49%
2028	2	25263	4054	1850	413	633	32213	5.49%
2029	2	26650	4277	1951	436	668	33982	5.49%
2030	2	28801	4622	2109	471	721	36724	8.07%
2031	2	31125	4995	2279	509	780	39688	8.07%
2032	2	32962	5290	2413	539	826	42029	5.90%
2033	2	34906	5602	2556	570	874	44509	5.90%
2034	2	36966	5933	2707	604	926	47135	5.90%
2035	2	39147	6283	2866	640	981	49916	5.90%
2036	2	41456	6653	3035	678	1038	52861	5.90%
2037	2	43732	7019	3202	715	1095	55763	5.49%
2038	2	46133	7404	3378	754	1156	58825	5.49%
2039	2	48666	7810	3563	795	1219	62054	5.49%
2040	2	50647	8128	3708	828	1269	64580	4.07%
2041	2	52708	8459	3859	861	1320	67208	4.07%
2042	2	54853	8803	4016	896	1374	69943	4.07%
2043	2	57086	9162	4180	933	1430	72790	4.07%
2044	2	59409	9535	4350	971	1488	75753	4.07%
2045	2	61827	9923	4527	1010	1549	78836	4.07%
2046	2	64343	10326	4711	1052	1612	82044	4.07%
2047	2	66962	10747	4903	1094	1677	85384	4.07%
2048	2	69313	11124	5075	1133	1736	88381	3.51%
2049	2	71745	11514	5253	1173	1797	91483	3.51%
2050	2	74264	11919	5438	1214	1860	94694	3.51%
2051	2	76870	12337	5629	1256	1925	98017	3.51%
2052	2	79569	12770	5826	1300	1993	101458	3.51%
2053	2	82361	13218	6031	1346	2063	105019	3.51%
2054	2	85252	13682	6242	1393	2135	108705	3.51%
2055	2	88245	14162	6461	1442	2210	112521	3.51%
2056	2	91342	14659	6688	1493	2288	116470	3.51%
2057	2	94548	15174	6923	1545	2368	120558	3.51%
2058	2	97867	15707	7166	1599	2451	124790	3.51%
2059	2	101302	16258	7417	1656	2537	129170	3.51%
2060	2	104858	16829	7678	1714	2626	133704	3.51%
2061	2	108538	17419	7947	1774	2719	138397	3.51%

Tahun Rencana	n	Jenis Kendaraan						I
		Gol 1	Gol 2	Gol 3	Gol 4	Gol 5	Total	
2062	2	112348	18031	8226	1836	2814	143255	3.51%
2063	2	116291	18663	8515	1901	2913	148283	3.51%
2064	2	120373	19319	8814	1967	3015	153488	3.51%
2065	2	124598	19997	9123	2036	3121	158875	3.51%
2066	2	128971	20699	9443	2108	3230	164452	3.51%

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.8 Proyeksi Lalu Lintas Harian Rata - Rata (LHR) Segmen III (Pekalongan – Batang)

Tahun Rencana	n	Jenis Kendaraan						I
		Gol 1	Gol 2	Gol 3	Gol 4	Gol 5	Total	
2021	2	18828	3015	1378	307	469	23997	2.90%
2022	2	19374	3102	1418	316	483	24693	2.90%
2023	2	19936	3192	1459	325	497	25409	2.90%
2024	2	20514	3285	1501	334	511	26146	2.90%
2025	2	21640	3465	1584	353	539	27581	5.49%
2026	2	22828	3656	1671	372	569	29095	5.49%
2027	2	24082	3856	1763	393	600	30693	5.49%
2028	2	25404	4068	1859	414	633	32378	5.49%
2029	2	26798	4291	1961	437	668	34155	5.49%
2030	2	28961	4638	2120	472	721	36912	8.07%
2031	2	31298	5012	2291	510	780	39891	8.07%
2032	2	33145	5308	2426	540	826	42244	5.90%
2033	2	35100	5621	2569	572	874	44736	5.90%
2034	2	37171	5952	2721	606	926	47376	5.90%
2035	2	39364	6304	2881	642	981	50171	5.90%
2036	2	41687	6675	3051	680	1038	53131	5.90%
2037	2	43975	7042	3218	717	1095	56048	5.49%
2038	2	46389	7429	3395	756	1156	59125	5.49%
2039	2	48936	7836	3582	798	1219	62371	5.49%
2040	2	50928	8155	3727	830	1269	64910	4.07%
2041	2	53001	8487	3879	864	1320	67551	4.07%
2042	2	55158	8833	4037	899	1374	70301	4.07%
2043	2	57403	9192	4201	936	1430	73162	4.07%
2044	2	59739	9566	4372	974	1488	76140	4.07%
2045	2	62170	9956	4550	1014	1549	79239	4.07%
2046	2	64701	10361	4735	1055	1612	82464	4.07%
2047	2	67334	10782	4928	1098	1677	85820	4.07%
2048	2	69698	11161	5101	1136	1736	88832	3.51%
2049	2	72144	11553	5280	1176	1797	91950	3.51%
2050	2	74676	11958	5465	1218	1860	95178	3.51%
2051	2	77297	12378	5657	1260	1925	98518	3.51%
2052	2	80010	12812	5856	1305	1993	101976	3.51%
2053	2	82819	13262	6061	1350	2063	105556	3.51%
2054	2	85726	13728	6274	1398	2135	109261	3.51%
2055	2	88735	14209	6494	1447	2210	113096	3.51%
2056	2	91849	14708	6722	1498	2288	117065	3.51%
2057	2	95073	15224	6958	1550	2368	121174	3.51%
2058	2	98410	15759	7203	1605	2451	125428	3.51%
2059	2	101865	16312	7455	1661	2537	129830	3.51%
2060	2	105440	16885	7717	1719	2626	134387	3.51%
2061	2	109141	17477	7988	1780	2719	139104	3.51%

Tahun Rencana	n	Jenis Kendaraan						I
		Gol 1	Gol 2	Gol 3	Gol 4	Gol 5	Total	
2062	2	112972	18091	8268	1842	2814	143987	3.51%
2063	2	116937	18726	8558	1907	2913	149041	3.51%
2064	2	121042	19383	8859	1974	3015	154272	3.51%
2065	2	125290	20063	9170	2043	3121	159687	3.51%
2066	2	129688	20767	9492	2115	3230	165292	3.51%

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.9 Proyeksi Lalu Lintas Harian Rata - Rata (LHR) Segmen IV (Batang – Pasekaran)

Tahun Rencana	n	Jenis Kendaraan						I
		Gol 1	Gol 2	Gol 3	Gol 4	Gol 5	Total	
2021	2	19375	2893	1266	281	451	24266	2.90%
2022	2	19937	2977	1303	289	464	24970	2.90%
2023	2	20515	3063	1340	298	478	25694	2.90%
2024	2	21110	3152	1379	306	491	26439	2.90%
2025	2	22269	3325	1455	323	518	27890	5.49%
2026	2	23491	3508	1535	341	547	29422	5.49%
2027	2	24781	3700	1619	359	577	31037	5.49%
2028	2	26142	3903	1708	379	609	32741	5.49%
2029	2	27577	4118	1802	400	642	34538	5.49%
2030	2	29802	4450	1947	432	694	37326	8.07%
2031	2	32207	4809	2104	467	750	40338	8.07%
2032	2	34108	5093	2229	495	794	42718	5.90%
2033	2	36120	5393	2360	524	841	45238	5.90%
2034	2	38251	5711	2499	555	890	47907	5.90%
2035	2	40508	6048	2647	587	943	50734	5.90%
2036	2	42898	6405	2803	622	999	53727	5.90%
2037	2	45253	6757	2957	656	1053	56676	5.49%
2038	2	47737	7128	3119	692	1111	59788	5.49%
2039	2	50358	7519	3290	730	1172	63070	5.49%
2040	2	52408	7825	3424	760	1220	65637	4.07%
2041	2	54541	8144	3564	791	1270	68309	4.07%
2042	2	56760	8475	3709	823	1321	71089	4.07%
2043	2	59070	8820	3860	857	1375	73982	4.07%
2044	2	61475	9179	4017	892	1431	76993	4.07%
2045	2	63977	9553	4180	928	1489	80127	4.07%
2046	2	66581	9942	4350	966	1550	83388	4.07%
2047	2	69290	10346	4528	1005	1613	86782	4.07%
2048	2	71722	10709	4686	1040	1670	89828	3.51%
2049	2	74240	11085	4851	1077	1728	92981	3.51%
2050	2	76846	11474	5021	1115	1789	96245	3.51%
2051	2	79543	11877	5197	1154	1852	99623	3.51%
2052	2	82335	12294	5380	1194	1917	103119	3.51%
2053	2	85225	12725	5569	1236	1984	106739	3.51%
2054	2	88216	13172	5764	1279	2053	110486	3.51%
2055	2	91313	13634	5967	1324	2126	114364	3.51%
2056	2	94518	14113	6176	1371	2200	118378	3.51%
2057	2	97835	14608	6393	1419	2277	122533	3.51%
2058	2	101269	15121	6617	1469	2357	126834	3.51%
2059	2	104824	15652	6849	1520	2440	131286	3.51%
2060	2	108503	16201	7090	1574	2526	135894	3.51%
2061	2	112312	16770	7339	1629	2614	140664	3.51%

Tahun Rencana	n	Jenis Kendaraan						I
		Gol 1	Gol 2	Gol 3	Gol 4	Gol 5	Total	
2062	2	116254	17359	7596	1686	2706	145601	3.51%
2063	2	120334	17968	7863	1745	2801	150711	3.51%
2064	2	124558	18599	8139	1806	2899	156001	3.51%
2065	2	128930	19251	8425	1870	3001	161477	3.51%
2066	2	133456	19927	8720	1936	3107	167145	3.51%

Sumber : Hasil Perhitungan



BAB 8

Perencanaan Struktur Jalan

Analisa Kapasitas Jalan

1. Menentukan Kapasitas Dasar (C_0)

Kapasitas dasar untuk daerah jalan bebas hambatan ditentukan dari jumlah lajur dan arah pada jalan eksisting, seperti pada Tabel 2.3. Kondisi eksisting pada ruas jalan Tol Pemalang – Batang termasuk dalam tipe jalan empat lajur terbagi yang terdiri dari 2 jalur dengan 4 lajur dan 2 arah (4/2D). Maka sesuai dengan tabel 2.3, ditentukan nilai kapasitas dasar (C_0) sebesar 2300 smp/jam

2. Menentukan Faktor Penyesuaian Kapasitas Lebar Jalur Lalu Lintas (FC_w)

Untuk tipe jalan 4/2 D dengan lebar efektif jalur lalu-lintas per lajur 3,6, berdasarkan Tabel 2.4, didapatkan nilai $FC_w = 1,01$.

3. Menentukan Faktor Penyesuaian Kapasitas akibat Pemisah Arah (FC_{SP})

Untuk tipe jalan 4/2 D dengan eksisting jalan dipisahkan oleh *Concrete Barrier* diketahui pemisah arah sebesar 50% - 50% karena masing – masing jalur terdiri dari 2 lajur dengan lebar 3,6 meter per lajur, lebar bahu dalam 1,5 meter, dan lebar bahu luar 3 meter. Maka berdasarkan pada tabel 2.5 didapatkan nilai $FC_{sp} = 1,00$.

4. Menghitung Nilai Kapasitas (C)

Dengan menggunakan persamaan 2.1 dapat dihitung nilai C sebagai berikut :

$$\begin{aligned} C &= C_0 \times FCW \times FCSP \times \text{jumlah lajur} \\ &= 2300 \times 1.012 \times 1 \times 4 \\ &= 9310 \text{ smp/jam} \end{aligned}$$

5. Menghitung Nilai Arus Total Lalu Lintas (Q)

Menentukan nilai Q dapat diketahui melalui persamaan 2.3 contoh perhitungan Q lalu lintas golongan 1 tahun 2021 :

$$\begin{aligned} Q &= LHRT \times k \times \text{emp} \\ &= 18196 \times 0,11 \times 1 \\ &= 2001 \text{ smp/jam} \end{aligned}$$

6. Menghitung Derajat Kejenuhan (DS)

Besarnya DS dapat dihitung menggunakan persamaan 2.2. Contoh perhitungan DS tahun 2021 dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.10. Perhitungan DS Tahun 2021

Tahun	Segmen	Gol. Kend	LHR	k	emp	Q (smp/jam)	C	DS
2021	I	1	18196	0.11	1	2002	9310	0.27
		2	2189	0.11	1.4	337		
		3	638	0.11	1.6	112		
		4	128	0.11	1.6	23		
		5	180	0.11	1.6	32		
	II	1	18724	0.11	1	2060	9310	0.31
		2	3005	0.11	1.4	463		
		3	1371	0.11	1.6	241		
		4	306	0.11	1.6	54		
		5	469	0.11	1.6	83		
	III	1	18828	0.11	1	2071	9310	0.31
		2	3015	0.11	1.4	464		
		3	1378	0.11	1.6	243		
		4	307	0.11	1.6	54		
		5	469	0.11	1.6	83		
	IV	1	19375	0.11	1	2131	9310	0.31
		2	2893	0.11	1.4	446		
		3	1266	0.11	1.6	223		
		4	281	0.11	1.6	49		
		5	451	0.11	1.6	79		

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.11. Rekapitulasi DS (4/2 UD)

Tahun Rencana	DS			
	SEGMENT I	SEGMENT II	SEGMENT III	SEGMENT IV
2021	0.27	0.31	0.31	0.31
2022	0.28	0.32	0.32	0.32
2023	0.28	0.33	0.33	0.33
2024	0.29	0.34	0.34	0.34
2025	0.31	0.36	0.36	0.36
2026	0.33	0.38	0.38	0.38
2027	0.34	0.40	0.40	0.40
2028	0.36	0.42	0.42	0.42
2029	0.38	0.44	0.45	0.45
2030	0.41	0.49	0.49	0.48
2031	0.45	0.53	0.53	0.53
2032	0.47	0.56	0.56	0.57
2033	0.50	0.59	0.59	0.60
2034	0.53	0.62	0.62	0.61
2035	0.57	0.66	0.66	0.66
2036	0.61	0.70	0.70	0.70
2037	0.64	0.73	0.74	0.74
2038	0.68	0.77	0.78	0.78
2039	0.69	0.82	0.82	0.82
2040	0.72	0.85	0.85	0.86
2041	0.75	0.89	0.89	0.89
2042	0.78	0.92	0.93	0.93
2043	0.81	0.96	0.96	0.97
2044	0.85	1.00	1.00	1.01
2045	0.88	1.05	1.07	1.05
2046	0.92	1.09	1.11	1.09
2047	0.95	1.14	1.16	1.13
2048	0.99	1.18	1.20	1.20
2049	1.02	1.22	1.24	1.24
2050	1.07	1.26	1.29	1.29
2051	1.11	1.31	1.30	1.33
2052	1.15	1.36	1.34	1.38
2053	1.19	1.41	1.39	1.43

Tahun Rencana	DS			
	SEGMENT I	SEGMENT II	SEGMENT III	SEGMENT IV
2054	1.23	1.46	1.44	1.44
2055	1.27	1.51	1.49	1.49
2056	1.31	1.56	1.54	1.55
2057	1.36	1.62	1.60	1.60
2058	1.41	1.67	1.65	1.66
2059	1.46	1.73	1.72	1.72
2060	1.51	1.79	1.78	1.79
2061	1.56	1.85	1.84	1.85
2062	1.62	1.92	1.91	1.92
2063	1.67	1.99	1.98	1.98
2064	1.73	2.06	2.05	2.05
2065	1.79	2.13	2.12	2.12
2066	1.86	2.20	2.19	2.20

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.11 untuk 2 jalur dengan 4 lajur dan 2 arah pada segmen I tahun 2042 nilai DS 0,78 > DS ijin 0,75. Maka untuk segmen I tahun 2042 membutuhkan pelebaran jalan. Sedangkan untuk segmen II, III, dan IV tahun 2038 nilai DS 0,77 > DS ijin 0,75. Maka untuk segmen II, III, dan IV tahun 2038 membutuhkan pelebaran jalan.

7. Menghitung Nilai Kapasitas Pelebaran Jalan

Jalan eksisting direncanakan menjadi 2 jalur dengan 6 lajur dan 2 arah terbagi dengan lebar lajur tambahan 3,6 m. Perhitungan kapasitas pelebaran jalan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 C &= C_0 \times FCW \times FCSP \times \text{jumlah lajur} \\
 &= 2300 \times 1.012 \times 1 \times 6 \\
 &= 13.965 \text{ smp/jam}
 \end{aligned}$$

8. Menghitung Derajat Kejenuhan (DS) setelah pelebaran

Pelebaran ruas jalan tol Pemalang – Batang segmen I dilakukan pada 2042 dan pada segmen II, III, dan IV dilakukan pada 2038 yaitu pada tahun tersebut direncanakan 2 jalur dengan 6 lajur 2 arah terbagi (6/2 D) dengan :

- Lebar badan jalan : 3,6 m (tiap lajur)
- Median dan bahu jalan : ada

Setelah dilakukan perencanaan pelebaran, didapat hasil seperti pada tabel 4.12 dibawah ini.

Tabel 4.12. Rekapitulasi DS setelah Pelebaran

Tahun Rencana	DS			
	SEGMENT I	SEGMENT II	SEGMENT III	SEGMENT IV
2038	0.45	0.52	0.52	0.52
2039	0.46	0.54	0.55	0.55
2040	0.48	0.57	0.57	0.57
2041	0.50	0.59	0.59	0.60
2042	0.52	0.61	0.62	0.62
2043	0.54	0.64	0.64	0.64
2044	0.56	0.67	0.67	0.67
2045	0.59	0.70	0.71	0.70
2046	0.61	0.73	0.74	0.73
2047	0.64	0.76	0.77	0.76
2048	0.66	0.78	0.80	0.80
2049	0.68	0.81	0.83	0.83
2050	0.71	0.84	0.86	0.86
2051	0.74	0.88	0.86	0.89
2052	0.76	0.91	0.90	0.92
2053	0.79	0.94	0.93	0.95
2054	0.82	0.97	0.96	0.96
2055	0.85	1.01	0.99	1.00
2056	0.88	1.04	1.03	1.03
2057	0.91	1.08	1.06	1.07
2058	0.94	1.11	1.10	1.10
2059	0.97	1.15	1.15	1.14
2060	1.01	1.19	1.19	1.19
2061	1.04	1.24	1.23	1.23
2062	1.08	1.28	1.27	1.28
2063	1.12	1.32	1.32	1.32
2064	1.16	1.37	1.36	1.37
2065	1.20	1.42	1.41	1.42
2066	1.24	1.47	1.46	1.47

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari data diatas diketahui bahwa *Degree of Saturation* (DS) pada jalan tol Pemalang – Batang segmen 1 tahun 2042 – 2051 berada dibawah DS ijin < 7,5. Akan tetapi, pada tahun 2052 – 2066 nilai DS berada diatas DS ijin. Sedangkan pada segmen II, III, dan IV tahun 2038 – 2047 berada dibawah DS ijin < 7,5. Akan tetapi, pada tahun 2048 – 2066 nilai DS berada diatas DS ijin. Sehingga dari data tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa untuk PT. Pemalang Batang Tol Road sampai masa akhir konsesi (Tahun 2066) dimungkinkan untuk melakukan pelebaran jalan lebih dari 1 kali atau pelebaran dilakukan lebih dari 1 Lajur.

Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku Metode MDP Bina Marga 2017

1. Umur Rencana

Dalam peningkatan ruas jalan tol Pemalang – Batang yang direncanakan pada tugas akhir ini, sesuai pada tabel 2.7 untuk jenis perkerasan kaku, umur perkerasan direncanakan selama 45 tahun.

2. Analisa Volume Lalu Lintas

1) Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Ruas jalan tol Pemalang – Batang termasuk dalam tipe jalan arteri. Pada tabel 2.8 faktor laju pertumbuhan lalu lintas (i) untuk jalan arteri di Pulau Jawa = 4,8 %. Pertumbuhan lalu lintas $R_{(2021-2025)}$ dan $R_{(2026-2066)}$ dengan umur rencana masing – masing 5 tahun dan 40 tahun dapat dihitung dengan menggunakan faktor pertumbuhan kumulatif sesuai dengan persamaan 2.4 dibawah ini :

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

$$R_{2021-2025} = \frac{(1+(0,01 \times 0,048)^5-1}{0,01 \times 0,054} = 5,004802$$

$$R_{2026-2066} = \frac{(1+(0,01 \times 0,048)^{40}-1}{0,01 \times 0,054} = 40,37669$$

2) Faktor Distribusi Lajur

Faktor distribusi lajur untuk kendaraan niaga (truk dan bus) ditentukan pada Tabel 2.9. Jumlah lajur dalam setiap arah pada jalan eksisting adalah 2 lajur. Maka didapatkan nilai DL = 80

3) Faktor Distribusi Arah

Faktor distribusi arah untuk jalan dua arah untuk kendaraan niaga (truk dan bus) didapat nilai $DD = 0,5$

4) Beban Sumbu Standar Kumulatif (CESAL)

Dalam perhitungan jumlah beban sumbu standar kumulatif (CESAL) selama umur rencana, dapat digunakan persamaan 2.5 dengan hasil seperti pada tabel 4.13

Tabel 4.13. Perhitungan Jumlah Beban Sumbu Standar Kumulatif (CESAL)

Jenis Kendaraan	Lintas Harian Rata-rata (2 arah) 2021	LHR 2025	LHR 2026	VDF4 faktual	VDF4 normal	VDF5 faktual	VDF5 normal	ESA4 ('21-'25)	ESA4 ('26-'66)	ESA5 ('21-'25)	ESA5 ('26-'66)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Golongan 1 (2)	18780	23741	24881	-	-	-	-	-	-	-	-
Golongan 2 (6b)	2775	3508	3676	5.3	9.2	4	5.1	1.E+07	2.E+08	1.E+07	1.E+08
Golongan 3 (7a2)	1163	1470	1541	10.2	19	4.3	5.6	1.E+07	2.E+08	5.E+06	5.E+07
Golongan 4 (7c1)	255	322	338	11	19.8	7.4	9.7	3.E+06	4.E+07	2.E+06	2.E+07
Golongan 5 (7c2a)	392	496	519	17.7	33	7.6	10.2	6.E+06	1.E+08	3.E+06	3.E+07
Jumlah ESA								3.E+07	5.E+08	2.E+07	2.E+08
CESA								5.46.E+08		2.31.E+08	
CESA4								CESA5			

Sumber : Hasil Perhitungan

Cara perhitungan setiap kolom, seperti penjelasan dibawah ini :

$$(3) = (2) \times (1+0,0483)^5$$

$$(4) = (2) \times (1+0,0483)^6$$

(5), (6), (7), dan (8) dari tabel 2.11

$$(9) = (3) \times (5) \times 365 \times DD \times DL \times R(2021-2025)$$

$$(10) = (4) \times (6) \times 365 \times DD \times DL \times R(2026-2066)$$

$$(11) = (3) \times (7) \times 365 \times DD \times DL \times R(2021-2025)$$

$$(12) = (4) \times (8) \times 365 \times DD \times DL \times R(2026-2066)$$

3. Menentukan Struktur Fondasi

Berdasarkan data yang didapat dari PT Pemalang Batang Tol Road, nilai CBR tanah timbunan biasa yang didapatkan dari test laboratorium berkisar antara 6% - 7%. Didapatkan nilai CBR tanah timbunan rencana pada Pembangunan Jalan Tol Pemalang Batang sebesar minimal 6%. Dalam desain perkerasan kaku untuk jalan dengan beban lalu lintas berat sesuai pada tabel 2.15 maka diberikan lapis fondasi LMC setebal 10 cm.

4. Menentukan daya dukung efektif tanah dasar

Dengan tebal minimum lapis fondasi LMC 10 cm, maka kuat tekan beton minimum pada umur 28 hari adalah sebesar 5 MPa (50 kg/cm²) dan nilai CBR Tanah Dasar Efektif sebesar 40 %

5. Menentukan Struktur Lapis Perkerasan

Berdasarkan tabel 4.13, didapatkan total beban kumulatif selama umur rencana sebesar $5,46 \times 10^8$ (termasuk beban lalu lintas berat) maka hasil tersebut digunakan pada tabel 2.15. Direncanakan Pelat Beton dengan tebal perkerasan 300 mm, menggunakan dowel dan bahu beton, LMC dengan tebal 100mm dan lapis drainase agregat kelas A tebal 150 mm.

6. Perencanaan Tebal Perkerasan

Dalam perencanaan tebal pelat perkerasan kaku, tebal perkiraan yang dipakai adalah tebal minimum yang mempunyai total fatik dan atau total kerusakan erosi kurang dari atau sama dengan 100%.

1) Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas dikelompokkan berdasarkan jumlah sumbu kendaraan niaga sesuai dengan konfigurasi sumbu pada lajur rencana selama umur rencana. Jenis kendaraan yang diperhitungkan adalah jenis kendaran yang mempunyai berat minimal 5 ton. Pengelompokan kendaraan niaga untuk mengetahui berat dari masing-masing jenis kendaraan dapat dilihat pada tabel 4.14.

Tabel 4.14. Data muatan maksimum dan pengelompokan kendaraan niaga

Jenis Kendaraan	Berat Total Maks (ton)	Beban As (ton)	Jenis As
Mobil Penumpang	2	1	STRT
		1	STRT
Bus	9	3.06	STRT
		5.94	STRG
Truk 2 as 3/4	8.3	2.82	STRT
		5.48	STRG
Truk 2 as	18.2	6.19	STRT
		12.01	STRG
Truk 3 as	25	6.25	STRT
		18.75	STdRG
Truk 4 as	26.2	7.56	STRT
		11.76	STRG
		22.68	STdRG
Truk gandeng	31.4	5.02	STRT
		11.304	STRG
		7.536	STRG
		7.536	STRG
Truk 5 as/lebih	50	6.5	STRT
		21.75	STdRG
		21.75	STdRG

Sumber : Dinas Pekerjaan Umum Binamarga

Beban Kumulatif selama umur rencana dapat dilihat pada tabel 4.13. Jumlah sumbu berdasarkan jenis dan beban lalu lintas eksisting pada tahun 2021 dapat dilihat pada tabel 4.15 dibawah ini.

Tabel 4.15. Perhitungan Jumlah Sumbu Berdasarkan Jenis Dan Bebannya

Jenis Kendaraan	Konfigurasi beban sumbu (ton)				Jml. Kend. (bh)	Jml. Sumbu Per Kend (bh)	Jml. Sumbu (bh)	STRT		STRG		STdRG	
	RD	RB	RGD	RGB				BS (ton)	JS (bh)	BS (ton)	JS (bh)	BS (bh)	JS (bh)
1)	2)				3)	4)	5)	6)	7)	8)	9)	10)	11)
Mobil Penumpang	1	1	-	-	18780	-	-	-	-	-	-	-	-
Truk 2as	6	12	-	-	2775	2	5550	6	2775	12	2775	-	-
Truk 3as	6	19	-	-	1163	3	3489	6	1163	-	-	19	1163
Truk 4as	8	12	-	23	255	4	1020	8	255	12	255	23	255
Truk 5as/lebih	7	22	-	22	392	5	1960	7	392	22	392	22	392
Total							12019		4585		3814		3620

Sumber : Hasil Perhitungan

2) Perhitungan Jumlah Reperisi Sumbu

Tabel 4.16. Perhitungan Reperisi Sumbu Rencana

Jenis Sumbu	Beban Sumbu (ton)	Jumlah Sumbu	Proporsi Beban	Proporsi Sumbu	Lalu-Lintas Rencana	Repetisi yang terjadi
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7) = (4) x (5) x (6)
STRT	8	255	0.056	0.381	5.46.E+08	1.16E+07
	7	392	0.09	0.381	5.46.E+08	1.78E+07
	6	3938	0.86	0.381	5.46.E+08	1.79E+08
Total		4585	1.00			
STRG	22	784	0.21	0.317	5.46.E+08	3.56E+07
	12	3030	0.79	0.317	5.46.E+08	1.38E+08
	Total		3814	1.00		
STdRG	23	510	0.14	0.301	5.46.E+08	2.32E+07
	22	784	0.22	0.301	5.46.E+08	3.56E+07
	19	2326	0.64	0.301	5.46.E+08	1.06E+08
Total		3620	1.00			
Total Sumbu Kumulatif						5.46.E+08

Sumber : Hasil Perhitungan

3) Data Teknik Perencanaan

Taksiran Tebal Beton 300mm

- Jenis Perkerasan : Beton Bersambung Tanpa Tulangan (BBTT) dengan ruji
- Jenis Bahu : Beton
- Umur Rencana : 45 tahun
- Beban Lalu Lintas Rencana : 545.973.906
- F. Keamanan Beban : 1,1 (lihat tabel 2.17)
- Kuat Tarik Lentur Beton : 5 MPa
- Jenis Pondasi : LMC (Lean Mix Concrete)
- Tebal Pondasi : 100 mm
- CBR Tanah Timbunan : 6 %
- CBR Efektif : 40 %
- Tebal Taksiran Beton : 300 mm

4) Analisa Fatik dan Erosi (Tebal Taksiran beton = 300 mm)

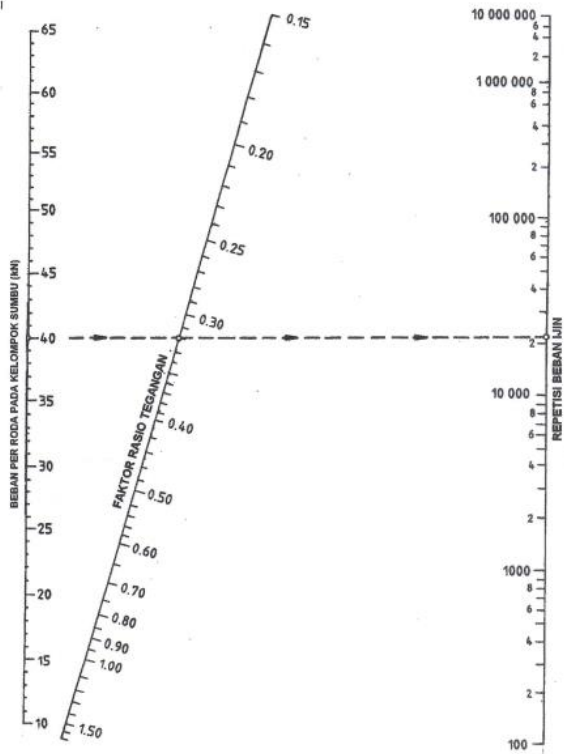
Tabel 4.17. Analisa Fatik dan Erosi

Jenis Sumbu	Beban Sumbu ton (Kn)		Beban Rencana Per Roda (kN)	Repetisi yang terjadi	Faktor Tegangan dan Erosi	Analisa Fatik		Analisa Erosi	
						Repetisi Ijin	Persen Rusak (%)	Repetisi Ijin	Persen Rusak (%)
(1)	(2)		(3)	(4)	(5)	(6)	(7) = (4)*100 / (6)	(8)	(9) = (4)*100 / (8)
STRT	8	80	44.00	1.16E+07	TE = 0.46	TT	0	TT	0
	7	70	38.50	1.78E+07	FRT = 0.09	TT	0	TT	0
	6	60	33.00	1.79E+08	FE = 1.24	TT	0	TT	0
STRG	22	220	60.50	3.56E+07	TE = 0.72	TT	0	TT	0
	12	120	33.00	1.38E+08	FRT = 0.14	TT	0	TT	0
					FE = 1.84				
STdRG	23	230	31.625	2.32E+07	TE = 0.62	TT	0	TT	0
	22	220	30.25	3.56E+07	FRT = 0.12				
	19	190	26.125	1.06E+08	FE = 1.97	TT	0	TT	0
Total							0.00%		0.00%
							0.00 < 100 %		0.00 < 100 %

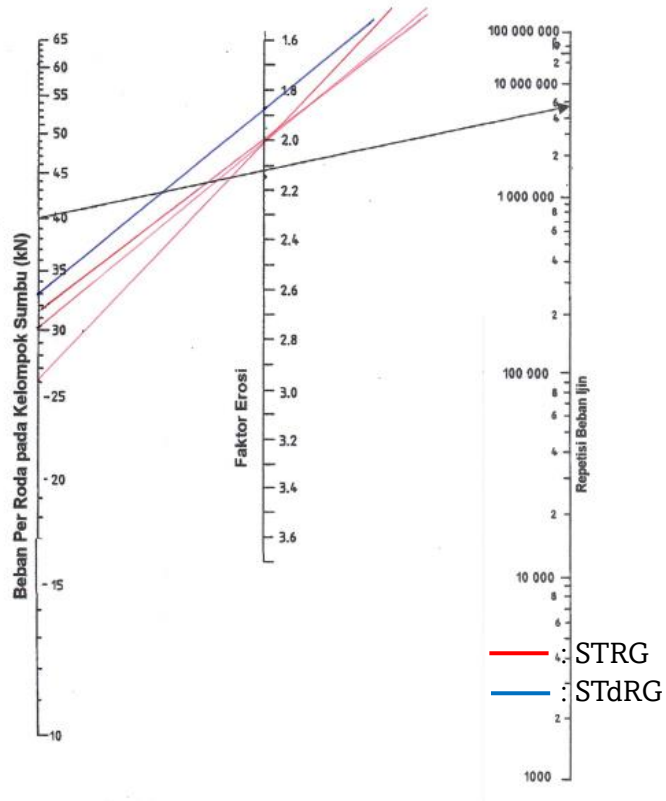
Sumber : Hasil Perhitungan

Tebal Slab	CBR Efektif	Tegangan Setara				Faktor Erosi							
						Tanpa Ruji				Dengan Ruji/Beton Bertulang			
		STRT	STRG	STdRG	STdRG	STRT	STRG	STdRG	STdRG	STRT	STRG	STdRG	STdRG
300	35	0.46	0.73	0.64	0.49	1.49	2.1	2.25	2.3	1.25	1.85	1.99	2.09
300	40	0.46	0.72	0.62	0.48	1.49	2.09	2.23	2.27	1.24	1.84	1.97	2.06
300	50	0.45	0.7	0.6	0.46	1.48	2.08	2.2	2.24	1.23	1.83	1.95	2.03

Tabel 4.18. Tegangan Ekuivalen dan Faktor Erosi untuk Perkerasan dengan Bahu Beton (Tebal Taksiran Beton = 300 mm)



Gambar 4.1. Analisa fatik dan beban repetisi ijin berdasarkan rasio tegangan, dengan/ tanpa bahu beton (Tafsiran Beton 300mm)



Gambar 4.2. Analisis erosi dan jumlah repetisi beban berdasarkan faktor erosi, dengan bahu beton (Tafsiran Beton 300 mm)

5) Kesimpulan Perhitungan Tebal

Berdasarkan perhitungan dengan kombinasi metode MDP Bina Marga 2017 dan Pd-T-14-2003 maka dapat disimpulkan tebal perkerasan yang memenuhi analisa fatik dan erosi adalah 300 mm. Nilai analisa fatik sebesar $0\% < 100\%$ (OK) dan nilai analisa erosi sebesar $0\% < 100\%$ (OK). Berdasarkan analisa tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa pelat mampu menerima beban hingga akhir umur rencana. Berikut penjelasan tentang analisa fatik dan erosi :

- a) Analisa Fatik (kelelahan) merupakan perkerasan beton menerima beban berulang dengan terus menerus dan faktor kuat lentur beton sangat berpengaruh pada analisa fatik atau kelelahan beton menerima beban berulang.
- b) Analisa Erosi merupakan daya dukung tanah dasar untuk menerima lendutan yang ditimbulkan oleh perkerasan beton (pelat). CBR tanah menjadi faktor utama untuk mengetahui ketahanan pondasi untuk menerima beban berulang.

Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku Metode AASHTO 1993

Tabel 4.19. Tabel Perhitungan AASHTO 1993

Jenis Kendaraan	Gol. Kend	LHR Awal	Beban (Ton)	Nilai E	Faktor Distribusi	Faktor Distribusi	W18	LHR Akhir	W18	Wt 18
		Tahun			Arah	Lajur		Umur Rencana		
A		b	c	d	e	f	$g = \frac{b \times d}{x \ 365}$	tahun	$h = e \times f \times g$	$i = h \times ((1+0.048)^{UR-1}) / 0.048$
Mobil Penumpang (Gol 2)	I	18,780	2.00	0.0005	0.50	0.80	3,092	45	1,237	186,720
Truk 2as (Gol 6b)	II	2,775	18.20	0.7345	0.50	0.80	743,993		297,597	44,926,441
Truk 3as (Gol 7a2)	III	1,163	25.00	2.7416	0.50	0.80	1,163,784		465,514	70,275,796
Truk 4as (Gol 7c1)	IV	255	31.40	3.9083	0.50	0.80	363,768		145,507	21,966,325
Truk 5as/lebih (Gol 7c2a)	V	392	50.00	20.4529	0.50	0.80	2,926,404		1,170,561	176,712,675
								Total Lalin ESAL :		314,067,957

Sumber : Hasil Perhitungan

- Kolom a : Jenis Kendaraan
Yaitu penggolongan kendaraan berdasarkan sumbu as
- Kolom b : LHR awal tahun Rencana
Yaitu proyeksi kendaraan sampai awal tahun rencana yaitu pada tahun 2021
- Kolom c : Beban Kendaraan
Besarnya beban kendaraan tergantung dari jenis kendaraan tersebut
- Kolom d : Nilai Ekuivalen (E)
Besarnya angka ekuivalen (E) untuk masing-masing golongan beban gandar sumbu kendaraan ditentukan berdasarkan lampiran. Sedangkan hasil perhitungan angka ekuivalen untuk masing-masing presentase beban setiap jenis kendaraan dapat dilihat di tabel 4.17.
- Kolom e : Faktor Distribusi Arah (DD)
 $DD = 0,3 - 0,7$. Umumnya diambil 0,5
- Kolom f : Faktor Distribusi Lajur (DL)
Diketahui bahwa jalan Tol Pemalang Batang memiliki 2 lajur disetiap arahnya, sehingga berdasarkan tabel 2.9 didapat nilai DL sebesar 80%
- Kolom g : Beban Gandar standar kumulatif untuk 2 arah (W18)
Setelah mendapatkan angka ekuivalen masing-masing kendaraan, maka Langkah selanjutnya adalah mencari Beban Gandar standar kumulatif untuk dapat menghitung lalu lintas lajur rencana per tahun.

$$W18 = LHR \times E \times 365$$
 Contoh perhitungan Mobil penumpang (1.2)

$$W18 = LHR \times E \times 365$$

$$= 18780 \times 0.0005 \times 365$$

$$= 3092$$
- Kolom h : Lalu lintas pada lajur rencana selama setahun (W18)

$$W18 = DD \times DL \times W18$$
 Contoh perhitungan Mobil penumpang (1.2)

$$W18 = DD \times DL \times W18$$

$$= 0,5 \times 0,8 \times 3092$$

$$= 1237$$

Kolom i : Jumlah beban gandar tunggal standar kumulatif (Wt18)

$$Wt = W_{18} + \frac{(1 + g)^n - 1}{g}$$

Contoh perhitungan Mobil penumpang (1.2)

$$Wt = 1237 + \frac{(1 + 0,048)^{45} - 1}{0,048}$$

$$Wt = 186720$$

1. Umur Rencana

Umur rencana perkerasan kaku/ *rigid pavement* untuk peningkatan ruas jalan tol Pemalang – Batang direncanakan 45 tahun.

2. Reability

a) Tingkat *Reability* (R)

Peningkatan ruas tol Pemalang – Batang termasuk klasifikasi jalan bebas hambatan perkotaan dengan nilai reabilitas berkisar antara 85 – 99,9 % diambil nilai R sebesar 99%. (Tabel 2.22)

b) *Standar Normal Deviation* (ZR)

Dengan nilai R sebesar 99% maka didapat nilai *Standar Normal Deviation* (ZR) sebesar – 2,327. (Tabel 2.23)

c) *Standar Deviation* (So)

Parameter nilai standar deviation untuk rigid pavement sebesar 0,3 – 0,4. Nilai deviasi standar keseluruhan (So) yang umum digunakan yaitu 0,35.

3. Menghitung Nilai Ekuivalen (E)

Untuk mencari ketebalan menggunakan metode AASHTO, diperlukan angka ekuivalen untuk setiap beban kendaraan.

Tabel 4.20. Jenis-Jenis Kendaraan

Jenis Kendaraan	Gol. Kendaraan	Berat Total (Ton)
Mobil Penumpang (Gol 2)	I	2
Truk 2as (Gol 6b)	II	18.2
Truk 3as (Gol 7a2)	III	25
Truk 4as (Gol 7c1)	IV	31.4
Truk 5as/lebih (Gol 7c2a)	V	50

Sumber : Hasil Perhitungan

Angka ekivalen (E) masing – masing golongan beban gandar sumbu setiap kendaraan ditentukan menggunakan tabel 4.14. Untuk presentase beban setiap jenis kendaraan menggunakan peraturan Bina Marga. Angka ekivalen (E) dapat ditentukan dengan menggunakan rumus :

$$\text{Sumbu tunggal} = \frac{(\text{Beban satu sumbu tunggal dalam kg})^4}{8160}$$

$$\text{Sumbu ganda} = 0,086 \times \frac{(\text{Beban satu sumbu tunggal dalam kg})^4}{8160}$$

Tabel 4.21. Rekapitulasi Nilai Ekuivalensi

Jenis Kendaraan	Konfigurasi sumbu	Berat Total (Ton)	Presentase Distribusi Beban				Besar Distribusi Beban (Ton)				Nilai E				Total Nilai E
			Letak titik sumbu				Letak titik sumbu				Letak titik sumbu				
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Mobil Penumpang (Gol 2)	1.1	2	50%	50%	-	-	1	1	-	-	0.0002	0.0002	-	-	0.0005
Truk 2as (Gol 6b)	1.2H	18.2	34%	66%	-	-	6.19	12.01	-	-	0.331	0.404	-	-	0.7345
Truk 3as (Gol 7a2)	1.22	25	25%	75%	-	-	6.25	18.75	-	-	0.344	2.397	-	-	2.7416
Truk 4as (Gol 7c1)	1.2+2.2	31.4	18%	28%	27%	27%	5.65	8.79	8.48	8.48	0.230	1.348	1.165	1.165	3.908
Truk 5as/lebih (Gol 7c2a)	1.2.2+2.2	50	18%	28%	54%		9	14	27		1.480	8.665	10.308		20.453

Sumber : Hasil Perhitungan

4. *Serviceability*

- a) Tingkat pelayanan awal/ *Initial Serviceability* (P_o).
AASHTO *Road Test* merekomendasikan nilai tingkat pelayanan awal (P_o) untuk perkerasan kaku sebesar 4,5.
- b) Tingkat pelayanan akhir/ *Terminal Serviceability* (P_t).
Terminal Serviceability Index untuk jalan bebas hambatan sebagai jalan raya utama sebesar 2,5.
- c) Total *loss of serviability* (Δ PSI)
Total *loss of serviability* (Δ PSI) dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :
- $$\begin{aligned}\Delta\text{PSI} &= P_o - P_t \\ &= 4,5 - 2,5 \\ &= 2\end{aligned}$$

5. **Modulus Reaksi Tanah Dasar**

Dengan nilai CBR sebesar 6% maka nilai k dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{MR} &= 1500 \times \text{CBR} \\ &= 1500 \times 6 \\ &= 9000 \\ k &= \frac{\text{MR}}{19,4} = \frac{9000}{19,4} = 463,9 \text{ psi/in}\end{aligned}$$

6. **Modulus Elastisitas Beton**

Untuk pembangunan Jalan tol, di Indonesia saat ini umumnya digunakan mutu beton kelas P dimana kuat tekan beton (f_c') sebesar $450 \text{ kg/cm}^2 = 6399 \text{ psi}$ ($1 \text{ kg/cm}^2 = 14,22 \text{ psi}$), maka dapat dihitung nilai E_c menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned}E_c &= 57000 \times \sqrt{f_c'} \\ &= 57000 \times \sqrt{6399} \\ &= 4.559.643,74 \text{ psi}\end{aligned}$$

7. **Flexural Strength (Sc')**

Flexural strength di Indonesia umumnya digunakan $Sc' = 450 \text{ kg/cm}^2 = 640 \text{ psi}$ (untuk pelat beton).

8. Load Transfer Coefficient (J)

Nilai parameter *load transfer coefficient*/ koefisien penyalur beban (J) untuk perkerasan kaku dengan dowel sesuai dengan tabel 2.26 sebesar 2,5 – 3,1. Maka diambil nilai J sebesar 2,5.

9. Drainage Coefficient (Cd)

Besarnya *drainage coefficient* dinilai dari kualitas drainase tersebut serta faktor kemiringan dari kondisi drainase. Pada rencana peningkatan ruas jalan tol Pemalang – Batang ini kondisi sistem drainase baik dan direncanakan kemiringan dari kondisi drainase sebesar 1% - 5%. Maka diambil nilai *drainage coefficient* sebesar 2%.

10. Perhitungan Tebal Pelat Beton

Tabel 4.22. Rekapitulasi Parameter Desain

No.	Parameter	Satuan	Angka
1.	Umur Rencana	tahun	45
2.	Lalu-lintas, ESAL	-	314067957.5
3.	Terminal serviceability (pt)	-	2.5
4.	Initial serviceability (po)	-	4.5
5.	Serviceability loss :	-	2
6.	Reliability (R)	%	99.0%
7.	Standard normal deviation (Z _R)	-	-2.327
8.	Standard Deviation (So)	-	0.35
9.	CBR	%	6.00%
10.	Modulus reaksi tanah dasar (k)	pci	463.90
11.	Kuat Tekan (fc')	kg/cm ²	450
12.	Modulus elastisitas beton (Ec)	psi	4559643.736
13.	Flexural strength (S'c)	psi	640
14.	Drainage coefficient (Cd)	-	2
15.	Load transfer coefficient (J)	-	2.5

Sumber : Hasil Perhitungan

$$\log_{10} W_{18} = Z_R \times S_o + 7,35 \log_{10}(D+1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,5-1,5} \right]}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(D+1)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32p_t) \times \log_{10} \frac{S_c C_d \times [D^{0,75} - 1,132]}{215,63 \times J \times [D^{0,75} - \frac{18,42}{(E_c/k)^{0,25}}]}$$

Tabel 4.23. Rekapitulasi perencanaan pelat beton metode AASHTO 1993

Tebal Pelat Beton (cm)	Tebal Pelat Beton (inch)	Beban Gandar Kumulatif	Beban Gandar Ijin	Cek Keamanan
28	11.024	8.497	8.409	Not Ok
29	11.417	8.497	8.503	Ok
30	11.811	8.497	8.595	Ok

Sumber : Hasil Perhitungan

Perbandingan Perencanaan Perkerasan Kaku antara Metode MDP Bina Marga 2017 dan AASHTO 1993

Perencanaan perkerasan kaku memiliki beberapa cara perhitungan untuk menentukan plat beton yang akan digunakan. Pada proyek akhir ini, dilakukan analisa perencanaan perkerasan kaku menggunakan metode MDP Bina Marga 2017 dan ASSHTO 1993. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan oleh penulis, berikut analisa perbedaan dari kedua metode tersebut :

Tabel 4.24. Perbandingan Perencanaan Perkerasan Kaku Metode MDP Bina Marga 2017 dan ASSHTO 1993

Metode MDP Bina Marga 2017	Metode AASHTO 1993
Berdasarkan data yang dibutuhkan	
<ol style="list-style-type: none"> 1. CBR efektif tanah digunakan dalam perencanaan 2. Kuat Tarik Lentur Beton 	<ol style="list-style-type: none"> 1. CBR tanah digunakan dalam perencanaan 2. Modulus Elastisitas Beton
Berdasarkan hitungan lalu lintas rencana	
<ol style="list-style-type: none"> 1. $ESA_{TH-1} = (\sum LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R$ 2. Berdasarkan rumus empiris diatas, nilai ekivalen didapat berdasarkan data yang sudah tersedia pada MDP Bina Marga sesuai dengan jenis kendaraannya 	<ol style="list-style-type: none"> 1. $W_{18} = \sum_{N1}^N LHR_j \times VDF_j \times D_D \times D_L \times 365$ 2. Berdasarkan rumus empiris diatas, nilai ekivalen didapat dari hasil perhitungan

Metode MDP Bina Marga 2017	Metode AASHTO 1993
Berdasarkan Spesifikasi Jenis Kendaraan	
Metode ini memiliki spesifikasi jenis kendaraan saat perhitungan tebal perkerasan yaitu STRT, STRG, STdRG dan dilakukan analisa setiap jenis kendaraan tersebut.	Metode ini tidak memperhatikan jenis kendaraan saat perhitungan tebal perkerasan, akan tetapi memiliki satu nilai sebagai nilai kumulatif dari jenis kendaraan tersebut. Nilai tersebut ialah ESAL
Berdasarkan Parameter Desain Tebal Perkerasan	
Metode ini menggunakan CBR Tanah efektif sebagai parameter desain untuk tebal perkerasan	Metode ini mempunyai beberapa parameter desain untuk menghitung tebal perkerasan yaitu <i>Reability</i> dan <i>Serviceability</i>
Berdasarkan Tingkat Kepercayaan Perencanaan	
Menggunakan F_{KB} (Faktor Keamanan Beban)	Menggunakan tingkat Reabilitas (%)
Berdasarkan Analisa Penerimaan Desain	
Dalam analisa penerimaan desain pada metode ini memiliki 2 analisa yaitu : 1. Analisa Fatik Analisa Fatik adalah analisa kekuatan/ kelenturan pelat beton dalam menerima beban repetisi dari kendaraan dari awal tahun rencana hingga akhir umur rancangan. 2. Analisa Erosi Analisa Erosi adalah proses analisa ausan/ <i>durability</i> dari pelat beton dalam menerima beban repetisi dari awal tahun rencana hingga akhir umur rencana	Dalam analisa penerimaan desain pada metode ini yaitu Log W18 (Total lalin ESAL) \leq Hasil perhitungan
Berdasarkan Faktor Kondisi Drainase	
Tidak diperhitungkan	Diperhitungkan, disimbolkan dengan C_d (<i>Coefficient Drainage</i>)

Metode MDP Bina Marga 2017	Metode AASHTO 1993
Berdasarkan CBR Tanah untuk Perhitungan Tebal Perkerasan	
CBR Tanah sebagai indicator menentukan nilai tegangan ekuivalensi dan faktor erosi	Nilai CBR Tanah digunakan sebagai indicator menentukan nilai K (Modulus reaksi tanah dasar)

Perencanaan Sambungan Perkerasan

Setelah dimensi pelat beton didapatkan, sambungan perkerasan beton bersambung tanpa tulangan dapat dihitung. Berikut detail dimensi pelat beton tersebut :

- 1) Jenis Perkerasan : Beton Bersambung Tanpa Tulangan
- 2) Tebal Pelat : 30 cm
- 3) Lebar Pelat : 3,6 m
- 4) Panjang Pleat : 5 m

1. Sambungan Melintang

Sambungan melintang beton bersambung tanpa tulangan (BBTT) dipasang setiap 5 meter menggunakan ruji/ dowel. Dimensi/ ukuran ruji didapat dari Tabel 2.19 untuk tebal pelat 300 mm didapatkan ukuran dan jarak ruji sebagai berikut :

- 1) Diameter Dowel (Ruji) : 36 mm (Polos)
- 2) Panjang Dowel : 450 mm
- 3) Jarak Dowel : 30 mm

2. Sambungan Memanjang menggunakan Batang Pengikat (Tie Bar)

Pemasangan sambungan ini bertujuan untuk mengendalikan terjadinya retak memanjang sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 A_t &= 204 \times b \times h \\
 &= 204 \times 5 \text{ m} \times 0,3 \\
 &= 306 \text{ mm}^2/\text{m}
 \end{aligned}$$

Dicoba diameter Tie Bar dengan :

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter Tie Bar} &= 18 \text{ mm} \\
 \text{Jarak Tie Bar} &= 750 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$A = \frac{\frac{1}{4} x \pi x d^2 x 1000}{\text{jarak tulangan}}$$

$$A = \frac{\frac{1}{4} x 3,14 x 18^2 x 1000}{750}$$

$$A = 339,12 \text{ mm}^2 > A_t = 306 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan diameter tie bars minimum D18 dengan jarak 75 cm.

$$I = (38,3 x \emptyset) + 75$$

$$= (38,3 x 18) + 75$$

$$= 764,4 \text{ mm} = 76,44 \text{ cm} \sim 80 \text{ cm}$$

Kesimpulan dari sambungan pelaksanaan memanjang. Dipasang tulangan baja ulir D-18 mm dengan Panjang 80 cm dan jarak 75 cm.

Perencanaan Saluran Tepi (*Drainase*)

Perencanaan saluran tepi di Ruas Tol Pemalang – Batang didasarkan oada data curah hujan 10 tahun mulai dari tahun 2012-2021 pada data BPS Kabupaten Pekalongan. Dari tabel 4.5. Data Curah Huja maka akan didapat nilai S_x (Standar Deviasi) sesuai persamaan 2.20. Besar curah hujan untuk periode ulang T sesuai persamaan dengan hasil dibawah ini.

$$S_x = \sqrt{\frac{228746,18}{10 - 1}} = 159,42$$

Periode ulang T tahun untuk saluran tepi direncanakan 50 tahun dengan jumlah data curah hujan sebanyak 10 tahun (10 data) maka di dapat :

$$Y_T = 3,9019 \text{ (didapat dari Tabel 2.28)}$$

$$Y_n = 0,4952 \text{ (didapat dari Tabel 2.29)}$$

$$S_n = 0,9496 \text{ (didapat dari Tabel 2.30)}$$

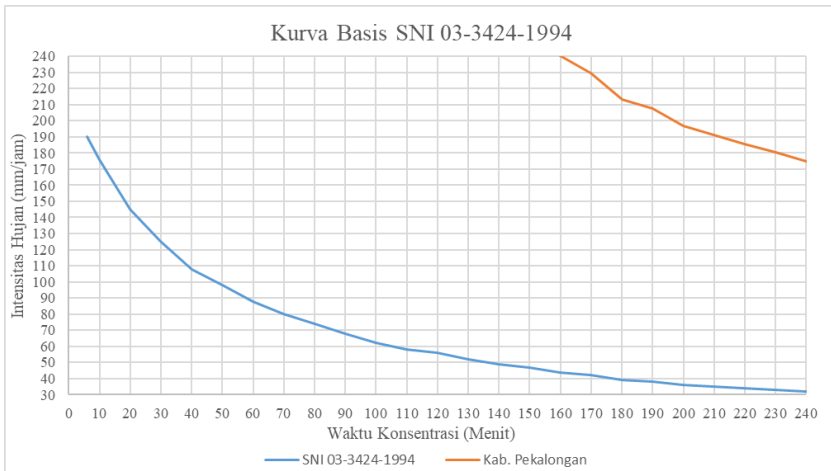
$$X_t = x + \frac{S_x}{S_n} (Y_t - Y_n)$$

$$= 105,2 + \frac{159,42}{0,9496} (3,9019 - 0,4952)$$

$$= 777,14 \text{ mm}$$

$$I = \frac{90\% \times X_t}{4} = \frac{90\% \times 777,14}{4} = 174,857$$

Nilai $I = 174,857$ mm/jam diplotkan pada waktu intensitas $t = 240$ menit di kura basis dan Tarik lengkung searah dengan garis lengkung kurva vasis, seperti pada gambar 4.3 dibawah ini.



Gambar 4.3. Kurva Basis SNI 03-3424-1994

Penentuan arah aliran ditentukan sesuai dengan kelandaian jalan yang ada serta titik pembuangan air. Data perencanaan sebagai berikut :

Tabel 4.25. Data Perencanaan Saluran Tepi

No.	Bagian	Kode	Keterangan	nd	s	C	V ijin (m/s)	Koef. Manning (n)
1	Bahu dalam	1	Beton	0.013	0.02	0.7	1.5	0.020
2	Badan jalan	2	Beton	0.013	0.02	0.7	1.5	0.020
3	Bahu Luar	3	Beton	0.013	0.02	0.7	1.5	0.020
4	Timbunan	4	Tanah kasar berumput	0.2	0.05	0.2	1.1	0.020

Sumber : Hasil Perhitungan

Di bawah ini contoh perhitungan Saluran Tepi Pada STA 363+450 – 364+400

1. Menentukan Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi merupakan waktu paling lama yang dibutuhkan air untuk mencapai saluran drainase (inlet time) dari titik terjauh yang terletak didaerah pengaliran.

a) Daerah Pengaliran

Daerah pengaliran adalah daerah yang dialiri oleh air sebelum masuk ke saluran drainase

L1 = 10.8 m (perkerasan jalan utama)

L2 = 4.5 m (perkerasan bahu dalam dan bahu luar)

L3 = 9 m (Timbunan kasar berumput)

b) Hubungan kondisi permukaan dengan kondisi hambatan (nd)

Berdasarkan Tabel 2.31, maka dapat ditentukan nilai nd sebagai berikut :

nd badan jalan = 0,013 (beton)

nd timbunan = 0,2 (tanah)

c) Kemiringan daerah pengaliran (s)

Badan jalan = 2%

Timbunan = 5%

d) Kecepatan aliran yang diijinkan

Berdasarkan jenis materialnya yaitu lempung padat, maka dapat dilihat pada Tabel 2.32 kecepatan yang diijinkan adalah 1,1 m/detik.

e) Tahapan perhitungan tc adalah sebagai berikut :

Penentuan inlet time (t_1)

$$\begin{aligned} t_{\text{jalan}} &= \left(\frac{2}{3} \times 3,28 \times L_o \times \frac{N_d}{\sqrt{s}} \right)^{0,167} \\ &= \left(\frac{2}{3} \times 3,28 \times 10,8 \times \frac{0,013}{\sqrt{0,02}} \right)^{0,167} = 1,14 \text{ menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{\text{bahu}} &= \left(\frac{2}{3} \times 3,28 \times L_o \times \frac{N_d}{\sqrt{s}} \right)^{0,167} \\ &= \left(\frac{2}{3} \times 3,28 \times 4,5 \times \frac{0,013}{\sqrt{0,02}} \right)^{0,167} = 0,98 \text{ menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t \text{ timbunan} &= \left(\frac{2}{3} \times 3,28 \times L_o \times \frac{N_d}{\sqrt{S}} \right)^{0,167} \\
 &= \left(\frac{2}{3} \times 3,28 \times 9 \times \frac{0,2}{\sqrt{0,05}} \right)^{0,167} = 1,61 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_1 &= t \text{ jalan utama} + t \text{ bahu dalam \& bahu luar} + t \text{ timbunan} \\
 &= 1,14 + 0,98 + 1,61 \\
 &= 3,74 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

f) Penentuan flow time (t_2)

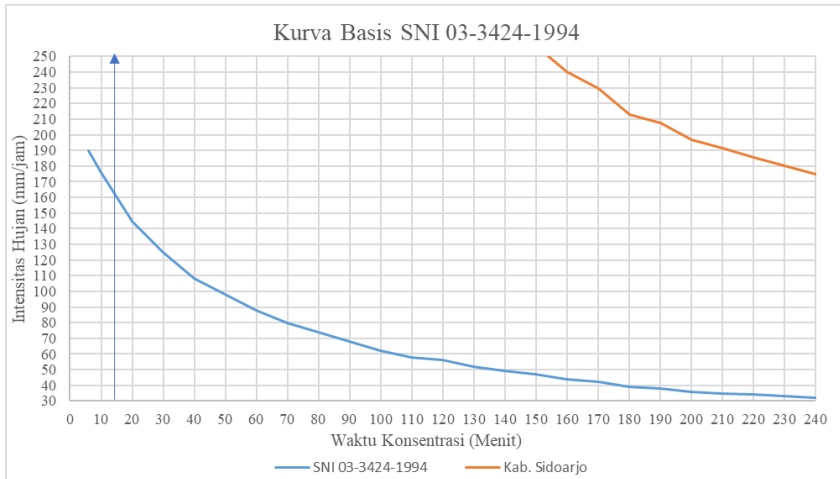
$$t_2 = \frac{L}{60V} = \frac{950}{60 \times 1,5} = 10,56$$

g) Waktu Konsentrasi

$$\begin{aligned}
 t_c &= t_1 + t_2 \\
 &= 3,74 + 10,56 \\
 &= 14,3
 \end{aligned}$$

2. Menentukan Intensitas Hujan (I)

Dari hasil t_c dalam satuan menit yang diplotkan pada kurva basis maka didapatkan nilai I rencana sebesar 841 mm/jam seperti pada gambar 4.4 dibawah ini.



Gambar 4.4. Kurva Basis SNI 03-3424-1994

3. Menentukan luas daerah pengaliran (A)

$$\begin{aligned}A1 \text{ (Jalan Utama)} &= 10,8 \times 950 = 10260 \text{ m}^2 \\A2 \text{ (Bahu Jalan)} &= 4,5 \times 950 = 4275 \text{ m}^2 \\A3 \text{ (Timbunan)} &= 9 \times 950 = 8550 \text{ m}^2 \\ \text{Total A} &= 10260 + 4275 + 8550 \\ &= 23085 \text{ m}^2\end{aligned}$$

4. Menentukan Koefisien Pengaliran (C)

Berdasarkan Tabel 2.33 hubungan antara kondisi permukaan tanah dan koefisien pengaliran, maka didapat :

$$\begin{aligned}C1 \text{ (Jalan Beton)} &= 0,7 \\C2 \text{ (Jalan Beton)} &= 0,7 \\C3 \text{ (Tanah Berumput)} &= 0,2\end{aligned}$$

$$C_{gabungan} = \frac{(10260 \times 0,7) + (4275 \times 0,7) + (8550 \times 0,2)}{10260 + 4275 + 8550} = 0,51$$

5. Menentukan Debit Air (Q)

$$\begin{aligned}A_{\text{total}} &= 23085 \text{ m}^2 = 0,023085 \text{ km}^2 \\I &= 841 \text{ mm/jam} \\C &= 0,51 \\Q &= \frac{1}{3,6} \times C \times I \times A \\ &= \frac{1}{3,6} \times 0,51 \times 841 \times 0,023085 \\ &= 2,78 \text{ m}^3/\text{detik}\end{aligned}$$

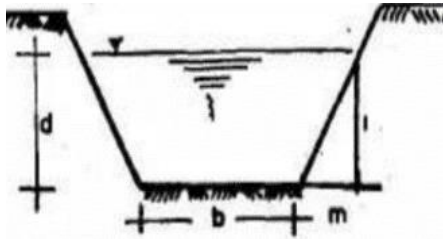
6. Menentukan Dimensi Saluran

Perencanaan dimensi saluran tepi dimulai dengan penentuan bahan yang digunakan sebagai saluran. Saluran direncanakan dengan menggunakan tanah asli yang dibentuk menggunakan excavator dengan ketentuan sebagai berikut :

- Kecepatan aliran yang diijinkan = 1,1 m/detik
- Bentuk penampang = trapesium
- Debit (Q) = 2,78 m³/detik
- Kemiringan talud = 1 : 1,5 ; m = 0,667
- Angka manning = 0,023

Luas Penampang Basah

$$F_d = \frac{Q}{v} = \frac{2,78}{1,1} = 2,52 \text{ m}^2$$



$$\begin{aligned} F_e = F_d &= 2,52 \text{ m}^2 \\ b d + m d^2 &= 2,52 \text{ m}^2 \\ m d^2 &= 0,96 \text{ m}^2 \\ b d &= 1,56 \text{ m}^2 \\ b &= 1,302 \text{ m} \\ d &= 1,200 \text{ m} \end{aligned}$$

digunakan dimensi,

$$\begin{aligned} b &= 1,4 \text{ m} \\ d &= 1,2 \text{ m} \end{aligned}$$

Luas penampang eksisting > Luas penampang basah

$$\begin{aligned} (b d + m d^2) &> 2,52 \text{ m}^2 \\ (1,4 \times 1,2 + 0,67 \times 1,2^2) &> 2,52 \text{ m}^2 \\ 2,64 &> 2,52 \text{ m}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

7. Menentukan Kemiringan Saluran (i)

Untuk mengetahui arah aliran air pada saluran maka harus ditentukan kemiringan saluran. Kemiringan saluran ditentukan oleh prosentase dari perbandingan antara tinggi elevasi dengan panjang saluran.

a) Kemiringan Lapangan menggunakan perbedaan elevasi

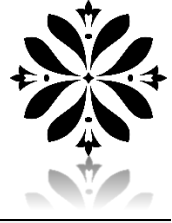
$$\begin{aligned} t_1 &= 20,465 \\ t_2 &= 16,962 \\ i &= \frac{t_1 - t_2}{L} = \frac{20,465 - 16,962}{950} = 0,37 \% \end{aligned}$$

b) Kemiringan Saluran rencana

Kemiringan Saluran direncanakan sesuai perhitungan berikut :

$$i = \left\{ \frac{V \times n}{R^{\frac{2}{3}}} \right\}^2 = \left\{ \frac{1,1 \times 0,023}{0,588^{\frac{2}{3}}} \right\}^2 = 0,13 \%$$

Jadi direncanakan kemiringan saluran sebesar 0,13%



BAB 9

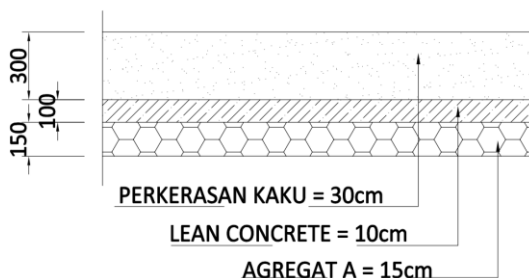
Penutup

Pembangunan di sektor jalan tol adalah krusial untuk pembangunan wilayah dan peningkatan pertumbuhan ekonomi masyarakat di era seperti saat ini. Sehubungan dengan hal tersebut, buku ini telah memaparkan dan menjelaskan perihal bagaimana meningkatkan kapasitas jalan tol, sehingga didapat waktu efektif untuk melakukan peningkatan kapasitas jalan.

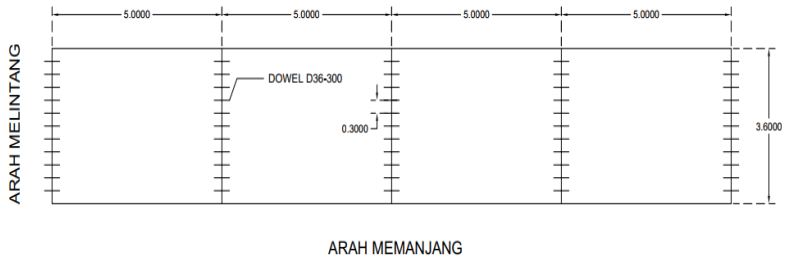
Dari serangkaian pembahasan dalam bab-bab sebelumnya, serta hasil analisa dan perhitungan dalam perencanaan peningkatan kapasitas jalan ruas jalan tol Pemalang – Batang, maka dapat ditarik poin-poin kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Dari hasil analisa perhitungan Derajat Kejenuhan (DS) kondisi eksisting, didapatkan nilai DS sebagai berikut :
 - a) Pada Segmen I tahun 2042 nilai DS $0,78 > 0,75$ yang artinya melebihi batas syarat yaitu DS $< 0,75$. Maka pada tahun 2042 diperlukan adanya pelebaran jalan pada Segmen I.
 - b) Pada Segmen II, III, dan IV tahun 2038 nilai DS $0,77 > 0,75$, yang artinya melebihi batas syarat yaitu DS $< 0,75$. Maka pada tahun 2038 diperlukan adanya pelebaran jalan pada Segmen II, III, dan IV.
- 2) Dari hasil perhitungan, dengan penambahan lajur dari sebelumnya 2 jalur dengan 4 lajur dan 2 arah menjadi 2 jalur dengan 6 lajur dan 2 arah dengan lebar lajur tambahan 3,6 m. Didapatkan nilai kapasitas pelebaran jalan sebesar 13.965 smp/jam. Dari nilai tersebut dilakukan analisa Derajat Kejenuhan (DS) dan didapatkan hasil sebagai berikut :

- a) Pada Segmen I tahun 2042 – 2051 berada dibawah DS ijin < 7,5. Akan tetapi pada tahun 2052 – 2066 nilai DS berada diatas DS ijin sehingga, sampai dengan masa akhir konsesi (Tahun 2066) dimungkinkan untuk melakukan pelebaran jalan lebih dari 1 kali atau pelebaran dilakukan lebih dari 1 lajur.
 - b) Pada Segmen II, III, dan IV tahun 2038 – 2047 berada dibawah DS ijin < 7,5. Akan tetapi pada tahun 2048 – 2066 nilai DS berada diatas DS ijin sehingga, sampai dengan masa akhir konsesi (Tahun 2066) dimungkinkan untuk melakukan pelebaran jalan lebih dari 1 kali atau pelebaran dilakukan lebih dari 1 lajur.
- 3) Dari hasil perhitungan tebal perkerasan menggunakan metode MDP Bina Marga 2017 dan AASHTO 1993 didapatkan data perencanaan sebagai berikut :
- a) Direncanakan Jalan Tol Pemalang – Batang menggunakan Beton Bertulang Tanpa Tulangan.
 - b) Lapis Drainase menggunakan material agregat *drainage layer* dengan tebal 15 cm.
 - c) Lapis Pondasi menggunakan Lean Mix Concrete dengan tebal 10 cm.
 - d) Perhitungan tebal pelat dengan metode MDP Bina Marga 2017 diperoleh ketebalan 30 cm dengan prosentase analisa fatik sebesar 0 % dan prosentase analisa erosi sebesar 0%. Sedangkan perhitungan tebal pelat dengan metode AASHTO 1993 diperoleh ketebalan 29 – 30 cm. Sehingga digunakan tebal perkerasan metode MDP Bina Marga sebesar 30 cm.
 - e) Perkerasan Kaku menggunakan dowel (ruji) dengan diameter 36 mm, panjang 450 mm dan jarak antar dowel 300 mm.

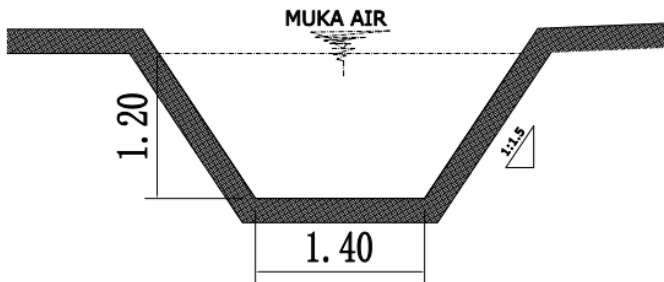


Gambar 5.1 Sketsa Tebal Perkerasan Rencana



Gambar 5.2 Denah sambungan rencana jalan per segmen

- 4) Dari hasil perhitungan dimensi saluran tepi (drainase) menggunakan pedoman SNI 03-3424-1994, saluran direncanakan dengan menggunakan tanah asli yang dibentuk menggunakan excavator dengan bentuk trapesium



Gambar 5.3 Gambar Penampang Saluran

Berangkat dari poin-poin kesimpulan yang telah penulis rinci, terdapat rekomendasi yang dapat menjadi catatan untuk pengembangan selanjutnya, sebagai berikut:

Pertama, lalu lintas kendaraan sesuai jenis kendaraan yang digunakan dalam proyek tugas akhir ini menggunakan data sekunder yang didapat dari perusahaan PT. Pemalang Batang Tol Road dimana data lalu lintas harian yang penulis dapat sudah berupa lalu lintas harian berdasarkan golongan kendaraan. Sehingga diperlukan kecermatan dalam mengklasifikasikan jenis kendaraan niaga berdasarkan jenis kendaraan dan muatannya agar didapat hasil perhitungan yang sesuai.

Kedua, perencanaan menggunakan metode MDP Bina Marga 2017 yang mengacu pada pedoman PD-T-14-2003 menggunakan bantuan nomogram sehingga untuk pengerjaan membutuhkan ketelitian.

Ketiga, perencanaan tebal perkerasan dan lebar lajur pada perencanaan tugas akhir ini hanya sampai tahun 2051 untuk Segmen I dan tahun 2047 untuk Segmen II, III, dan IV. Maka setelah lewat tahun tersebut, perlu diadakan evaluasi ulang mengenai penambahan lajur dan tebal perkerasan yang digunakan.

Keempat, perlu dilakukan pula evaluasi pelebaran saluran tepi setelah umur rencana berakhir, menggunakan data curah hujan yang terbaru.

DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga. 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*. Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga. 2017. *Manual Desain Perkerasan Jalan*. Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga. 2003. *Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen PD T-14-2003*. Jakarta.
- AASHTO. American Association of State Highway and Transportation Officials. 1993. *Guide for Design of Pavement Structures*.
- Presiden Republik Indonesia. 2004. *Undang – Undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 Tentang Jalan*. Jakarta.
- Presiden Republik Indonesia. 2022. *Undang – Undang Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2022 Tentang Perubahan Kedua Atas Undang – Undang Nomor 38 Tahun 2004 Tentang Jalan*. Jakarta.
- Sukirman, Silvia. 2010. *Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Lentur*. Cetakan Pertama. Nova. Bandung.
- PT Hirfi Studio. 2021. *Laporan Akhir Studi Proyeksi Lalu Lintas Jalan Tol Pemalang – Batang*. Hirfi Studio Civil Engineering. Jakarta.
- Santosa, M. Farhan Dani. 2021. *Tugas Akhir Terapan Perencanaan Peningkatan Kualitas Ruas Jalan JL. Raya Damarsari – JL.IR. Juanda Kabupaten Sidoarjo Menggunakan Perkerasan Kaku dengan Metode MDP Bina Marga 2017*. Surabaya.
- SNI 03-3424-1994, *Tata Cara Perencanaan Drainase Permukaan Jalan*, Jakarta.

INDEKS

A

AASHTO 1993, 1, 3, 4, 3, 43,
44, 93, 100, 112
Arteri, 10, 11, 21, 46

B

Batang, 1, 2, 3, 4, 5, 37, 65,
66, 67, 73, 75, 77, 80, 82,
85, 94, 95, 99, 102, 103,
111, 112, 113, 115

D

Degree of Saturation, 3, 16, 82
Drainase, 3, 4, 7, 30, 50, 53,
58, 61, 62, 101, 103, 112,
115

G

Geometrik, 11

J

Jalan Tol, 1, 2, 3, 4, 5, 9, 65,
66, 67, 85, 112, 115

K

Kapasitas Jalan, 3, 4, 7, 13,
20, 77, 115
Klasifikasi Jalan, 9, 10, 11, 46
Kolektor, 10, 11, 46

L

Lalu Lintas, 15, 16, 20, 21, 22,
30, 31, 65, 66, 67, 68, 69,
71, 73, 75, 77, 78, 82, 85,
88, 115
LHRT, 13, 16, 20, 32, 66, 78
Lokal, 10, 46

M

MDP Bina Marga 2017, 3, 19,
82, 91, 100, 112, 114, 115
MKJI, 3, 11, 14, 15, 16, 17,
20, 21

P

Pemalang, 1, 2, 3, 4, 5, 65, 66,
67, 69, 71, 77, 80, 82, 85,
94, 95, 99, 103, 111, 112,
113, 115
Perencanaan Tebal, 19, 33,
82, 85, 93, 115
Perkerasan Kaku, 3, 19, 20,
27, 30, 31, 32, 36, 43, 82,
93, 100, 112, 115

R

Rigid Pavement, 3

S

Struktur Jalan, 77

PROFIL PENULIS



Ir. Kemmala Dewi, MT. Lahir di Semarang, 29 Juni 1963. Lulus \$2 di Program Pasca Sarjana Prodi Teknik Sipil Universitas Diponegoro tahun 2003. Saat ini sebagai dosen di Universitas 17 Agustus 1945 Semarang pada Program Studi Teknik Sipil.