

**STUDI KOMPARATIF PERENCANAAN TEBAL PERKERASAN BETON SEMEN  
(RIGID PAVEMENT) BERDASARKAN MDPJ 2017 DAN AASHTO 1993 (Studi  
Kasus : Jl. Pantura Ujung Tol Kaligawe-Traffic Light Terboyo  
STA 3+400 s/d 4+600))**

**Sasmito Sari<sup>1</sup>, Soehartono<sup>2</sup>, Sri Subekti<sup>3</sup>**

<sup>2,3</sup> Dosen Teknik Sipil, Universitas Pandanaran,

<sup>1</sup> Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pandanaran Semarang

Email : [tunggalbayu99@gmail.com](mailto:tunggalbayu99@gmail.com), [soehartono.sipilunpand@gmail.com](mailto:soehartono.sipilunpand@gmail.com),  
[bekti@unpand.ac.id](mailto:bekti@unpand.ac.id)

**Abstrak**

Ruas jalan Pantura Kaligawe – Terboyo merupakan jalur logistik strategis dengan volume kendaraan berat yang sangat tinggi dan tantangan lingkungan berupa banjir rob serta penurunan muka tanah. Kondisi tersebut memerlukan konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*) yang optimal secara struktural dan efisien secara ekonomi. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan tebal perkerasan pelat beton menggunakan dua metode standar, yaitu Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2017 yang berbasis mekanistik-empiris dan AASHTO 1993 yang berbasis empiris. Data primer dan sekunder yang mencakup Lintas Harian Rata-rata (LHR), nilai *California Bearing Ratio* (CBR) tanah dasar, dan pertumbuhan lalu lintas dianalisis untuk mendapatkan parameter desain. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa metode MDPJ 2017 menghasilkan tebal pelat beton sebesar 31 cm, sedangkan metode AASHTO 1993 menghasilkan ketebalan 35 cm. Selisih ketebalan 4 cm tersebut disebabkan oleh perbedaan filosofi dalam penentuan faktor beban dan parameter reliabilitas. Secara teknis, MDPJ 2017 memberikan desain yang lebih efisien bagi kondisi jalan nasional di Indonesia karena telah mempertimbangkan spektrum beban aktual. Hasil penelitian ini merekomendasikan penggunaan MDPJ 2017 untuk optimasi biaya konstruksi tanpa mengabaikan aspek keamanan struktur pada ruas jalan dengan beban lalu lintas berat.

**Kata Kunci** : Perkerasan Kaku, MDPJ 2017, AASHTO 1993

**Abstract**

*The Kaligawe–Terboyo section of the Pantura (North Coast) road serves as a strategic logistics route characterized by high heavy-vehicle traffic volumes and environmental challenges, specifically tidal flooding and land subsidence. These conditions necessitate a rigid pavement design that is both structurally optimal and economically efficient. This study aims to compare concrete slab pavement thicknesses determined by two standard methods: the mechanistic-empirical \*Manual Desain Perkerasan Jalan\* (MDPJ) 2017 and the empirical AASHTO 1993. Primary and secondary data—including Average Daily Traffic (ADT), subgrade California Bearing Ratio (CBR) values, and traffic growth rates—were analyzed to derive design parameters. The calculations indicate that the MDPJ*

*2017 method yields a concrete slab thickness of 31 cm, whereas the AASHTO 1993 method results in a thickness of 35 cm. This 4 cm difference stems from differing philosophies regarding the determination of load factors and reliability parameters. From a technical standpoint, MDPJ 2017 offers a more efficient design for Indonesian national roads, as it accounts for actual load spectra. The study recommends adopting the MDPJ 2017 method to optimize construction costs while maintaining structural safety for road sections subjected to heavy traffic loads.*

**Keywords:** Rigid Pavement, MDPJ 2017, AASHTO 1993

## **Pendahuluan**

Ruas Jalan Pantura Ujung Tol Kaligawe – Simpang *Traffic Light* Terboyo (STA 3+400 s.d STA 4+600) merupakan bagian dari jaringan jalan nasional yang memiliki peran strategis sebagai koridor utama pergerakan logistik dan lalu lintas antarwilayah di Jawa Tengah. Tingginya volume lalu lintas harian, dominasi kendaraan berat, serta beban sumbu berulang menuntut struktur perkerasan dengan kapasitas dukung dan ketahanan yang memadai sepanjang umur rencana jalan (*Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017*).

Selain faktor lalu lintas, ruas Kaligawe dikenal sebagai kawasan dengan kerentanan genangan air rob akibat elevasi tanah yang rendah, penurunan muka tanah, serta pengaruh pasang laut. Kondisi air rob yang terjadi secara periodik dapat menurunkan kinerja tanah dasar, mengganggu sistem drainase, serta mempercepat degradasi struktur perkerasan apabila tidak dipertimbangkan secara tepat dalam tahap perencanaan (*Kementerian PUPR, 2020*). Selain itu, kondisi tanah dasar di wilayah pesisir yang cenderung memiliki daya dukung rendah dan dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti genangan dan intrusi air laut menjadikan perencanaan perkerasan kaku pada ruas ini semakin kompleks dan memerlukan perhatian tersendiri (*Sutanto & Prasetyo, 2019*).

Perkerasan kaku (*Rigid Pavement*) dipilih sebagai alternatif struktur perkerasan karena memiliki kemampuan distribusi beban yang lebih baik terhadap tanah dasar serta ketahanan yang relatif tinggi terhadap pengaruh lingkungan tergenang dibandingkan perkerasan lentur. Perencanaan tebal perkerasan kaku sangat dipengaruhi oleh metode desain yang digunakan, parameter lalu lintas, kondisi tanah dasar, serta faktor lingkungan (*AASHTO, 1993*). Perbedaan ini dapat berdampak pada aspek teknis maupun ekonomis, seperti kebutuhan volume beton, biaya konstruksi awal, serta efisiensi penggunaan material (*Putra et al., 2021*).

Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2017, sedangkan secara internasional metode AASHTO 1993 masih banyak digunakan sebagai acuan pembandingan. Perbedaan pendekatan, asumsi desain, serta parameter perhitungan kedua metode tersebut dapat menghasilkan rekomendasi tebal perkerasan yang berbeda pada kondisi ruas jalan yang sama (*Dirjen Bina Marga, 2017; AASHTO, 1993*). Metode Bina Marga 2017 lebih menekankan pada kesesuaian terhadap kondisi lokal Indonesia, seperti karakteristik tanah dasar tropis dan spektrum kendaraan berat yang dominan, sedangkan metode AASHTO 1993 dikembangkan berdasarkan kondisi lalu lintas dan lingkungan di Amerika Serikat (*Mulyono et al., 2020*).

## **Tinjauan Pustaka**

### **Jenis Perkerasan**

Perkerasan jalan diklasifikasikan menjadi tiga jenis utama, yaitu :

1. Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)
2. Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*) dan
3. Perkerasan Komposit (*Composite Pavement*).

Klasifikasi ini didasarkan pada karakteristik material penyusunnya dan cara perkerasan tersebut menyalurkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Menurut Sukirman (2017), perkerasan lentur menggunakan lapisan aspal sebagai pengikat utama, sedangkan perkerasan kaku menggunakan pelat beton semen Portland yang memiliki modulus elastisitas tinggi.

### **Perkerasan Kaku**

Perkerasan kaku (*rigid pavement*) didefinisikan sebagai struktur perkerasan jalan yang menggunakan beton semen (*Portland Cement Concrete / PCC*) sebagai bahan pengikat utama sehingga membentuk pelat beton yang relatif kaku dan memiliki kemampuan mendistribusikan beban kendaraan ke area dasar yang lebih luas melalui kapasitas lentur pelat beton itu sendiri. Desain perkerasan kaku menitikberatkan pada ketebalan pelat, sambungan (*joints*), *dowel/tie bar*, dan mutu beton (termasuk modulus lentur/*modulus of rupture*). Tipe perkerasan kaku (*rigid pavement*) merupakan sistem perkerasan jalan yang menggunakan lapisan permukaan berupa pelat beton semen portland (*Portland Cement Concrete/PCC*) sebagai elemen struktural utama yang bersifat kaku dan memiliki modulus elastisitas tinggi. Kekakuan tersebut menyebabkan sebagian besar beban lalu lintas didistribusikan secara luas ke tanah dasar melalui pelat beton, bukan melalui deformasi berlapis seperti perkerasan lentur (Kamil, 2023).

Menurut Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ, 2017) perkerasan kaku didesain untuk menahan beban lalu lintas dengan memperhatikan tegangan lentur beton, daya dukung tanah dasar (kondisi *subgrade*), dan sistem sambungan (*joint*). Biaya awal konstruksi relatif tinggi, umur rencana 20 – 40 tahun, dengan kebutuhan pemeliharaan lebih rendah dibandingkan perkerasan lentur (Ridwansyah, 2015).

### **Perkerasan Lentur**

Lapisan permukaan *crouse*, yaitu lapisan perkerasan lentur tepat di atasnya, berfungsi sebagai penopang langsung beban roda, memiliki stabilitas yang sangat baik, dan menjadi lapisan yang langsung bergesekan dari rem mobil atau lapisan aus, dan memudahkannya untuk getas (Sukirman, 2019). Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (2017), perkerasan lentur terdiri atas beberapa lapisan utama, yaitu :

1. Lapis permukaan (*surface course*), berupa campuran aspal dan agregat (lapis aus dan lapis antara) yang berfungsi menahan beban roda, memberikan kenyamanan, dan ketahanan terhadap cuaca.
2. Lapis pondasi atas (*base course*), berfungsi menyebarkan beban dari lapis permukaan ke lapis di bawahnya serta menambah kekakuan struktur perkerasan.

3. Lapis pondasi bawah (*subbase course*), biasanya terdiri dari agregat bergradasi baik yang berfungsi memperbaiki distribusi beban dan menjaga kestabilan terhadap deformasi permanen.
4. Tanah dasar (*subgrade*), berperan sebagai pondasi utama yang mendukung seluruh lapisan perkerasan di atasnya.

Keunggulan perkerasan lentur adalah dalam aspek kenyamanan berkendara, biaya awal yang relatif lebih rendah, serta kemudahan perawatan dan perbaikan. Untuk masa layanan yang lebih pendek (10 – 15 tahun) dibandingkan perkerasan kaku serta rentan terhadap deformasi akibat suhu tinggi dan kondisi drainase yang buruk (Suparman, 2019).

### **Perkerasan Komposit**

Menurut MDPJ (2017), sistem perkerasan komposit dapat dibangun dalam dua konfigurasi utama:

1. Perkerasan beton lama yang di-*overlay* dengan aspal (*asphalt over concrete*), digunakan untuk meningkatkan kenyamanan permukaan dan memperpanjang umur perkerasan kaku yang telah ada.
2. Perkerasan baru dengan kombinasi pelat beton dan lapisan aspal, di mana beton berfungsi sebagai lapisan struktural utama dan aspal berfungsi sebagai lapisan aus serta penahan air.

Pendekatan desain yang umum digunakan adalah AASHTO 1993 dengan modifikasi lapis ganda atau analisis mekanistik-empirik (M-E) yang memperhitungkan regangan pada batas antar lapisan. Perkerasan komposit dapat dikatakan sebagai inovasi sistem struktur perkerasan jalan yang menawarkan keseimbangan antara daya tahan struktural beton dan kenyamanan serta fleksibilitas permukaan aspal.

### **Fungsi Perkerasan Kaku**

Menurut Sukirman (2017), sifat kekakuan dan kekuatan lentur yang tinggi dari beton memungkinkan pelat perkerasan menahan beban kendaraan tanpa menyebabkan deformasi yang signifikan lapisan bawahnya. Sebagai elemen struktural yang memberikan permukaan jalan yang rata, kuat, dan tahan terhadap deformasi plastis akibat beban berulang maupun perubahan cuaca ekstrem. Permukaan beton yang keras juga memberikan nilai *skid resistance* yang baik, sehingga meningkatkan keselamatan pengguna jalan terutama pada kondisi basah.

### **Perkerasan Beton Semen Bersambung tanpa Tulangan (*Jointed Plain Concrete Pavement – JPCP*)**

Menurut Bina Marga (2017), JPCP dirancang agar retak yang timbul pada pelat beton terjadi secara teratur di sepanjang sambungan kontraksi yang telah direncanakan. Dengan demikian, sistem sambungan menjadi elemen penting yang mengontrol perilaku pelat terhadap gaya termal dan beban lalu lintas. Jenis perkerasan yang, dibandingkan dengan jenis perkerasan lainnya, memiliki biaya implementasi yang minimal dan sering digunakan dalam perencanaan perkerasan kaku. Biasanya pelaksanaan dengan kondisi

antara 4,5 meter dan 5 meter, bentuk perkerasan ini mempunyai kriteria general bahwa sambungan susut diproduksi melalui standarisasi antara 3,6 dan 6 m.

### Komponen Utama Sistem JPCP

- 1) Pelat Beton Semen (*Concrete Slab*) Berfungsi menahan beban kendaraan dan mendistribusikannya ke lapisan bawah., ketebalan pelat beton umumnya berkisar antara 18–28 cm.
- 2) Sambungan (*Joint*)
  - a. Sambungan susut (*Contraction Joint*) Digunakan untuk mengontrol retak akibat susut dan temperatur.
  - b. Sambungan muai (*Expansion Joint*), Memberi ruang gerak pelat terhadap ekspansi termal.
  - c. Sambungan konstruksi (*Construction Joint*), Dibuat saat pengecoran dilakukan secara bertahap.
- 3) Batang *Dowel* (*Dowel Bar*)  
Batang baja polos yang ditempatkan secara melintang pada sambungan untuk mentransfer beban antar pelat dan menjaga keseimbangan elevasi.
- 4) Batang Pengikat (*Tie Bar*)  
Digunakan pada sambungan memanjang untuk menahan gaya tarik dan menjaga pelat tetap rapat secara *horizontal*.
- 5) Lapisan Pondasi Bawah (*Base/Subbase*)  
Lapisan ini berfungsi untuk mendukung pelat beton, menjaga kestabilan, dan mencegah *pumping*. Material yang umum digunakan adalah *lean concrete base (LCB)* atau *cement treated base (CTB)*.

### Prinsip dan Mekanisme Kerja JRCP

Sistem JRCP, tulangan ditempatkan di tengah ketebalan pelat beton, dengan rasio tulangan berkisar antara 0,15% hingga 0,25% dari luas penampang pelat beton. Tulangan ini tidak dimaksudkan untuk memperkuat struktur dalam menahan beban secara langsung, tetapi untuk mengendalikan lebar retak agar tetap kecil (biasanya  $< 1$  mm). Tulangan juga memungkinkan jarak antar sambungan diperlebar hingga 9 –15 meter, dibandingkan 4 – 6 meter pada sistem JPCP. Hal ini mengurangi jumlah sambungan, biaya pemeliharaan, serta meningkatkan kenyamanan berkendara. (*Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 (MDPJ 2017)*)

**Tabel 1.** Perbandingan JPCP dan JRCP

| Aspek Teknis     | JPCP                     | JRCP                           |
|------------------|--------------------------|--------------------------------|
| Sambungan        | Banyak (jarak 4 - 6 m)   | Lebih sedikit (jarak 9 - 15 m) |
| Tulangan         | Tidak ada tulangan utama | Ada tulangan distribusi        |
| Fungsi Tulangan  | Tidak ada                | Mengontrol lebar retak         |
| Biaya Konstruksi | Lebih rendah             | Lebih tinggi                   |
| Perawatan        | Lebih sering             | Lebih jarang                   |

|            |                          |                                  |
|------------|--------------------------|----------------------------------|
| Kesesuaian | Lalu lintas sedang–berat | Lalu lintas berat - sangat berat |
|------------|--------------------------|----------------------------------|

(Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan 2017)

### **Perkerasan Beton Semen Menerus dengan Tulangan (*Continuously Reinforced Concrete Pavement – CRCP*)**

Persimpangan ekspansi melintang berfungsi sebagai pembatas untuk tulangan pelat panjang kontinu yang digunakan untuk membuat perkerasan beton semen jenis ini. Perkerasan ini tidak memerlukan sambungan ekspansi karena merupakan jenis perkerasan khusus. Faktor-faktor yang mempengaruhi respons struktur perkerasan beton mencakup jarak sambungan dan ketebalan pelat beton, terutama pada pelat perkerasan yang memiliki panjang lebih dari 75 m. Meskipun retak melintang diizinkan, penting untuk memastikan adanya ikatan yang kuat dengan baja tulangan yang berkelanjutan, seperti yang dapat dilihat pada ilustrasi perkerasan beton bertulang terus menerus berikut.

Perkerasan Beton Semen Menerus dengan Tulangan atau *Continuously Reinforced Concrete Pavement (CRCP)* merupakan jenis perkerasan kaku yang menggunakan tulangan baja memanjang secara kontinu tanpa sambungan melintang (*transverse joints*) pada seluruh panjang jalur perkerasan. Prinsip utama dari sistem ini adalah mengendalikan retak yang terjadi akibat penyusutan beton (*shrinkage*), perubahan suhu (*temperature gradient*), serta beban lalu lintas memanfaatkan tulangan baja sebagai penahan gaya tarik yang timbul lapisan beton.

### **Lapisan Pondasi Bawah (*Base/Subbase Course*)**

Menurut Manual Desain Perkerasan Jalan (Bina Marga, 2017), fungsi utama lapisan pondasi bawah pada perkerasan kaku meliputi:

1. Meningkatkan daya dukung sistem perkerasan dengan menambah kekakuan.
2. Mengurangi tegangan kontak langsung antara pelat beton dan tanah dasar, sehingga mencegah terjadinya deformasi diferensial.
3. Mencegah *pumping*, yaitu keluarnya air bercampur partikel halus akibat tekanan berulang dari roda kendaraan melalui sambungan pelat.
4. Menjadi lapisan kerja (*working platform*) yang stabil bagi pekerjaan pengecoran beton.

Material lapisan pondasi bawah dapat berupa *lean concrete* (beton kurus), *cement treated base* (CTB), *granular subbase*, atau lapisan stabilisasi semen/kapur, tergantung pada spesifikasi teknis proyek. Tebal lapisan pondasi bawah pada perkerasan kaku umumnya antara 10–20 cm, dengan nilai CBR minimum 80% untuk menjamin kekakuan dan kestabilan.

### **Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku**

Metode MDPJ 2017 merupakan pedoman resmi nasional yang menggunakan pendekatan mekanistik–empirik dengan memperhitungkan beban lalu lintas ekuivalen (ESA), nilai CBR tanah dasar, serta faktor iklim lokal. Sedangkan metode AASHTO 1993 menggunakan pendekatan empirik yang berasal dari hasil *AASHTO Road Test*, dengan mempertimbangkan faktor *serviceability*, *load transfer efficiency*, dan *reliability*.

### **Prinsip Dasar Perencanaan**

Dalam desain perkerasan kaku, terdapat beberapa prinsip dasar yang digunakan:

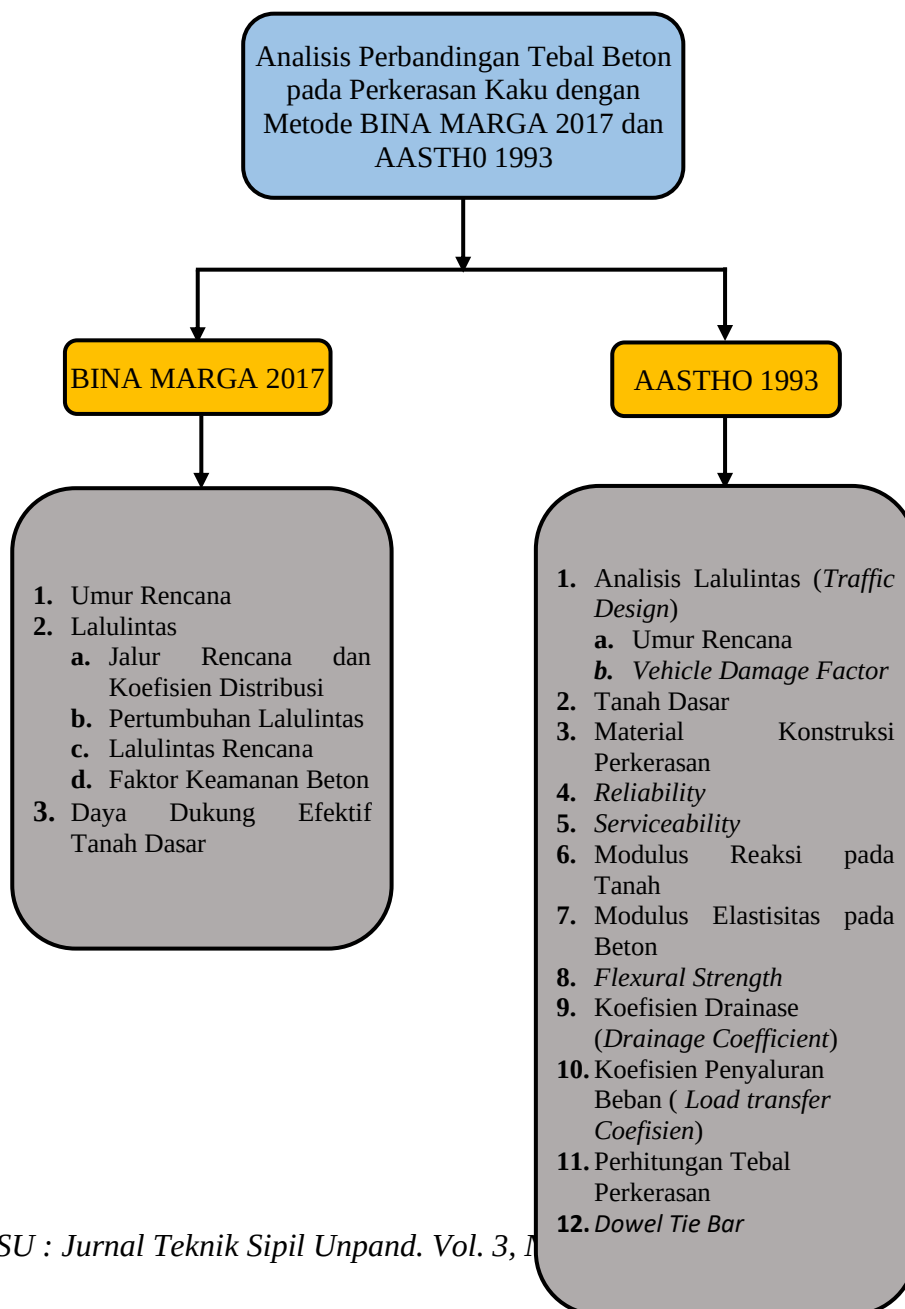
- 1) Resistansi terhadap tegangan lentur.  
Beton semen memiliki kuat tekan tinggi, tetapi relatif lemah terhadap tarik. Oleh karena itu, perencanaan ketebalan harus memastikan bahwa tegangan tarik maksimum akibat beban lalu lintas tidak melebihi modulus keruntuhan (*modulus of rupture*) beton.
- 2) Daya dukung tanah dasar.  
Tanah dasar yang lemah dapat menyebabkan diferensial settlement, sehingga mempengaruhi kinerja pelat beton. Evaluasi kekuatan tanah dasar dilakukan dengan parameter Modulus Reaksi Tanah (*k-value*).
- 3) Pengaruh beban lalu lintas.  
Beban lalu lintas dinyatakan dalam *Equivalent Single Axle Load* (ESAL) untuk memperhitungkan dampak kumulatif dari beban berulang berbagai jenis kendaraan selama umur rencana.
- 4) Kondisi lingkungan.

Faktor suhu dan kelembapan menyebabkan *warping* dan *curling* pada pelat beton. Desain harus mempertimbangkan tegangan tambahan akibat perubahan suhu harian dan gradien kelembapan. Metode MDPJ 2017 untuk perkerasan kaku menggunakan pendekatan mekanistik-empiris, yang menggabungkan analisis mekanika struktur pelat beton dengan data empiris hasil observasi lapangan.

### **Dukung Efektif Tanah Dasar**

Dengan menggunakan *California Bearing Ratio* (CBR), nilai *k* dapat ditentukan demi perkerasan kaku secara tegak lurus. Di Indonesia, uji CBR *in-situ* selaras dengan SNI 03-1731-1989 atau uji CBR laboratorium selaras dengan SNI 03-1744-1989 umumnya digunakan untuk menilai daya dukung tanah dasar. Hasil uji ini kemudian digunakan dalam perhitungan ketebalan trotoar baik yang baru maupun yang sudah ada.

Bina Marga 2017 dan Metode AASHTO 1993 masing-masing metode didasarkan pada parameter yang ditampilkan dalam bagan alur di bawah ini.

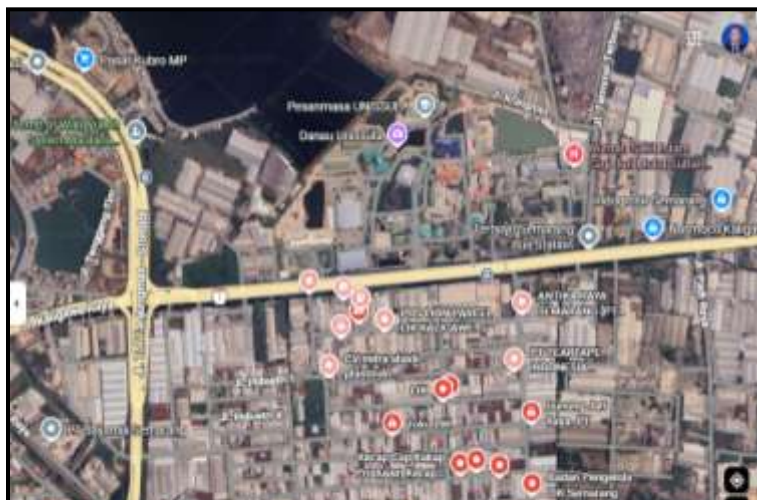




**Gambar 1.** Bagan Alur Metode Bina Marga 2017 dan AASTH0 1993  
(Sumber : MDPJ 2017- AASTH0 1993)

#### Metode Penelitian

Penelitian dilakukan pada Jalan Pantura Ujung Tol Kaligawe – *Traffic Light* Terboyo Semarang – Demak STA 3+400 s.d STA 4+600, yang terletak di Kota Semarang. Jalan ini merupakan bagian dari kawasan pendidikan dan industri. Lokasi dipilih karena memiliki kondisi lalu lintas berat serta jenis tanah dasar yang bervariasi. Ruas ini juga merupakan bagian dari jaringan jalan nasional strategis yang terhubung dengan jalan Nasional Kabupaten Demak , serta diharapkan menjadi jalur pendukung utama dalam kegiatan pembangunan infrastruktur pemerintahan dan kawasan pendidikan dan industri.

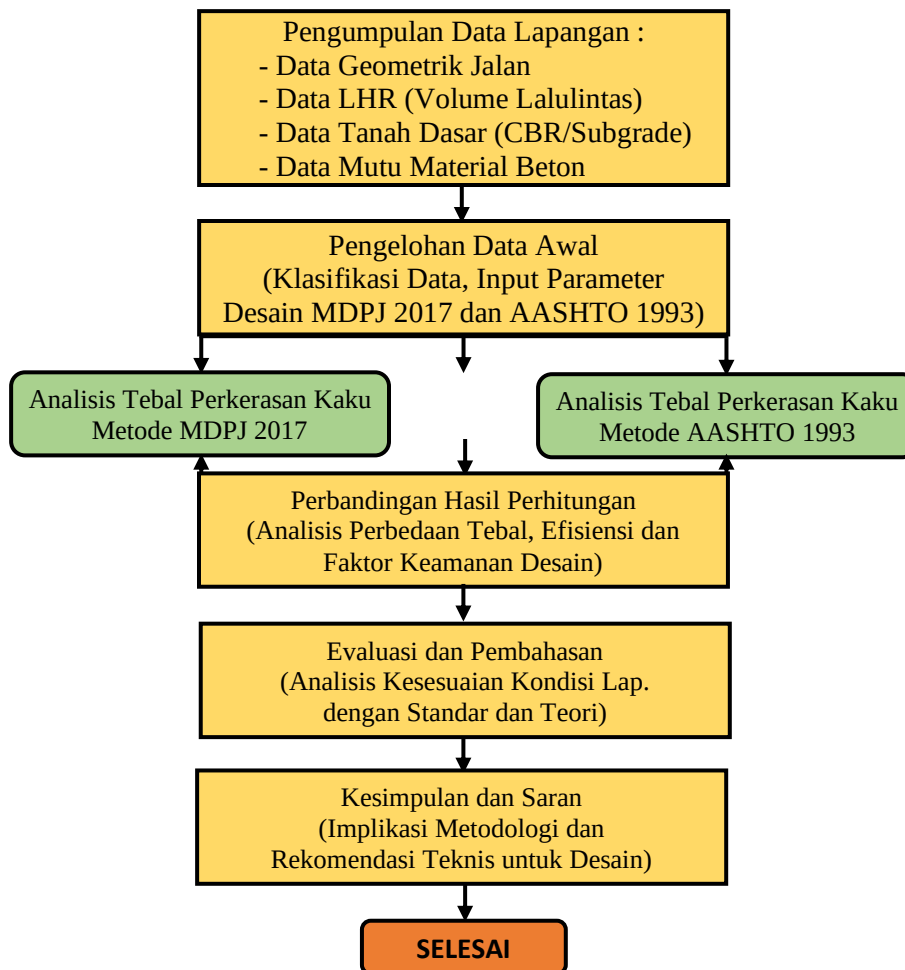


**Gambar 2.** Peta Jalan Pantura Ujung Tol Kaligawe - *Traffic Light* Terboyo Semarang – Demak STA. 3+050 s.d STA. 4+500

Kondisi lalu lintas pada ruas Jalan Pantura Ujung Tol Kaligawe – *Traffic Light* Terboyo Semarang – Demak STA 3+400 s.d STA 4+600 tergolong campuran (*mixed traffic*), yang didominasi oleh kendaraan besar Trailer, tronton , dump truck, alat berat (*excavator, bulldozer, dan compactor*), serta sebagian kendaraan pribadi. Berdasarkan survei lapangan dan data perencanaan proyek, volume lalu lintas harian rata-rata (LHR) diperkirakan mencapai 700 –1.000 kendaraan/hari, dengan persentase kendaraan berat sekitar 60–70%. Karakteristik lalu lintas yang berat ini memengaruhi perencanaan tebal perkerasan, terutama karena beban gandar sumbu kendaraan (*Equivalent Single Axle*

*Load/ESAL*) menjadi faktor dominan dalam metode desain AASHTO 1993 maupun MDPJ 2017.

Tanah dasar pada lokasi penelitian sebagian besar berupa lempung berpasir dengan nilai CBR bervariasi antara 6–10%, hasil uji lapangan dan laboratorium. Nilai CBR ini menjadi parameter utama dalam menentukan ketebalan lapisan pondasi bawah dan pelat beton dalam perencanaan. Hasil observasi lapangan dan pengujian tanah (data sekunder dari kontraktor pelaksana atau instansi terkait) menunjukkan bahwa kondisi tanah dasar di wilayah penelitian umumnya terdiri atas tanah lempung berpasir (*sandy clay*) dan lempung lanauan (*clayey silt*) tingkat kepadatan sedang hingga tinggi. Nilai *California Bearing Ratio* (CBR) tanah dasar bervariasi antara 6% hingga 10%, tergantung pada lokasi STA dan kondisi *drainase* lokal. Sifat tanah tersebut menunjukkan kemampuan dukung tanah (*subgrade support*).



**Gambar 3.** Bagan Alir Perencanaan  
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

### **Pengumpulan Data Data Primer**

Data primer diperoleh langsung dari hasil survei lapangan dan observasi di lokasi penelitian pada Jalan Pantura Ujung Tol Kaligawe – *Traffic Light* Terboyo Semarang – Demak STA 3+400 s.d STA 4+600, meliputi:

- 1) Kondisi geometrik jalan dan lingkungan sekitar (topografi, *drainase*, dan sistem aliran air permukaan).
- 2) Kondisi tanah dasar hasil uji lapangan seperti CBR (California Bearing Ratio) atau nilai modulus reaksi tanah (*k-value*).
- 3) Dokumentasi visual dan pengamatan lapangan yang menggambarkan kondisi eksisting proyek.

### **Data Sekunder**

Data sekunder diperoleh dari hasil studi pustaka, laporan teknis, serta dokumen perencanaan dari instansi pelaksana proyek, seperti:

- 1) Data lalu lintas harian rata-rata (LHR) dan komposisi kendaraan berat, yang digunakan untuk menghitung *Equivalent Single Axle Load* (ESAL).
- 2) Data mutu bahan beton dan karakteristik lapisan pondasi bawah (subbase).
- 3) Dokumen desain teknis proyek dari Dinas Pekerjaan Umum atau kontraktor pelaksana.
- 4) Standar dan pedoman teknis, seperti Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ 2017), AASHTO 1993, serta peraturan pelengkap dari Bina Marga dan Kementerian PUPR.

### **Analisa dan Pembahasan**

#### **Data Tanah dan Karakteristik *Subgrade***

Lapisan tanah dasar (*subgrade*) merupakan elemen struktural terendah yang menahan beban lalu lintas yang diteruskan dari lapisan di atasnya. Oleh karena itu, karakteristik kekuatan tanah dasar sangat memengaruhi tebal perkerasan beton yang dibutuhkan. Berdasarkan hasil uji CBR lapangan (*California Bearing Ratio*) yang dilakukan pada beberapa titik sepanjang Jalan Pantura Ujung Tol Kaligawe – Simpang *Traffic Light* Terboyo, nilai rata-rata CBR diperoleh sebesar 6 – 8% dengan variasi antar titik relatif kecil. Kondisi ini menunjukkan bahwa tanah dasar termasuk dalam klasifikasi tanah lempung berpasir (CL–ML) menurut *Unified Soil Classification System* (USCS) dengan kepadatan alami sedang dan plastisitas rendah.

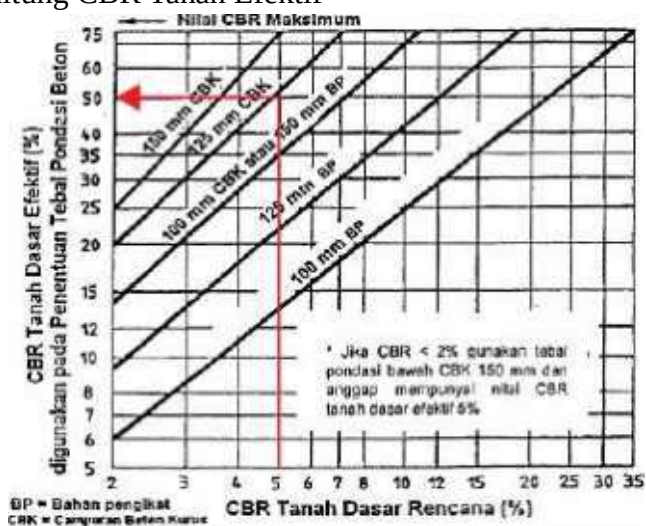
Nilai CBR digunakan untuk menentukan Modulus Reaksi Tanah (*k*) sebagai input dalam perhitungan perkerasan beton. Kondisi *drainase subgrade* dinilai cukup baik karena permukaan lahan memiliki kemiringan memadai dan terdapat sistem saluran terbuka di sisi kiri-kanan jalan.

**Tabel 2.** Pengujian CBR Tanah

| Waktu<br>(Menit) | Penurunan<br>(Inchi) | Arloji |       | Beban (Lbs) |         |
|------------------|----------------------|--------|-------|-------------|---------|
|                  |                      | Atas   | Bawah | Proving     | koreksi |
| 0                | 0.0000               |        | 0     | 9.2591      | 0.00    |
| ¼                | 0.0125               |        | 2     |             | 18.52   |
| ½                | 0.0250               |        | 6     |             | 55.55   |
| 1                | 0.0500               |        | 11    |             | 101.85  |
| 1.5              | 0.0750               |        | 14    |             | 129.63  |
| 2                | 0.1000               |        | 17    |             | 157.40  |
| 3                | 0.1500               |        | 21    |             | 194.44  |
| 4                | 0.2000               |        | 24    |             | 222.22  |
| 6                | 0.3000               |        | 27    |             | 250.00  |
| 8                | 0.4000               |        | 29    |             | 268.51  |
| 10               | 0.5000               |        |       |             |         |

$$\text{CBR } 0,1' = \frac{15.740}{3 \times 1000} \times 100\% = 5,25\%$$

**Tabel 3.** Menghitung CBR Tanah Efektif



(Sumber : Pd T-14-2003)

### Analisis Perhitungan Bina Marga 2017

Perencanaan tebal perkerasan kaku pada penelitian ini mengacu pada pedoman teknis yang tercantum dalam Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) Tahun 2017 yang diterbitkan oleh Dirjen Bina Marga, Kemen PUPR.

**Tabel 4.** Penghitungan Total Sumbu berlandaskan Beban dan Jenisnya

| Gol Kend.    | Jenis Kendaraan    | Berat Total (ton) | 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 (ton)       | JS (bh)      |
|              | 1                  |                   | 2                             |       |      |      | 3             | 4                       | 5              | 6        | 7            | 8                    | 9                 | 10             | 11           |
| 2            | Mobil Penumpang    | 2,00              | 1,00                          | 1,00  |      |      | 2.316         | 2                       | -              | -        | -            | -                    | -                 | -              | -            |
| 4            | Pick Up            | 8,30              | 2,82                          | 5,48  |      |      | 1.000         | 2                       | 2.000          | 2,82     | 1,990        | 5,48                 | 1,990             | -              | -            |
| 5A           | Small Bus          | 8,30              | 2,82                          | 5,48  |      |      | 249           | 2                       | 498            | 2,82     | 566          | 5,48                 | 566               | -              | -            |
| 5B           | Big Bus            | 9,00              | 3,06                          | 5,94  |      |      | 122           | 2                       | 244            | 3,06     | 175          | 5,94                 | 175               | -              | -            |
| 6A           | Truck Ringan Sumbu | 2 8,30            | 2,82                          | 5,48  |      |      | 1.138         | 2                       | 2.276          | 2,82     | 2,338        | 5,48                 | 2,338             | -              | -            |
| 6B           | Truck Besar Sumbu  | 2 15,15           | 5,15                          | 1,00  |      |      | 1.002         | 2                       | 2.004          | 5,15     | 1,892        | 9,30                 | 1,892             | -              | -            |
| 7A           | Truck Besar Sumbu  | 3 25,00           | 6,25                          | 18,75 |      |      | 690           | 2                       | 1.380          | 6,25     | 1,610        | -                    | -                 | 18,75          | 1,610        |
| 7B           | Truck Gandeng      | 31,40             | 5,65                          | 8,79  | 8,48 | 8,48 | 312           | 4                       | 1.248          | 5,65     | 682          | 8,79<br>8,48<br>8,48 | 682<br>682<br>682 | -              | -            |
| 7C           | Truck Semi Trailer | 40,13             | 5,88                          | 20,00 | 7,00 | 7,25 | 173           | 3                       | 519            | 5,88     | 342          | 10,00                | 293               | 20,00<br>14,25 | 342<br>342   |
| <b>Total</b> |                    |                   |                               |       |      |      | <b>7.002</b>  |                         | <b>10.169</b>  |          | <b>9,595</b> |                      | <b>9,300</b>      |                | <b>2,294</b> |

#### Penjelasan Tabel 4.13 :

- Kolom (1) : Kategori kendaraan
- Kolom (2) : Beban sumbu konfigurasi (ton)
- Kolom (3) : Total kendaraan (unit)
- Kolom (4) : Total sumbu perkendaraan (unit)
- Kolom (5) : Total sumbu (unit) = Kolom (3) dikalikan Kolom (4)
- Kolom (6) : Beban sumbu (ton) untuk STRT
- Kolom (7) : Total sumbu (unit) minus STRT
- Kolom (8) : Beban sumbu (ton) untuk STRG
- Kolom (9) : Total sumbu (unit) minus STRG
- Kolom (10) : Beban sumbu (ton) untuk STdRG

Kolom (11) : Total sumbu (unit) minus STdRG

Penghitungan mengenai total sumbu kendaraan besar periode perencanaan, Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN) yaitu:

$$\begin{aligned} \text{JSKN}_{\text{rencana}} &= \text{JSKN}_{\text{harian}} \times 365 \times R \times C = 10.169 \times 365 \times 29,77 \times 0,40 \\ &= 44.198.745 = \mathbf{44 \times 10^6} \text{ JSKN.} \end{aligned}$$

### Faktor Keamanan Beban

Faktor keamanan terhadap beban atau *Load Safety Factor (LSF)* merupakan koefisien koreksi yang digunakan untuk mengantisipasi ketidakpastian beban aktual di lapangan, seperti beban berlebih yang tidak terdeteksi, variasi distribusi beban, serta penyimpangan dari asumsi desain. Dalam MDPJ 2017, nilai LSF biasanya berkisar antara 1,1 hingga 1,2, tergantung pada tingkat keandalan yang diinginkan. Untuk jalan nasional yang memiliki volume lalu lintas tinggi dan berperan strategis dalam mobilitas logistik, nilai LSF yang lebih tinggi dapat digunakan untuk meningkatkan daya tahan struktur terhadap beban berlebih.

**Tabel 5.** Faktor Erosi dan Tegangan Ekuivalen

| Tebal Pelat (mm) | CBR Eff (%) | Tegangan Ekuivalen |             |             |             | Faktor Erosi |             |             |             |             |             |             |             |
|------------------|-------------|--------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                  |             |                    |             |             |             | Tanpa Ruji   |             |             |             | Dengan Ruji |             |             |             |
|                  |             | STRT               | STRG        | STdRG       | STrRG       | STRT         | STRG        | STdRG       | STrRG       | STRT        | STRG        | STdRG       | STrRG       |
| 300              | 5           | 0,49               | 0,88        | 0,79        | 0,58        | 157          | 2,17        | 2,42        | 2,52        | 1,32        | 1,93        | 2,16        | 2,32        |
| 300              | 10          | 0,48               | 0,81        | 0,73        | 0,55        | 1,55         | 2,15        | 2,36        | 2,44        | 1,30        | 1,91        | 2,10        | 2,24        |
| 300              | 15          | 0,47               | 0,78        | 0,70        | 0,53        | 1,53         | 2,14        | 2,33        | 2,40        | 1,29        | 1,69        | 2,07        | 2,20        |
| 300              | 20          | 0,48               | 0,77        | 0,69        | 0,52        | 1,52         | 2,13        | 2,31        | 2,37        | 1,28        | 1,68        | 2,05        | 2,18        |
| 300              | 25          | 0,48               | 0,76        | 0,67        | 0,51        | 1,51         | 2,12        | 2,29        | 2,35        | 1,27        | 1,67        | 2,03        | 2,15        |
| 300              | 35          | 0,46               | 0,73        | 0,64        | 0,49        | 1,49         | 2,10        | 2,25        | 2,30        | 1,25        | 1,65        | 1,99        | 2,09        |
| 300              | 50          | 0,45               | 0,70        | 0,60        | 0,46        | 1,48         | 2,08        | 2,20        | 2,24        | 1,23        | 1,63        | 1,95        | 2,03        |
| 300              | 75          | 0,45               | 0,67        | 0,57        | 0,45        | 1,46         | 2,06        | 2,15        | 2,17        | 1,21        | 1,81        | 1,90        | 1,95        |
|                  |             |                    |             |             |             |              |             |             |             |             |             |             |             |
| 310              | 5           | 0,46               | 0,81        | 0,76        | 0,55        | 1,54         | 2,14        | 2,40        | 2,50        | 1,29        | 1,69        | 2,13        | 2,30        |
| 310              | 10          | 0,40               | 0,77        | 0,70        | 0,52        | 1,51         | 2,11        | 2,33        | 2,42        | 1,27        | 1,67        | 2,07        | 2,22        |
| 310              | 15          | 0,45               | 0,75        | 0,66        | 0,50        | 1,49         | 2,09        | 2,30        | 2,38        | 1,25        | 1,66        | 2,04        | 2,18        |
| 310              | 20          | 0,44               | 0,74        | 0,66        | 0,50        | 1,49         | 2,09        | 2,28        | 2,35        | 1,24        | 1,65        | 2,03        | 2,15        |
| <b>310</b>       | <b>25</b>   | <b>0,44</b>        | <b>0,72</b> | <b>0,64</b> | <b>0,49</b> | <b>1,48</b>  | <b>2,08</b> | <b>2,26</b> | <b>2,33</b> | <b>1,23</b> | <b>1,64</b> | <b>2,01</b> | <b>2,13</b> |
| 310              | 35          | 0,43               | 0,69        | 0,61        | 0,47        | 1,48         | 2,06        | 2,22        | 2,28        | 1,21        | 1,62        | 1,97        | 2,07        |
| 310              | 50          | 0,43               | 0,67        | 0,58        | 0,44        | 1,44         | 2,04        | 2,18        | 2,22        | 1,19        | 1,79        | 1,92        | 2,01        |
| 310              | 75          | 0,42               | 0,63        | 0,54        | 0,43        | 1,42         | 2,02        | 2,13        | 2,15        | 1,17        | 1,77        | 1,87        | 1,93        |
|                  |             |                    |             |             |             |              |             |             |             |             |             |             |             |
| 320              | 5           | 0,44               | 0,78        | 0,74        | 0,53        | 1,50         | 2,11        | 2,37        | 2,48        | 1,25        | 1,85        | 2,10        | 2,27        |
| 320              | 10          | 0,43               | 0,74        | 0,68        | 0,50        | 1,48         | 2,08        | 2,31        | 2,40        | 1,23        | 1,83        | 2,05        | 2,19        |
| 320              | 15          | 0,43               | 0,72        | 0,65        | 0,48        | 1,46         | 2,06        | 2,28        | 2,36        | 1,22        | 1,82        | 2,02        | 2,15        |
| 320              | 20          | 0,42               | 0,71        | 0,64        | 0,48        | 1,45         | 2,06        | 2,26        | 2,33        | 1,21        | 1,81        | 2,00        | 2,13        |
| 320              | 25          | 0,42               | 0,69        | 0,62        | 0,47        | 1,44         | 2,05        | 2,24        | 2,31        | 1,20        | 1,80        | 1,98        | 2,10        |
| 320              | 35          | 0,41               | 0,66        | 0,59        | 0,45        | 1,42         | 2,03        | 2,20        | 2,26        | 1,18        | 1,78        | 1,94        | 2,04        |

|     |    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 320 | 50 | 0,41 | 0,64 | 0,55 | 0,43 | 1,41 | 2,01 | 2,15 | 2,20 | 1,15 | 1,76 | 1,89 | 1,98 |
| 320 | 75 | 0,41 | 0,62 | 0,53 | 0,41 | 1,39 | 1,99 | 2,10 | 2,12 | 1,13 | 1,74 | 1,84 | 1,91 |

(Sumber: Desain Perkerasan Jalan Nomor: 02/M/BM/2013)

Tebal perkerasan kaku sebesar 31 cm ditentukan berdasarkan kajian tebal perkerasan kaku berdasarkan kriteria Bina Marga tahun 2017.



**Gambar 4.** Desain Perkerasan Kaku Jalan Pantura Ujung Tol Kaligawe – Simpang *Traffic Light* Terboyo Metode Bina Marga 2017  
(Sumber : Dokumen Pribadi-2026)

#### Perhitungan Tebal Perkerasan

Dari hasil persamaan yang di perhitungkan di atas dapat di gunakan untuk mencari sebuah tebal perkerasan dengan mengacu pada nomogram *rigid pavement* dengan hasil yang di dapat 14 *inch* = 35 cm



**Gambar 5.** Desain Perkerasan Kaku Jalan Pantura Ujung Tol Kaligawe – Simpang *Traffic Light* Terboyo Metode AASHTO1993  
(Sumber : Dokumen Pribadi-2026)

#### Hasil Perbedaan Analisis Metode MDPJ 2017 dengan AASHTO 1993

Hasil perhitungan berdasarkan data lalu lintas dan karakteristik tanah pada ruas studi menunjukkan bahwa tebal pelat beton optimum menurut MDPJ 2017 adalah 31 cm. Tebal ini menunjukkan efisiensi yang cukup tinggi karena metode MDPJ 2017 mengakomodasi kondisi lapangan melalui faktor-faktor koreksi seperti transfer beban antar pelat (*Load Transfer Efficiency*) dan ketebalan lapisan pondasi bawah (*Lean Concrete/Base Layer*). Secara umum, MDPJ 2017 menghasilkan tebal yang lebih ramping dibandingkan metode empiris seperti AASHTO, karena:

- 1) Menggunakan pendekatan mekanistik-empiris yang lebih akurat dalam memperkirakan respon struktural beton terhadap beban,

- 2) Mempertimbangkan efisiensi transfer beban antar sambungan,
- 3) Menyesuaikan terhadap karakteristik tanah dasar dan iklim Indonesia.

### Analisis Perbandingan dan Implikasi Teknis

**Tabel 6.** Perbandingan dan Implikasi Teknis

| Aspek                         | MDPJ 2017                                                  | AASHTO 1993                             |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Pendekatan                    | Mekanistik–Empiris                                         | Empiris                                 |
| Ketebalan hasil desain        | 31 cm                                                      | 35 cm                                   |
| Reliabilitas desain           | Disesuaikan (90 – 95%)                                     | Biasanya tinggi (95 – 99%)              |
| Pertimbangan lokal            | Sangat memperhatikan kondisi tanah & iklim Indonesia       | Berdasarkan data lapangan Amerika Utara |
| Efisiensi penggunaan material | Lebih efisien                                              | Lebih konservatif                       |
| Kinerja jangka panjang        | Baik bila drainase dan sambungan direncanakan dengan tepat | Sangat baik, tetapi biaya awal tinggi   |

Secara teknis, hasil menunjukkan bahwa metode MDPJ 2017 menghasilkan tebal pelat yang lebih tipis (31 cm) dibandingkan metode AASHTO 1993 (35 cm). Perbedaan tersebut bukan berarti salah satu metode kurang tepat, melainkan disebabkan oleh:

- 1) Perbedaan filosofi desain (mekanistik – empiris vs empiris)
- 2) Faktor keamanan yang lebih besar pada AASHTO 1993
- 3) Kondisi iklim tropis Indonesia yang diakomodasi oleh MDPJ 2017 melalui kalibrasi lokal.

Dari sisi biaya konstruksi, metode MDPJ 2017 lebih ekonomis karena volume beton berkurang sekitar 28 – 30%. Namun demikian, perlu dikaji durabilitas dan performa lapangan untuk memastikan bahwa desain dengan tebal **31 cm** tetap mampu menahan beban lalu lintas berat sesuai umur rencana.

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, perhitungan, dan pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya mengenai studi komparatif perencanaan tebal perkerasan lentur (*Rigid Pavement*) pada Ruas Jalan Pantura Ujung Tol Kaligawe – *Traffic Light* Terboyo (STA 3+050 s.d. STA 4+500), maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil Analisis Ketebalan Struktur : Perhitungan tebal pelat beton menunjukkan variasi hasil yang cukup signifikan antara kedua metode standar yang digunakan. Berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2017, didapatkan tebal pelat beton semen sebesar 31 cm. Sementara itu, berdasarkan metode AASHTO 1993, didapatkan ketebalan pelat yang lebih besar, yakni 35 cm.
2. Karakteristik Parameter Input dan Filosofi Desain : Perbedaan ketebalan sebesar 11,4% tersebut merupakan implikasi dari perbedaan filosofi dasar kedua metode. MDPJ 2017



menggunakan pendekatan mekanistik-empiris yang telah dikalibrasi dengan kondisi beban kendaraan di Indonesia. Metode ini secara spesifik mempertimbangkan spektrum beban gandar (*Axle Load Spectra*) dan penggunaan *Lean Concrete Base* (LCB) yang meningkatkan nilai modulus reaksi tanah dasar secara signifikan. Sedangkan AASHTO 1993 yang murni bersifat empiris sangat sensitif terhadap nilai *Reliability* (R) dan *Overall Standard Deviation* (So).

3. Tinjauan Kapasitas Struktur Terhadap Beban LHR : Jalan Pantura pada lokasi studi memiliki volume lalu lintas kendaraan berat yang sangat tinggi (Golongan 6, 7, dan 8). Analisis menunjukkan bahwa ketebalan 31 cm pada MDPJ 2017 sudah mampu menahan beban repetisi rencana melalui evaluasi kerusakan fatik (*fatigue damage*) dan erosi (*erosion damage*).
4. Ketebalan 35 cm pada AASHTO 1993 memberikan faktor keamanan yang lebih besar, namun dari sudut pandang teknik sipil yang mengedepankan optimasi biaya dan fungsi, ketebalan 31 cm dipandang sudah mencukupi untuk memikul beban rencana tanpa terjadi kegagalan struktur dini.

#### **Daftar Pustaka**

- AASHTO, 1993,(1993) *Guide for Design of Pavement Structures*, American Assosiation of State Highway and Transportation Officials, Washington, USA
- Ariwibowo, F., & Setyawan, A. (2019). Analisis Perbandingan Tebal Perkerasan Kaku Jalan Tol Menggunakan Metode AASHTO 1993 dan Manual Desain Perkerasan Jalan 2017. *Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 7(2), 145–152.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2017). *Manual Desain Perkerasan Jalan* (Nomor 02/M/BM/2017). Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Gunawan, H., & Utomo, S. B. (2021). Kajian Komparasi Parameter Nilai CBR Tanah Dasar terhadap Ketebalan Pelat Beton Semen Berdasarkan MDPJ 2017 dan AASHTO 1993. *Jurnal Infrastruktur dan Teknik Sipil*, 9(1), 33–42.
- Hardiyatmo, H. C. (2021). *Perkerasan Kaku (Rigid Pavement): Teori, Perancangan, dan Evaluasi* (Edisi ke-2). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Kurniawan, D., & Rahmawati, A. (2020). Sensitivitas Faktor Beban Lalu Lintas (Traffic ESAL) terhadap Ketebalan Plat *Rigid Pavement* pada Metode Bina Marga dan AASHTO. *Jurnal Transportasi dan Rekayasa Jalan*, 5(2), 88–99.
- Lestari, P., & Supriyadi, A. (2018). Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku Lintasan Pesisir Pantai (Studi Kasus Jalan Pantura). *Jurnal Rekayasa Infrastruktur*, 6(3), 201–212.
- Pradoto, R., & Wibowo, T. (2022). Analisis Komparatif Perhitungan Tulangan Sambungan (Dowel dan Tie Bar) Perkerasan Kaku Menggunakan Metode Pd T-14-2003, MDPJ 2017, dan AASHTO 1993. *Jurnal Teknik Sipil Unika Soegijapranata*, 11(1), 54–67.
- Purnomo, A., & Setiawan, H. (2023). Evaluasi Penerapan Faktor Drainase dan Keandalan (Reliability) pada Desain Perkerasan Kaku Metode AASHTO 1993 di Kawasan Rawan Banjir Rob. *Jurnal Manajemen Konstruksi dan Material*, 4(2), 115–124.

- Ramadhan, F. A. (2021). Studi Evaluasi Tebal Perkerasan Beton Semen dengan Metode Analisis Komponen, AASHTO 1993 dan MDPJ 2017 pada Ruas Jalan Nasional. *Jurnal Konstruksia*, 12(2), 45–56.
- Suryawan, A. (2018). Perancangan Perkerasan Jalan Beton Semen Berdasarkan Manual Perbaikan Perkerasan Jalan (MDPJ) Terbaru. Yogyakarta: Beta Offset.
- Wicaksono, B., & Handayani, S. (2024). Analisis Ekonomi Teknik Perbandingan Tebal Perkerasan Kaku Hasil Desain MDPJ 2017 dan AASHTO 1993. *Jurnal Anggaran dan Infrastruktur Publik*, 2(1), 12–25.
- Yustika, R., & Zahra, F. (2022). Pengaruh Variasi Nilai Growth Factor Lalu Lintas Terhadap Dimensi Tebal Pelat Beton Perkerasan Kaku Metode AASHTO 1993 dan MDPJ 2017. *Jurnal Sipil Sains*, 12(1), 77–86.