

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan merupakan prasarana penghubung dari berbagai bidang seperti sosial, ekonomi dan budaya antar daerah serta dapat mempercepat perkembangan dan kemajuan suatu daerah. Jalan Sp. Kerobokan – Munggu – Tanah Lot merupakan jalan utama yang menghubungkan jalan Kerobokan Menuju Jalan Tanah Lot.

Meningkatnya taraf hidup masyarakat dapat mempengaruhi kondisi prasarana transportasi jalan raya, sehingga akibat dari tuntutan jalan yang terus berkembang, maka jalan harus menyesuaikan tingkat kemampuan pelayanannya untuk dapat mengimbangi aktivitas lalu lintas yang setiap tahun terus meningkat.

Di Indonesia, khususnya di Provinsi Bali, menurut data dari Badan Pusat Statistik (BPS) menyebutkan bahwa dari tahun 2024 mencatat 4,7 juta unit kendaraan di seluruh bali, menunjukkan tren peningkatan yang signifikan yang kemungkinan akan berlanjut pada tahun 2025, dan menurut inventarisasi emisi gas rumah kaca (IGRK) menunjukkan jumlah kenaikan kendaraan dari tahun 2022 ke 2023 adalah sekitar 5,47%, jumlah kendaraan yang terus meningkat dan kondisi topografi yang beragam mengharuskan adanya perencanaan dan perawatan jalan yang tepat. Salah satu ruas jalan yang memiliki beban lalu lintas tinggi dan cukup penting di Bali adalah jalan Sp. Kerobokan – Munggu – Tanah Lot. Jalan ini adalah jalan provinsi yang menghubungkan daerah Kerobokan dengan daerah Kediri, Kabupaten Tabanan. Ruas jalan ini merupakan jalan

provinsi yang digunakan oleh kendaraan pribadi maupun angkutan barang, dan memiliki karakteristik kondisi geografis yang meliputi daerah datar. Dengan demikian, penting untuk merancang perkerasan jalan yang efektif dan efisien, agar dapat menanggulangi masalah yang muncul akibat beban lalu lintas dan kondisi alam yang beragam.

Seiring dengan bertambahnya aktivitas kendaraan, kemajuan di bidang Pariwisata dan Perdagangan, serta distribusi barang dan jasa menyebabkan meningkatnya volume lalu lintas. Terkadang peningkatan volume lalu lintas ini tidak diikuti dengan peningkatan kapasitas jalan yang memadai. Dengan meningkatnya perkembangan sektor perekonomian dan perindustrian, maka akan semakin bertambah kebutuhan sarana dan prasarana transportasi jalan yang baik, aman, serta mempunyai manfaat untuk jangka panjang.

Dalam perencanaan perkerasan lentur, penting untuk mempertimbangkan metode perhitungan yang tepat untuk mendapatkan desain yang efisien dan tahan lama. Metode yang sering digunakan dalam perkerasan lentur adalah Manual Desain Perkerasan Tahun 2024. Metode Manual Desain Perkerasan 2024, merupakan pendekatan yang lebih sederhana dan berbasis pada perhitungan manual menggunakan rumus standar yang lebih mudah diterapkan, meskipun memiliki keterbatasan dalam mempertimbangkan faktor-faktor yang lebih kompleks.

Sehubungan dengan pemaparan diatas, maka penulis akan melakukan analisis desain tebal perkerasan lentur dengan menggunakan metode Manual Desain Perkerasan 2024 pada ruas jalan Sp. Kerobokan – Munggu – Tanah Lot, dengan

mengkaji ketebalan perkerasan yang diperlukan untuk menahan beban lalu lintas. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan menghasilkan desain perkerasan yang efisien, ekonomis, serta tahan lama. Sehingga hasil analisis yang diharapkan dapat memberikan rekomendasi desain perkerasan lentur yang lebih baik sesuai dengan kondisi aktual di lapangan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana Desain Lapis Perkerasan Lentur Jalan pada ruas Sp. Kerobokan – Munggu – Tanah Lot dengan metode Manual Desain Perkerasan 2024?
- 2) Bagaimana Estimasi Anggaran Biaya yang dibutuhkan pada ruas jalan Sp. Kerobokan – Munggu – Tanah Lot sesuai dengan Metode Manual Desain Perkerasan tahun 2024?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian dari rumusan masalah, maka yang menjadi tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Untuk menganalisis Desain Struktur Perkerasan Lentur yang di pakai pada ruas jalan Kerobokan – Munggu – Tanah Lot yang sesuai dengan Manual Desain Perkerasan tahun 2024.
- 2) Untuk menganalisis Estimasi Biaya yang di perlukan pada ruas jalan Kerobokan – Munggu – Tanah Lot berdasarkan dengan metode Manual Desain Perkerasan 2024.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan memiliki manfaat antara lain:

- 1) Penelitian ini dibuat sebagai bahan pertimbangan, masukan serta usulan bagi pemerintah atau pihak – pihak yang terkait pada pembangunan atau perencanaan jalan Provinsi Bali.
- 2) Sebagai referensi untuk perencanaan tebal perkerasan menggunakan metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2024.

1.5 Batasan Masalah

Untuk menghindari ruang lingkup penelitian yang terlalu luas, dan memudahkan dalam penyelesaian suatu permasalahan sesuai dengan tujuan, maka perlu dilakukan batasan-batasan masalah. Berikut ini merupakan batasan dalam penelitian yang akan dilakukan.

- 1) Umur rencana rekonstruksi 20 tahun dan untuk pondasi 40 tahun menggunakan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2024.
- 2) Desain lapis perkerasan lentur di jalan Provinsi memakai standar desain yang disediakan oleh Dinas Bina Marga Dan Bina Kontruksi Provinsi Bali.

UNMAS DENPASAR

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Jalan

Jalan sebagai bagian sistem transportasi nasional memiliki peranan penting di bidang ekonomi, sosial, budaya, pertahanan-keamanan, dan struktur ruang wilayah. Dimana penyelenggaraan jalan meliputi perencanaan, pembangunan, pemeliharaan, pengawasan, dan pembinaan. Pemerintah pusat dan daerah memiliki hak dan kewajiban dalam penyelenggaraan jalan. (UU No 38 Tahun 2004).

Dalam UU No. 2 Tahun 2022 sebagai perubahan kedua atas UU No. 38 Tahun 2004 tentang Jalan, yang mendefinisikan jalan sebagai "prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian Jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan/atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan rel, jalan lori, dan jalan kabel". Peraturan ini mengubah beberapa ketentuan, seperti penambahan asas kenyamanan, persatuan, dan kesatuan dalam penyelenggaraan jalan.

2.2 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan konstruksi yang diperuntukkan bagi lalu lintas yang terletak diatas tanah dasar, terdiri dari beberapa lapisan bahan dengan kualitas yang berbeda-beda. Perkerasan jalan adalah lapisan yang terbuat dari material yang layak (memenuhi persyaratan) dan diletakkan di atas tanah timbunan atau tanah dasar yang dipadatkan. Lapisan perkerasan harus memenuhi persyaratan sebagai

berikut:

1. Secara keseluruhan perkerasan jalan harus cukup kuat untuk memikul beban lalu lintas yang melintas di atasnya,
2. Permukaan jalan harus dapat menahan gaya gesekan dan keausan dari roda-roda kendaraan dan juga terhadap pengaruh air,
3. Tekstur permukaan yang nyaman dilewati,
4. Memiliki tingkat keawetan yang tinggi,
5. Memiliki nilai ekonomis.

Berdasarkan bahan pengikatnya, konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan atas:

1. Konstruksi Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Perkerasan kaku adalah perkerasan yang menggunakan semen sebagai bahan pengikat. Pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Beban lalu lintas sebagian besar dipikul oleh pelat beton.

2. Konstruksi Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

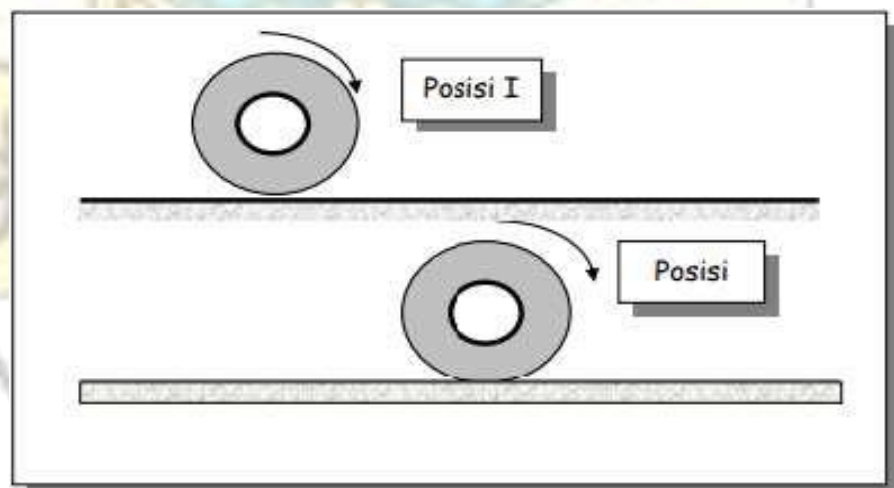
Perkerasan lentur merupakan perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.

3. Konstruksi Perkerasan Komposit (*Composite Pavement*)

Perkerasan komposit adalah perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur, dapat berupa perkerasan lentur di atas perkerasan kaku, atau perkerasan kaku di atas perkerasan lentur.

Perkerasan kaku (*rigid pavement*) dan perkerasan lentur (*flexible pavement*) mempunyai sifat yang saling berlawanan, yaitu:

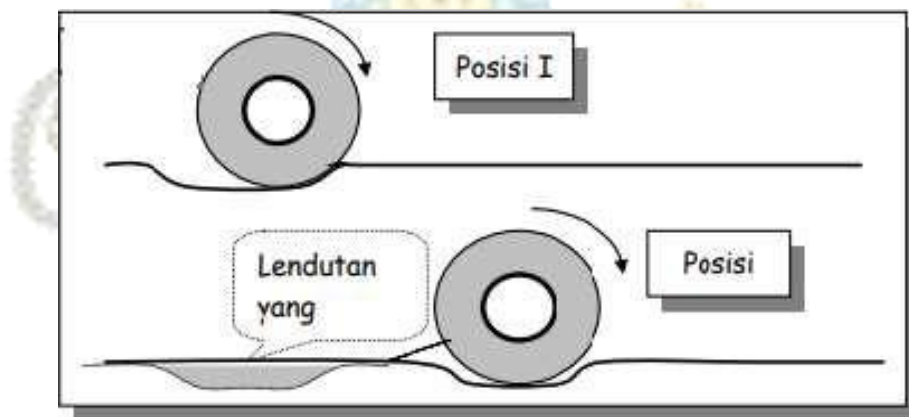
1. Perkerasan kaku (*rigid pavement*) mempunyai sifat tetap kaku/datar pada saat ada beban maupun tidak ada beban. Sifat ini menyebabkan permukaan perkerasan tidak dapat meredam getaran kendaraan tetapi justru memantulkan kembali getaran yang terjadi pada kendaraan. Jadi pada perkerasan kaku kenyamanan berkendara menjadi berkurang karena getaran kendaraan menjadi keras dan bising. Gambar 2.1. menggambarkan ilustrasi perkerasan kaku.



Gambar 2. 1 Ilustrasi Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

(Sumber: Hardiyatmo, 2016)

2. Perkerasan lentur atau *flexible pavement* mempunyai sifat melentur/melendut bila sedang ada beban dan akan kembali ke posisi semula bila beban tersebut sudah lewat. Hal ini menyebabkan jalan bisa meredam setiap getaran yang timbul pada kendaraan menjadi lebih halus. Perhatikan gambar 2.2 berikut:

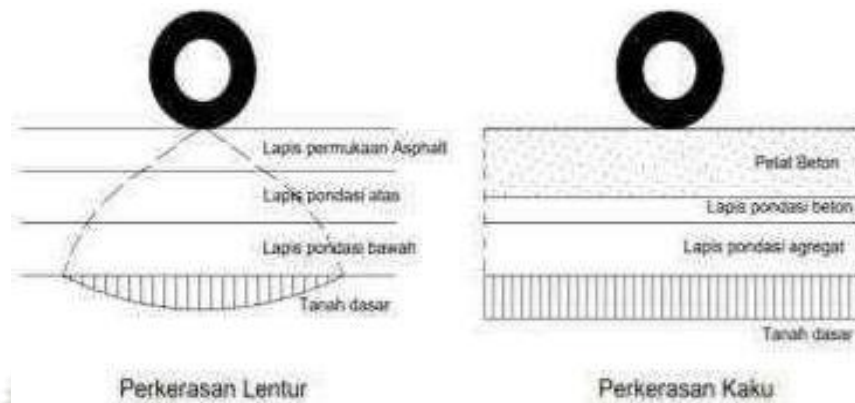


Gambar 2. 2 Ilustrasi Perkerasan Lentur atau *Flexible Pavement*

(Sumber: Hardiyatmo, 2016)

Fungsi perkerasan adalah untuk memberikan struktur yang kuat dalam mendukung beban lalu lintas, untuk memberikan permukaan yang rata bagi pengguna jalan, untuk memberikan kekesatan atau tahanan gelincir di permukaan perkerasan dan mendistribusikan beban kendaraan ke tanah dasar secara memadai, sehingga tanah dasar terlindung dari tekanan yang berlebihan. Perkerasan juga berfungsi untuk melindungi tanah dasar dari pengaruh buruk perubahan cuaca. Dalam tinjauan yang terkait dengan tanah dasar (*subgrade*), struktur perkerasan jalan berfungsi untuk mendistribusikan beban, sehingga melindungi tanah dasar tersebut dari tekanan yang berlebihan dan pengaruh buruk perubahan cuaca.

Penyebaran tekanan pada dua jenis perkerasan dapat dilihat pada gambar 2.3.

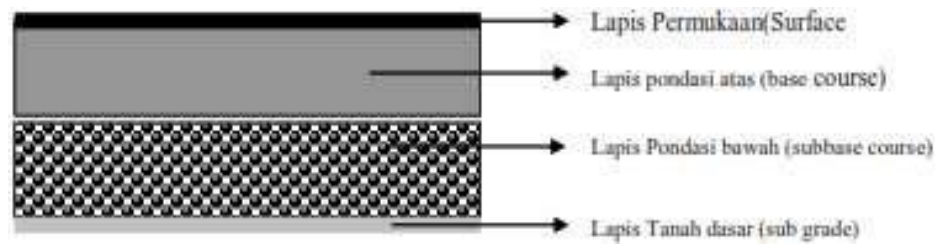


Gambar 2. 3 Penyebaran Tekanan Akibat Beban Roda Kendaraan
pada Perkerasan

(Sumber: Hardiyatmo, 2016)

2.3 Lapisan Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Lapisan perkerasan lentur merupakan salah satu jenis perkerasan jalan yang digunakan untuk mendukung beban kendaraan. Perkerasan jalan terdiri dari beberapa lapisan yang dihamparkan di atas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan-lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban kendaraan dan menyebarkannya ke lapisan yang ada di bawahnya. Beban kendaraan ini dilimpahkan ke perkerasan jalan melalui roda yang berupa beban terbagi rata. Beban tersebut akan diterima oleh lapisan permukaan dan akan disebarkan ke tanah dasar menjadi P_1 yang lebih kecil dari daya dukung tanah dasar seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.4



Gambar 2. 4 Lapisan Perkerasan Lentur

(Sumber: MDP No. 03/M/BM/2024)

Perkerasan lentur terdiri dari beberapa lapisan yang memiliki fungsi spesifik.

Berikut merupakan komponen utama dari lapisan perkerasan lentur:

1. Lapisan Permukaan (*Surface Course*)

Lapisan permukaan adalah bagian perkerasan jalan yang paling atas. Lapisan tersebut berfungsi sebagai berikut:

- a. Lapis perkerasan penahan beban roda yang mempunyai stabilitas tinggi untuk menahan beban roda selama masa pelayanan.
- b. Lapisan kedap air, air hujan yang jatuh di atasnya tidak meresap ke lapisan bawah dan melemahkan lapisan-lapisan tersebut.
- c. Lapis aus, lapisan yang berfungsi untuk menahan gesekan dari beban lalu lintas dan cuaca serta memberikan permukaan yang aman dan nyaman bagi pengendara.

2. Lapis Pondasi Atas (*Base Course*)

Terdiri dari campuran agregat dengan pengikat yang telah dipadatkan dan diletakkan di atas lapisan pondasi bawah yang berfungsi sebagai bagian perkerasan yang meneruskan dan menyebarkan beban kebagian konstruksi

jalan di bawahnya serta tempat meletakkan lapisan permukaan.

3. Lapis pondasi bawah (*Sub-base Course*)

Lapis pondasi bawah merupakan lapis perkerasan yang terletak antara tanah dasar dengan lapis pondasi atas. Fungsi lapis pondasi bawah (*Sub Base*) adalah:

- a. Menyebarkan beban ke tanah dasar
- b. Efisiensi penggunaan material
- c. Lapis peresapan bagi tanah dasar (*Subgrade*)
- d. Sebagai lapis pertama yang berfungsi agar kendaraan proyek bisa lewat
- e. Mencegah partikel-partikel halus dari tanah dasar naik ke pondasi atas.

Jenis lapis pondasi bawah yang sering digunakan adalah:

1. Agregat bergradasi baik:
 - a. Sirtu/Pitrun kelas A
 - b. Sirtu/Pitrun kelas B
 - c. Sirtu/Pirtun kelas C
2. Stabilisasi agregat antara lain *lime treated base* dan *cement treated base*.
3. Stabilisasi tanah dengan semen (*Soil Cement Stabilisation*) dan stabilisasi tanah dengan kapur (*soil lime stabilization*).

4. Lapisan Tanah Dasar (*Sub Grade*)

Lapis tanah dasar adalah lapisan tanah setebal 50 cm sampai dengan 100 cm di bawah lapis pondasi bawah yang dipadatkan. Lapisan tanah dasar tersebut

bisa berupa:

- a. Tanah asli yang dipadatkan
- b. Tanah yang didatangkan dari tempat lain dan dipadatkan
- c. Tanah yang distabilisasi, bisa berupa tanah asli bisa juga tanah dari tempat lain.

2.4 Volume Lalu Lintas

Volume lalu lintas adalah jumlah kendaraan yang melintasi suatu titik pengamatan dalam satu satuan waktu. Volume lalu lintas yang tinggi membutuhkan perkerasan jalan yang lebih lebar, untuk memberikan rasa aman dan nyaman bagi pemakai jalan. tetapi jalan yang terlalu lebar untuk volume lalu lintas yang rendah cenderung membahayakan, karena pengemudi cenderung mengemudikan kendaraannya dengan kecepatan yang lebih tinggi yang belum tentu dimungkinkan oleh kondisi jalan yang ada. Disamping itu akan meningkatkan biaya pembuatan jalan.

Lalu lintas harian rata-rata adalah volume lalu lintas rata-rata dalam satu hari. Dari cara memperoleh datanya, lalu lintas harian rata-rata dibedakan atas lalu lintas harian rata-rata tahunan (LHRT) dan lalu lintas harian rata-rata (LHR). LHRT adalah volume lalu lintas rata-rata yang melewati satu jalur jalan selama 24 jam dan diperoleh dari data selama satu tahun penuh.

$$\text{LHRT} = \frac{\text{Jumlah lalu lintas dalam 1 tahun}}{365}$$

LHRT dinyatakan dalam smp/hari/2 arah untuk jalan 2 lajur 2 arah atau

smp/hari/1 arah untuk jalan berlajur banyak dengan median. Untuk dapat menghitung LHRT, harus tersedia data volume kendaraan yang terus menerus selama 1 tahun penuh. Mengingat akan biaya yang diperlukan, dan membandingkan dengan ketelitian yang dicapai serta tidak semua tempat di Indonesia mempunyai data lalu lintas selama 1 tahun, maka dapat dipakai Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR). LHR adalah hasil bagi jumlah kendaraan yang diperoleh selama pengamatan dengan lamanya pengamatan.

$$\text{LHR} = \frac{\text{Jumlah lalu lintas selama pengamatan}}{\text{Lamanya pengamatan}}$$

Data LHR ini cukup teliti jika:

1. Pengamatan dilakukan pada interval-interval waktu yang cukup menggambarkan fluktuasi arus lalu lintas selama 1 tahun
2. Hasil LHR yang dipergunakan adalah harga rata-rata dari beberapa perhitungan LHR.

2.5 Kapasitas Jalan

Kapasitas jalan adalah istilah yang digunakan dalam rekayasa lalu lintas untuk menggambarkan lebar suatu jalan dan kemampuan jalan untuk menampung aktivitas kendaraan. Kapasitas jalan merupakan indikator penting dalam merencanakan, mendesain, dan mengelola sistem transportasi karena berhubungan langsung dengan kelancaran arus lalu lintas, keselamatan pengguna jalan, dan efisiensi penggunaan infrastruktur transportasi.

2.5.1 Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Kapasitas Jalan

1. Lebar Jalan

Semakin lebar jalan, kapasitasnya cenderung semakin tinggi. Lebar jalur yang memadai memungkinkan lebih banyak kendaraan untuk bergerak bersamaan tanpa terjadi kemacetan. Jalan dengan banyak lajur memiliki kapasitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan jalan satu lajur.

2. Tipe Kendaraan

Kapasitas jalan juga dipengaruhi oleh tipe kendaraan yang melaluinya. Kendaraan berat seperti truk dan bus cenderung membutuhkan lebih banyak ruang dan waktu untuk bergerak, sehingga mempengaruhi kapasitas jalan secara keseluruhan. Sebaliknya, kendaraan ringan seperti mobil pribadi tidak mempengaruhi kapasitas jalan sebanyak kendaraan berat.

3. Kondisi Jalan

Kondisi permukaan jalan, seperti jalan mulus atau bergelombang, dapat mempengaruhi kecepatan kendaraan, yang pada gilirannya mempengaruhi kapasitas jalan. Jalan yang dalam kondisi buruk atau terdapat banyak lubang akan memperlambat laju kendaraan dan menurunkan kapasitas.

4. Kecepatan Kendaraan

Kapasitas jalan sangat bergantung pada kecepatan kendaraan yang melintasinya. Kecepatan rendah akan mengurangi jumlah kendaraan yang dapat melewati suatu jalan dalam waktu tertentu. Misalnya, di jalan dengan

batas kecepatan rendah atau di jalan dengan banyak persimpangan, kapasitasnya akan lebih rendah dibandingkan dengan jalan lurus dengan batas kecepatan tinggi.

5. Jenis Jalan dan Fasilitas Lainnya

Jalan utama, jalan tol, dan jalan lokal memiliki kapasitas yang berbeda. Jalan tol biasanya memiliki kapasitas lebih tinggi karena jalurnya lebih banyak, persimpangannya lebih sedikit, dan kendaraannya cenderung lebih cepat bergerak. Sebaliknya, jalan lokal dengan banyak persimpangan dan akses keluar masuk cenderung memiliki kapasitas yang lebih rendah.

6. Persimpangan dan Rambu Lalu Lintas

Keberadaan persimpangan, lampu lalu lintas, atau zebra cross yang sering mengatur arus lalu lintas juga akan mempengaruhi kapasitas jalan. Persimpangan yang ramai atau pengaturan yang tidak efisien dapat menurunkan kapasitas karena kendaraan harus berhenti dan menunggu giliran, mengurangi waktu kendaraan bergerak.

7. Volume Lalu Lintas

Jika volume lalu lintas melebihi kapasitas jalan, maka kemacetan akan terjadi. Volume lalu lintas yang tinggi dapat menyebabkan arus lalu lintas melambat dan memperkecil kapasitas efektif jalan tersebut.

2.5.2 Peran Kapasitas Jalan dalam Perencanaan Transportasi

Dalam perencanaan dan desain jalan, kapasitas jalan adalah parameter yang sangat penting untuk memastikan kelancaran arus lalu lintas dan kenyamanan

pengguna jalan. Menghitung kapasitas jalan dengan tepat memungkinkan pengelola transportasi untuk:

1. Menentukan kebutuhan pembangunan atau perluasan jalan.
2. Mengatur pembatasan kecepatan dan perbaikan infrastruktur yang diperlukan.
3. Memprediksi dan mengelola volume lalu lintas dengan lebih baik, terutama di wilayah dengan tingkat kemacetan tinggi.

2.6 Faktor – Faktor Yang Mempengaruhi Fungsi Pelayanan Konstruksi

Perkerasan Jalan

Lapisan perkerasan berfungsi untuk menerima dan menyebarkan beban lalu lintas tanpa menimbulkan kerusakan yang berarti pada konstruksi jalan itu sendiri. Dengan demikian memberikan kenyamanan kepada si pengemudi selama masa pelayanan jalan tersebut. Untuk itu dalam perencanaan perlulah pertimbangan–pertimbangan seluruh faktor yang dapat mempengaruhi fungsi pelayanan konstruksi perkerasan jalan seperti:

1. Kinerja perkerasan (*Pavement performance*).
2. Lalu lintas yang merupakan beban dari perkerasan.
3. Sifat tanah dasar.
4. Kondisi lingkungan.
5. Sifat dan banyak material tersedia di lokasi, yang akan dipergunakan sebagai bahan lapisan perkerasan.

6. Bentuk geometrik lapisan perkerasan.

2.6.1 Kinerja Perkerasan Jalan (*Pavement Performance*)

Kinerja perkerasan jalan (*Pavement performance*) meliputi tiga hal yaitu:

1. Keamanan, yang ditentukan oleh besarnya gesekan akibat adanya kontak antara ban dan permukaan jalan. Besarnya gaya gesek yang terjadi dipengaruhi oleh bentuk dan kondisi ban, tekstur permukaan jalan, kondisi jalan dan lain sebagainya.
2. Wujud perkerasan (Struktural perkerasan), sehubungan dengan kondisi fisik dari jalan tersebut seperti ada retak– retak, amblas, alur, gelombang dan lain sebagainya.
3. Fungsi pelayanan jalan (*functional performance*), sehubungan dengan bagaimana perkerasan tersebut memberikan pelayanan kepada pemakaian jalan. Wujud perkerasan dan fungsi pelayanan umumnya merupakan satu kesatuan yang dapat digambarkan dengan kenyamanan pengemudi (*riding quality*).

2.6.2 Lalu Lintas

Tebal lapisan perkerasan jalan ditentukan dari beban yang akan dipikul, berarti dari arus lalu lintas yang hendak memakai jalan tersebut. Besarnya arus lalu lintas dapat diperoleh dari:

1. Analisa lalu lintas saat ini, sehingga diperoleh data mengenai jumlah kendaraan yang hendak memakai jalan, jenis kendaraan yang hendak memakai jalan, konfigurasi sumbu dari setiap jenis kendaraan, beban masing – masing

sumbu kendaraan. Pada perencanaan jalan baru perkiraan volume lalu lintas di tentukan dengan menggunakan hasil survey volume lalu lintas didekat jalan tersebut dan analisa pola lalu lintas di sekitar lokasi jalan.

2. Perkiraan faktor pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana, antara lain berdasarkan atas analisa ekonomi dan sosial daerah tersebut.

Di Negara berkembang seperti Indonesia, analisa lalu lintas yang dapat menunjang data perencanaan dengan ketelitian yang memadai sukar dilakukan, karena kurangnya data yang dibutuhkan, sukar memperkirakan perkembangan yang akan datang karen belum adanya rancangan induk di sebagian besar wilayah Indonesia. Hal ini dapat diatasi dengan melakukan konstruksi bertahap (*stage construction*) dimana lapisan perkerasan sampai dengan lapisan pondasi atas dilaksanakan sesuai kebutuhan untuk umur rencana yang lebih panjang, biasanya 20 tahun, tetapi lapisan permukaannya dilaksanakan sesuai kebutuhan umur rencana tahap pertama.

2.6.3 Sifat Tanah Dasar

Subgrade atau lapisan tanah dasar merupakan lapisan tanah yang paling atas, diatas mana diletakkan lapisan material yang nlebih baik. Sifat tanah dasar ini mempengaruhi ketahanan lapisan diatasnya dan mutu jalan secara keseluruhan. Banyak metode yang dipergunakan untuk menentukan daya dukung tanah dasar, dari cara yang sederhana sampai ke cara yang rumitseperti CBR (*California Bearing Ratio*), MR (*Resilient Modolus*), DCP (*Dynamic Cone Penetration*), K (modulus reksi tanah dasar). Di Indonesia daya dukung tanah dasar untuk kebutuhan perencanaan tebal perkerasan ditentukan dengan mempergunakan

pemeriksaan CBR. CBR diperoleh dari pemeriksaan contoh tanah yang telah disiapkan dilaboratorium atau langsung dilapangan.

	Rumus :			
	$CBR = 10 ^ { (1.352 - 1.25 * \text{Log SPP})}$			

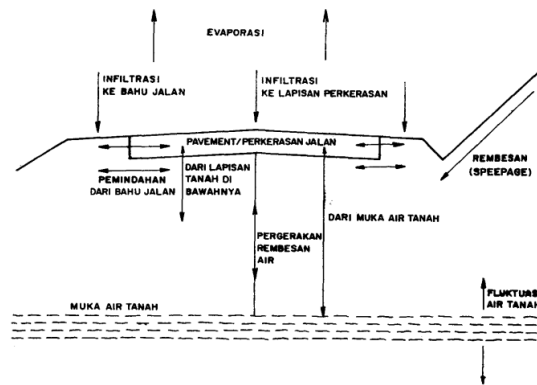
Rumus perhitungan CBR dapat di lihat pada perhitungan di atas.

2.6.4 Kondisi Lingkungan

Kondisi lingkungan dimana kondisi jalan tersebut berada mempengaruhi lapisan perkerasan jalan dan tanah dasar antara lain berpengaruh terhadap sifat teknis konstruksi perkerasan dan sifat komponen material lapis perkerasan, pelapukan bahan material, mempengaruhi penurunan tingkat kenyamanan dari perkerasan jalan. Faktor utama yang mempengaruhi konstruksi perkerasan jalan ialah air yang berasal dari hujan dan pengaruh temperature akibat perubahan cuaca.

Adanya aliran air disekitar badan jalan dapat mengakibatkan rembesan air ke badan jalan, yang dapat menyebabkan ikatan antara butir-butir agregat dan aspal lepas sehingga lapisan perkerasan tidak lagi kedap air dan rusak, perubahan kadar air mempengaruhi sifat daya dukung tanah dasar.

UNMAS DENPASAR



Gambar 2. 5 Pergerakan air di badan jalan

Sumber: Sukirman (1999)

Dengan demikian kondisi yang terbaik yaitu dapat memelihara kadar air dalam keadaan seimbang. Hal ini dapat dilakukan dengan:

1. Membuat drainase di tempat yang diperlukan.
2. Bahu jalan dipilih material yang cepat mengalirkan air, ditempat tertentu dibuat dari lapisan kedap air.
3. Tanah dasar dipadatkan pada keadaan kadar air optimum sehingga dicapai kepadatan yang baik.
4. Menggunakan tanah dasar yang distabilisasi.
5. Menggunakan lapisan permukaan yang kedap air.
6. Lapisan perkerasan dibuat lebih lebar dari lebar yang dibutuhkan.

2.6.5 Perubahan Temperatur

Perubahan temperatur di Indonesia dapat terjadi karena perubahan musim dari musim hujan ke musim kemarau atau karena pergantian siang dan malam, tetapi perubahan yang terjadi tidak sebesar di daerah 4 musim.

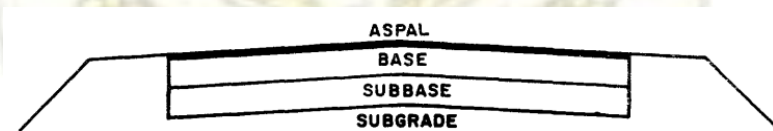
2.6.6 Sifat Material Lapisan Perkerasan

Perencanaan tebal lapisan perkerasan ditentukan juga dari jenis lapisan perkerasan. Hal ini ditentukan dari tersedianya material dilokasi dan mutu material tersebut.

2.6.7 Bentuk Geometrik Lapisan Perkerasan

Bentuk geometrik lapisan perkerasan mempengaruhi cepat atau lambatnya aliran air meninggalkan lapisan permukaan jalan. Pada umumnya dapat dibedakan:

1. Konstruksi berbentuk kotak (*boxed construction*)

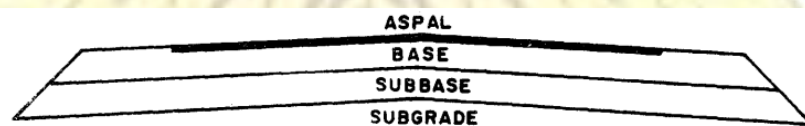


Gambar 2. 6 Lapisan perkersaan berbentuk kotak

Sumber: Sukirman (1999)

Lapisan perkerasan diletakkan didalam lapisan tanah dasar. Kerugian dari jenis tanah ini ialah air yang jatuh diatas permukaan perkerasan dan masuk melalui lubang-lubang pada perkerasan, lambat keluar karena tertahan oleh tanah dasar.

2. Konstruksi penuh sebadan jalan (*full width construction*)



Gambar 2. 7 Lapisan perkersaan selebar badan jalan

Sumber: Sukirman (1999)

Lapisan perkerasan diletakkan diatas tanah dasar pada seluruh badan jalan. Keuntungannya, air yang jatuh dapaat segera dialirkan keluar lapisan perkerasan.

2.7 Jenis Kerusakan Permukaan Jalan dan Pemeliharaannya

Penanganan konstruksi perkerasan apakah itu bersifat pemeliharaan, penunjang, peningkatan, ataupun rehabilitasi dapat dilakukan dengan baik setelah kerusakan–kerusakan yang timbul pada perkerasan tersebut dievaluasi mengenai penyebab dan akibat mengenai kerusakan tersebut. Besarnya pengaruh suatu kerusakan dan langkah penanganan selanjutnya sangat tergantung dari evaluasi yang dilakukan oleh sipengamat, oleh karena itu sipengamat haruslah orang yang benar–benar menguasai jenis dan sebab serta tingkat penanganan yang dibutuhkan dari kerusakan–kerusakan yang timbul.

Menurut Manual Pemeliharaan Jalan Nomor: 03/MN/B/1983 yang dikeluarkan oleh Direktorat Jendral Bina Marga, kerusakan jalan dapat dibedakan atas:

1. Retak (*cracking*).

Lebar celah lebih besar atau sama dengan 3 mm. retak disebabkan oleh bahan perkerasan yang kurang baik, pelapukan permukaan, tanah dasar atau bagian perkerasan dibawah lapis permukaan kurang stabil, atau bahan lapis pondasi dalam keadaan jenuh air (air tanah naik). Untuk pemeliharaan dapat dipergunakan lapisan latasir, buras, mengisi celah dengan campuran sepal cair dan pasir dan dilapisi dengan burtu, dan untuk perkerasan yang mengalami retak parah seperti retak selip dapat dilakukan dengan membongkar bagian yang rusak dan menggantinya dengan lapisan yang lebih baik.

2. Distorsi (*distortion*).

Distorsi/perubahan bentuk dapat terjadi akibat lemahnya tanah dasar,

pemadatan yang kurang pada lapisan pondasi, sehingga terjadi tambahan pemadatan akibat beban lalu lintas. Sebelum perbaikan dilakukan sewajarnya ditentukan dahulu jenis dan penyebab distorsi yang terjadi. Dengan demikian dapat ditentukan jenis penanganan yang tepat seperti lapisan yang lama diangkat dan diberi lapisan permukaan yang baru.

3. Cacat permukaan (*disintegration*).

Yang termasuk cacat permukaan ini seperti lubang pada perkerasan, pelepasan butir, dan pengelupasan lapisan permukaan. Cacat permukaan dapat disebabkan oleh campuran lapis permukaan yang jelek, lapis permukaan tipis sehingga ikatan aspal dan agregat mudah lepas akibat pengaruh cuaca, sistem drainase jelek sehingga air meresap dan mengumpul dalam lapis perkerasan. Dapat diperbaiki dengan memberikan lapisan tambahan di atas lapisan permukaan yang cacat setelah lapisan itu dibersihkan dan dikeringkan.

4. Pengausan (*Polished aggregate*).

Permukaan jalan menjadi licin, sehingga membahayakan kendaraan. Pengausan ini terjadi karena agregat berasal dari material yang tidak tahan aus terhadap roda kendaraan, atau agregat yang dipergunakan berbentuk bulat dan licin, tidak berbentuk kubik. Dapat diatasi dengan menutup lapisan dengan latasir, busur, atau latasbusur.

5. Kegemukan (*bleeding or flushing*).

Permukaan jalan menjadi licin. Pada temperatur tinggi aspal menjadi lunak dan akan terjadi jejak roda. Berbahaya bagi kendaraan. Kegemukan dapat disebabkan

pemakaian kadar aspal yang tinggi pada campuran aspal, pemakaian terlalu banyak aspal pada pekerjaan prime coat dan teak coat. Dapat diataasi dengan memaburkan agregat panas dan kemudian dipadatkan, atau lapis aspal diangkat dan kemudian diberi lapisan penutup.

6. Penurunan pada bekas penanaman utilitas (*utility cut depression*).

Penurunan yang terjadi sepanjang bekas penanaman utilitas. Hal ini terjadi karena pemadatan yang tidak memenuhi syarat. Dapat diperbaiki dengan dibongkar kembali dan diganti dengan lapisan yang sesuai.

2.8 Metoda Analisa Komponen SKBI-2.3.26.1987

Metoda Analisa Komponen SKBI-2.3.26.1987 merupakan metoda yang bersumber dari metoda AASHTO'72 dan dimodifikasi sesuai dengan kondisi jalan di Indonesia dan merupakan penyempurnaan dari Buku Pedoman Penentuan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya No. 01/PD/B/1987.

2.8.1 Modifikasi Untuk Kondisi Indonesia.

Indonesia mempergunakan rumus dasar tersebut tetapi telah disesuaikan dengan alam kondisi Indonesia seperti:

1. Indeks Permukaan awal

Lapis permukaan di Indonesia terdiri dari berbagai jenis yang berbeda mutunya satu sama lain. Oleh karena itu IPO tidak dapat dipergunakan hanya satu nilai seperti yang dipergunakan oleh AASHTO.

2. ASSHTO

Mempergunakan 2 nilai untuk IPT yaitu $IPT = 2,0$ dan $2,5$, sedangkan di Indonesia mempergunakan 4 nilai yaitu IPT 1 ; 1,5 ; 2 dan 2,5 sesuai dengan fungsi jalan dan besarnya lintas ekivalen rencana

3. Faktor Regional

Faktor Regional yang dipergunakan oleh ASSHTO berkembang terutama disebabkan oleh adanya 4 musim di samping faktor-faktor pengaruh lainnya seperti drainase, muka air tanah, kelandaian jalan, dan lain sebagainya. Di Indonesia faktor regional yang membedakan satu jalan dengan jalan lainnya terutama disebabkan oleh kondisi curah hujan, dimana Indonesia memiliki iklim tropis, disamping faktor-faktor yang disebut diatas. nilai faktor regional yang dipergunakan di Indonesia bervariasi antara 0,5 – 4.

4. Nomogram–nomogram yang dipersiapkan AASHTO

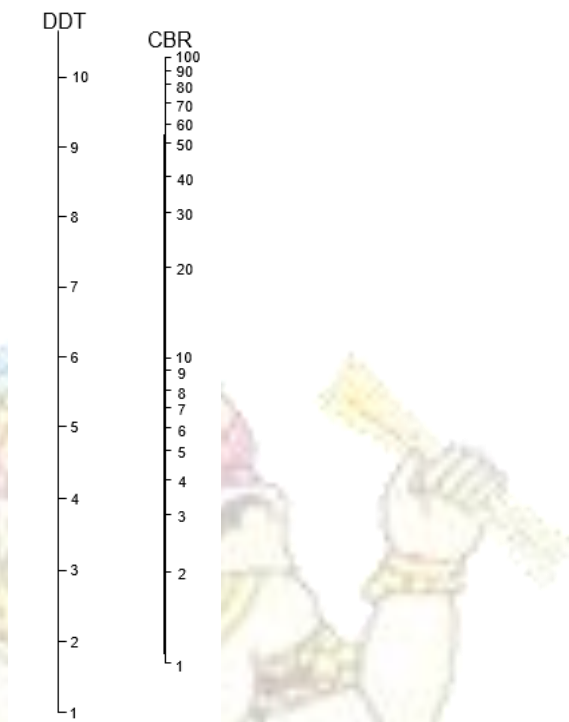
Untuk umur rencana 20 tahun, sedangkan Bina Marga mempersiapkan nomogram untuk umur rencana 10 tahun. Penggunaan nomogram untuk umur rencana yang bukan 10 tahun dapat dilakukan dengan menggunakan faktor penyesuaian ($FP = \text{umur rencana} / 10$).

2.8.2 Daya Dukung Tanah Dasar (DDT) dan CBR

Daya dukung tanah dasar (DDT) ditetapkan berdasarkan grafik korelasi (Gambar 2.10). Yang dimaksud dengan harga CBR disini adalah harga CBR lapangan atau CBR laboratorium. Jika digunakan CBR lapangan maka pengambilan contoh tanah dasar dilakukan dengan tabung (*undisturb*), kemudian

direndam dan diperiksa harga CBR-nya. Dapat juga mengukur langsung di lapangan (musim hujan/direndam). CBR lapangan biasanya digunakan untuk perencanaan lapis tambahan (*overlay*). Jika dilakukan menurut Pengujian Kepadatan Ringan (SKBI 3.3. 30.1987/UDC 624.131.43 (02) atau Pengujian Kepadatan Berat (SKBI 3.3. 30.1987/UDC 624.131.53 (02) sesuai dengan kebutuhan. CBR laboratorium biasanya dipakai untuk perencanaan pembangunan jalan baru. Sementara ini dianjurkan untuk mendasarkan daya dukung tanah dasar hanya kepada pengukuran nilai CBR. Cara-cara lain hanya digunakan bila telah disertai data-data yang dapat dipertanggungjawabkan. Cara-cara lain tersebut dapat berupa: *Group Index*, *Plate Bearing Test* atau *R-value*. Harga yang mewakili dari sejumlah harga CBR yang dilaporkan, ditentukan sebagai berikut:

1. Tentukan harga CBR terendah.
2. Tentukan berapa banyak harga dari masing-masing nilai CBR yang sama dan lebih besar dari masing-masing nilai CBR.
3. Angka jumlah terbanyak dinyatakan sebagai 100%. Jumlah lainnya merupakan persentase dari 100%.
4. Dibuat grafik hubungan antara harga CBR dan persentase jumlah tadi.
5. Nilai CBR yang mewakili adalah yang didapat dari angka persentase 90%.



Gambar 2. 8 Korelasi DDT dan CBR
(Sumber: Dep. PU (1987))

Catatan: Hubungan nilai CBR dengan garis mendatar sebelah kiri diperoleh nilai DDT.

2.8.3 Faktor Regional (FR)

Keadaan lapangan mencakup permeabilitas tanah, perlengkapan drainase, bentuk alinyemen serta persentase kendaraan dengan berat 13 ton, dan kendaraan yang berhenti, sedangkan keadaan iklim mencakup curah hujan rata-rata per tahun. Mengingat persyaratan penggunaan disesuaikan dengan "Peraturan Pelaksanaan Pembangunan Jalan Raya" edisi terakhir, maka pengaruh keadaan lapangan yang menyangkut permeabilitas tanah dan perlengkapan drainase dapat dianggap sama. Dengan demikian dalam penentuan tebal perkerasan ini, Faktor Regional hanya dipengaruhi oleh bentuk alinyemen (kelandaian dan tikungan).

2.9 Metode Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 03/M/BM/2024

Metode Perencanaan Tebal Perkerasan menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan 2024. Manual Desain Perkerasan Jalan 2024 ini berisi ketentuan teknis untuk pelaksanaan pekerjaan desain perkerasan jalan yang berlaku di lingkungan Direktorat Jenderal Bina Marga, terdiri dari 2 (dua) bagian, yaitu:

1. Bagian I Struktur Perkerasan Baru

Pada bagian ini berisi penetapan umur rencana, pemilihan struktur perkerasan, pengumpulan data dan analisis lalu lintas, pertimbangan drainase, desain fondasi, desain perkerasan, pertimbangan aspek pelaksanaan yang mempengaruhi desain dan diakhiri dengan penyajian urutan prosedur desain.

2. Bagian II Rehabilitasi Perkerasan

Pada bagian ini berisi analisis lalu lintas untuk perkerasan baru dan rehabilitasi, kondisi perkerasan eksisting, drainase perkerasan eksisting, pemilihan struktur perkerasan, desain tebal *overlay*, desain ketebalan pengupasan dan pelapisan ulang (*mill and inlay*), desain rekonstruksi perkerasan, masalah pelaksanaan dan kinerja perkerasan dan diakhiri dengan contoh penggunaan.

2.9.1 Keunggulan dan Kekurangan Metode Manual Desain Perkerasan

Metode Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2024 memiliki keunggulan berupa pendekatan *life cycle cost* yang lebih terperinci, pertimbangan faktor keselamatan dan lingkungan, serta penggunaan metode mekanistik dan analisis beban sumbu aktual. Kekurangannya meliputi potensi biaya yang lebih tinggi karena umur rencana yang panjang, penanganan khusus untuk tanah problematik, dan tantangan

dalam menerapkan teknologi baru seperti CTB karena keterbatasan sumber daya.

2.9.1.1 Keunggulan Metode Manual Desain Perkerasan 2024

1. Pendekatan biaya siklus hidup

Menerapkan analisis *discounted-life-cycle cost* untuk mendapatkan biaya terendah selama umur rencana, dengan mempertimbangkan biaya konstruksi dan pemeliharaan.

2. Fokus pada keselamatan dan lingkungan

Mempertimbangkan faktor keselamatan jalan dan kelestarian lingkungan dalam desain.

Analisis beban sumbu yang lebih realistis: Mempertimbangkan potensi *overload* dan beban sumbu aktual, serta pengaruh temperatur.

3. Pendekatan mekanistik

Menggantikan pendekatan analitis dengan pendekatan mekanistik untuk analisis yang lebih akurat.

4. Keandalan yang lebih tinggi

Menggunakan nilai reliabilitas 90% untuk desain perkerasan baru maupun rehabilitasi.

5. Penajaman detail desain

Detail desain diperbaiki, seperti penanganan tanah problematik dan penentuan tebal lapis tambahan.

2.9.1.2 Kekurangan Metode Manual Desain Perkerasan 2024

1. Potensi biaya awal yang lebih tinggi

Umur rencana yang panjang, terutama untuk lapisan pondasi jalan (40 tahun), bisa memerlukan biaya konstruksi awal yang lebih tinggi.

2. Keterbatasan sumber daya

Penggunaan teknologi baru seperti CTB atau aspal modifikasi mungkin sulit diterapkan di daerah dengan keterbatasan sumber daya dan penyedia.

3. Penanganan tanah problematic

Tanah yang problematik memerlukan analisis geoteknik yang lebih mendalam dan penanganan khusus.

4. Kritik terhadap perhitungan lalu lintas

Metode ini dikritik karena tidak mempertimbangkan batasan rasio volume kapasitas (RPK) dalam perhitungan volume lalu lintas untuk desain.

5. Kesulitan dalam *overlay*

Tidak memungkinkan peningkatan lapisan perkerasan kecuali dengan rekonstruksi menyeluruh, yang sangat berbeda dengan metode sebelumnya yang memungkinkan *overlay* lebih sering.

2.9.2 Data – data yang di butuhkan dalam Metode Manual Desain

Perkerasan

Data yang diperlukan untuk Metode Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2024 mencakup data lalu lintas (LHR, pertumbuhan, jenis kendaraan, konfigurasi

sumbu), data tanah dasar (nilai CBR, data sekunder seperti peta lokasi), dan data primer seperti pengukuran panjang dan lebar jalan serta data teknis spesifik yang berkaitan dengan kondisi proyek. Data ini digunakan untuk menghitung beban lalu lintas rencana, menentukan struktur perkerasan yang sesuai, serta merancang komponen lain seperti drainase dan pondasi.

2.9.3 Tahapan Analisi dengan Metode Manual Desain Perkerasan

Tahapan analisis menggunakan metode MDP 2024 untuk perancangan perkerasan jalan baru meliputi penentuan umur rencana, analisis lalu lintas (termasuk menghitung lalu lintas harian rata-rata/LHR dan *cumulative equivalent standard axle load/CESAL*), pemilihan struktur perkerasan, desain drainase, desain fondasi, desain perkerasan lentur/kaku, hingga pertimbangan masalah pelaksanaan. Proses ini menggunakan pendekatan mekanistik-empiris untuk menghasilkan desain yang akurat, tahan lama, dan efisien.

1. Penentuan Umur Rencana

Tentukan umur rencana untuk jalan yang akan dirancang berdasarkan analisis biaya umur pelayanan (*life-cycle cost*).

2. Analisis Lalu Lintas

- a. Kumpulkan data lalu lintas dan proyeksikan hingga umur rencana, memperhitungkan faktor pertumbuhan lalu lintas.
- b. Hitung nilai *Cumulative Equivalent Standard Axle Load* (CESAL) untuk menentukan total beban selama umur rencana.
- c. Pertimbangkan beban kendaraan faktual dan prosedur pengendalian beban

sumbu.

3. Pemilihan Struktur Perkerasan

Pilih jenis struktur perkerasan (lentur, kaku, atau perkerasan dengan penutup tipis) yang paling sesuai dengan hasil analisis dan kriteria desain.

4. Desain Drainase

Rancang sistem drainase permukaan dan bawah permukaan secara komprehensif. Pertimbangkan drainase untuk mencegah genangan air, terutama pada kondisi galian dan lokasi tertentu.

5. Desain Fondasi

Rancang fondasi jalan dengan prosedur yang rinci, pastikan agregat dapat mengalirkan air dengan baik untuk mencegah kerusakan akibat genangan air.

6. Desain Perkerasan Lentur/Kaku

- a. Rancang ketebalan masing-masing lapis perkerasan (lentur atau kaku) berdasarkan hasil analisis lalu lintas dan nilai kekuatan tanah (CBR).
- b. Lapis *cement treated base* (CTB) dapat dipertimbangkan dan diasumsikan sudah mengalami retak sesuai dengan kebijakan MDP 2024.

7. Pertimbangan Pelaksanaan

Identifikasi dan masukkan masalah pelaksanaan yang dapat mempengaruhi desain perkerasan, seperti kendala pelaksanaan pekerjaan jalan dan kebutuhan pemeliharaan.

2.9.4 Acuan Manual Desain Perkerasan Jalan

Metoda Manual Desaaain Perkerasan Jalan Nomor 03/M/BM/2024 ini mengacu terhadap beberapa pedoman, yaitu:

- a. *M-155 Standard Specification for Granular Material to Control Pumping under Concrete Pavement*, AASHTO (1987).
- b. *Guide for Design of Pavement Structure*, AASHTO (1993).
- c. *Austroads AGPT02-17, Guide to Pavement Technology Part 2: Pavement Structural Design* (2017).
- d. *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third- Point Loading) C-78M*, ASTM (2022).
- e. Metode Pengujian CBR Laboratorium SNI 03-1774-1989, Badan Standardisasi Nasional (1989).
- f. Spesifikasi Agregat Lapis Pondasi Bawah SNI 03-6388-2000, Badan Standardisasi Nasional (2000).
- g. Pedoman Kimpraswil Timbunan Jalan pada Tanah Lunak No: Pt T-09-2002
- h. Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan Beton Semen Pd T-14-2003.
- i. Pedoman Survei Pencacahan Lalu Lintas Pd T-19-2004-B, Departmen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2004).
- j. Panduan Pengujian Kepadatan Ringan untuk Tanah SNI 1742:2008, Badan Standardisasi Nasional (2008).

- k. Metode Pengujian Kepadatan Berat untuk Tanah SNI 1743:2008, Badan Standardisasi Nasional (2008).
- l. Rancangan Tebal Jalan Beton untuk Lalu Lintas Rendah SNI 8457: 2017, Badan Standardisasi Nasional (2017).

2.9.5 Umur Rencana

Umur rencana perkerasan baru dinyatakan pada tabel berikut ini:

Tabel 2. 1 Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR)

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (tahun) ⁽¹⁾
Perkerasan lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir ⁽²⁾ .	20
	Lapis Fondasi jalan	40
	Semua perkerasan untuk lokasi yang tidak dimungkinkan pelapisan ulang (<i>overlay</i>), seperti: jalan perkotaan, <i>underpass</i> , jembatan, dan terowongan	
	Lapis Fondasi Berpengikat Semen, <i>Cement Treated Based</i> (CTB)	
Perkerasan kaku	Lapis fondasi atas, lapis fondasi bawah, lapis beton semen, dan fondasi jalan	
Jalan tanpa penutup	Semua elemen (termasuk fondasi jalan)	10

(Sumber: MDP No. 03/M/BM/2024)

2.9.6 Pemilihan Struktur Perkerasan

Pemilihan jenis perkerasan akan bervariasi berdasarkan volume lalu lintas, umur rencana, dan kondisi fondasi jalan. Batasan pada dibawah tidak mutlak, perencana harus mempertimbangkan biaya terendah selama umur rencana, keterbatasan dan kepraktisan pelaksanaan. Pemilihan alternatif desain berdasarkan manual ini harus didasarkan pada *discounted lifecycle cost* terendah

Tabel 2. 2 Pemilihan Jenis Perkerasan

Struktur Perkerasan	Bagan Desain	ESA5 (juta) dalam 20 tahun				
		0 - 1	1 - 4	4 - 10	>10 - 30	>30
AC modifikasi	3, 3A, 3B	-	-	-	-	2
AC dengan CTB					2	-
AC Modifikasi dengan CTB					-	2
AC dengan lapis fondasi agregat	3, 3A, 3B	-	1, 2	1, 2	2	-
HRS tipis di atas lapis fondasi agregat	4	2	-	-	-	-
Burda atau Burtu dengan lapis fondasi agregat	5	3	3	-	-	-
AC/HRS dengan lapis fondasi <i>Soil Cement</i>	6	2	2	-	-	-
AC/HRS dengan lapis fondasi agregat dan perbaikan tanah dasar (dengan stabilisasi semen)	7	2	2			
Perkerasan kaku dengan lalu lintas berat	8	-	-	-	2	2
Perkerasan kaku dengan lalu lintas rendah	8A	-	-	1, 2	-	-
Perkerasan tanpa penutup (Japat dan jalan kerikil)	9	1	-	-	-	-

(Sumber: MDP No. 03/M/BM/2024)

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.

a. Sumber Daya Setempat dan Nilai Pekerjaan

Sumber daya setempat dan nilai pekerjaan akan menentukan pilihan jenis perkerasan. Kontraktor lokal pada umumnya mempunyai sumber daya

setempat yang terbatas sehingga mungkin hanya mampu menangani jenis dan kelas pekerjaan yang terbatas pula. Pekerjaan kecil mungkin tidak akan diminati oleh kontraktor besar. Dengan demikian, penanganan perkerasan yang sederhana dapat dikerjakan oleh kontraktor kecil. Sedangkan penanganan perkerasan yang kompleks dikerjakan oleh kontraktor besar.

b. Perkerasan Beton Aspal dengan Lapisan Fondasi Agregat

Perkerasan aspal beton dengan lapis pondasi agregat semen (CTB) cenderung lebih murah daripada dengan lapis fondasi agregat untuk beban sumbu lebih dari 10 juta ESA5, namun kontraktor yang memiliki sumber daya untuk melakukan CTB terbatas

c. Perkerasan Beton Aspal dengan aspal Modifikasi

Aspal modifikasi direkomendasikan digunakan untuk lapisan aus (AC-WC) dan Lapis antara (AC-BC) pada jalan dengan repetisi beban lalu lintas > 30 juta ESA5. Tujuan menggunakan aspal modifikasi adalah untuk memperpanjang umur pelayanan, umur fatigue dan ketahanan deformasi lapis permukaan akibat beban lalu lintas berat.

d. Perkerasan Kaku

Perkerasan kaku dapat digunakan untuk jalan dengan lalu lintas berat > 10 juta ESA4 dan memiliki tanah dasar yang seragam dan bukan pada tanah lunak (bermasalah. Dibutuhkan kecermatan pada desain perkerasan kaku diatas tanah lunak atau Kawasan lainnya yang berpotensi menghasilkan pergerakan struktur yang tidak seragam. Untuk daerah tersebut, perkerasan lentur akan lebih murah

karena perkerasan kaku membutuhkan fondasi lebih tebal dari penulangan.

e. Perkerasan tanpa penutup (jalan kerikil)

Perkerasan tanpa penutup (jalan kerikil) khusus untuk beban lalu lintas rendah ($\leq$ dari 1 juta ESA4). Tipe perkerasan ini dapat juga diterapkan pada konstruksi secara bertahap di daerah yang rendah terhadap penurunan (*settlement*).

f. Pelebaran Jalan

Pada pelebaran jalan, sebaiknya dipilih struktur perkerasan yang sama dengan perkerasan eksisting. Perlu diberikan perhatian khusus agar kemampuan lapisan – lapisan agregat eksisting dan lapisan agregat baru untuk mengalirkan air tidak terganggu.

Pelebaran jalan sebaiknya dijadwalkan bersamaan dengan rencana rekonstruksi. Umur rencana untuk pelebaran termasuk lapis tambah (*overlay*) terjadwalkan mengacu pada tabel 2.1.

g. Konstruksi Pada Lahan Gambut

Konstruksi jalan diatas tanah gambut harus menggunakan perkerasan lentur. Perkerasan kaku tidak sesuai jika digunakan diatas tanah gambut karena masalah keseragaman daya dukung dan penurunan yang besar. Untuk membatasi dampak penurunan yang tidak seragam dianjurkan untuk menggunakan konstruksi bertahap dan penanganan khusus.

h. Pelaburan (*surface Dressing*) di Atas Pondasi Agregat

Burda atau Burtu (*surface dressing*) sangat tepat biaya jika dilaksanakan

dengan tepat mutu. Namun masih sedikit kontraktor yang mampu dan memiliki sumber daya peralatan untuk melaksanakan pelaburan permukaan perkerasan dengan benar. Dibutuhkan peningkatan kapasitas dan kompetensi kontraktor untuk dapat menerapkan teknologi irit secara andal.

i. HRS-WC Tebal 50 mm di Atas Lapis Fondasi Agregat

HRS-WC tebal 50 mm di atas Lapis Fondasi Berbutir merupakan solusi yang tepat biaya untuk jalan baru atau rekonstruksi dengan beban lalu lintas rendah (< 1 juta ESA5) tetapi membutuhkan kualitas konstruksi yang tinggi khususnya untuk LFA Kelas A, solusi ini kurang efektif dari segi biaya namun jumlah kontraktor yang kompeten melaksanakannya lebih banyak daripada pilihan Subbab 3.8.

j. Lapis Fondasi *Soil Cement*

Soil cement dapat digunakan di daerah dengan keterbatasan material berbutir atau kerikil, atau jika biaya stabilisasi tanah lebih menguntungkan. Batasan tebal lapisan yang diuraikan di dalam bagan desain dan batasan kadar semen diperlukan untuk membatasi retak. Selain itu keberhasilan dengan penggunaan teknologi soil cement tidak terlepas dari pelaksanaan perawatan yang disiplin.

k. Perkerasan Aspal Beton dengan *Cement Treated Base* (CTB)

Untuk jalan yang melayani lalu lintas sedang dan berat dapat dipilih lapis fondasi agregat semen (CTB) karena dapat menghemat secara signifikan dibandingkan dengan lapis fondasi agregat. Biaya perkerasan dengan lapis fondasi CTB pada umumnya lebih murah daripada perkerasan beraspal

konvensional dengan lapis fondasi agregat untuk beban rencana > 10 juta ESA5, tergantung padat harga setempat dan kemampuan kontraktor. CTB dapat menghemat penggunaan aspal dan material berbutir, dan kurang sensitif terhadap air dibandingkan dengan lapis fondasi agregat.

Kendaraan bermuatan berlebihan merupakan kondisi nyata yang harus diantisipasi. Beban yang demikian dapat menyebabkan keretakan sangat dini pada lapis CTB. Oleh sebab itu desain CTB hanya didasarkan pada nilai modulus kekakuan CTB (*stiffness modulus*) pada tahap post fatigue cracking tanpa mempertimbangkan umur *pre-fatigue cracking*.

Konstruksi CTB membutuhkan kontraktor yang kompeten dengan sumber daya peralatan yang memadai. Perkerasan CTB hanya dipilih jika sumber daya yang dibutuhkan tersedia.

Ketebalan lapisan aspal dan CTB yang diuraikan pada Bagan Desain-3 ditetapkan untuk mengurangi risiko retak reflektif dan untuk memudahkan konstruksi.

CTB harus dilaksanakan dalam satu lapisan, tidak boleh dibuat dalam beberapa lapisan

2.9.7 Lalu Lintas

1. Analisis Volume Lalu Lintas

Parameter yang penting dalam analisis struktur perkerasan adalah data lalu lintas yang diperlukan untuk menghitung beban lalu lintas rencana yang dipikul oleh perkerasan selama umur rencana. Beban dihitung dari volume lalu lintas

pada tahun survei yang selanjutnya diproyeksikan ke depan sepanjang umur rencana. Volume tahun pertama adalah volume lalu lintas sepanjang tahun pertama setelah perkerasan diperkirakan selesai dibangun atau direhabilitasi.

Elemen utama beban lalu lintas dalam desain adalah:

- a. Volume lalu lintas untuk setiap kelas kendaraan.
- b. Beban gandar kendaraan niaga dinyatakan dalam beban ekuivalen sumbu standar (ESAL).

Analisis volume lalu lintas didasarkan pada survei yang diperoleh dari:

- a. Survei lalu lintas, dengan durasi minimal 7 x 24 jam¹. Survei dapat dilakukan secara manual mengacu pada Pedoman Survei Pencacahan Lalu Lintas (Pd T-19-2004-B) atau mengacu pada pedoman yang terbaru atau survei menggunakan peralatan dengan pendekatan yang sama.
- b. Hasil-hasil survei lalu lintas sebelumnya.
- c. Nilai perkiraan dari Subbab 4.9 untuk jalan dengan lalu lintas rendah.

Dalam analisis lalu lintas, penentuan volume lalu lintas pada jam sibuk dan Lalu Lintas Harian Rata-rata Tahunan (LHRT) mengacu pada Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI). Penentuan nilai LHRT didasarkan pada data survei volume lalu lintas dengan mempertimbangkan faktor k.

Perkiraan volume lalu lintas harus dilaksanakan secara realistis. Rekayasa data lalu lintas untuk meningkatkan justifikasi ekonomi tidak boleh dilakukan untuk kepentingan apapun. Jika terdapat keraguan terhadap data lalu lintas maka

perencana teknis harus membuat survei cepat secara independen untuk memverifikasi data tersebut.

2. Data lalu lintas

Akurasi data lalu lintas penting untuk menghasilkan desain perkerasan yang efektif. Data harus meliputi semua jenis kendaraan komersial.

3. Jenis kendaraan

Sistem klasifikasi kendaraan dinyatakan dalam Pedoman Survei Pencacahan Lalu Lintas (Pd T-19-2004-B). Beban gandar kendaraan penumpang dan kendaraan ringan sampai sedang cukup kecil sehingga tidak berpotensi menimbulkan kerusakan struktural pada perkerasan. Hanya kendaraan niaga dengan jumlah roda enam atau lebih yang perlu diperhitungkan dalam analisis.

4. Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Faktor pertumbuhan lalu lintas berdasarkan data-data pertumbuhan series (*historical growth data*) atau formulasi korelasi dengan faktor pertumbuhan lain yang berlaku. Jika tidak tersedia data maka tabel dibawah dapat digunakan (2015 – 2035).

Tabel 2. 3 Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (i) (%)

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

(Sumber: MDP No. 03/M/BM/2024)

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

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

Dengan R = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif
i = laju pertumbuhan lalu lintas tahunan (%)
UR = umur rencana (tahun)

Apabila diperkirakan akan terjadi perbedaan laju pertumbuhan tahunan sepanjang total umur rencana (UR), dengan $i_1\%$ selama periode awal (UR1 tahun) dan $i_2\%$ selama sisa periode berikutnya (UR – UR1), faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif dapat dihitung dari formula berikut:

$$R = \frac{(1+0,01 i_1)^{UR1}-1}{0,01 i_1} + (1 + 0,01 i_1)^{(UR1-1)}(1 + 0,01 i_2) \left\{ \frac{(1+0,01 i_2)^{(UR-UR1)}-1}{0,01 i_2} \right\} \quad (4.2)$$

Dengan R = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif
 i_1 = laju pertumbuhan tahunan lalu lintas periode 1(%)
 i_2 = laju pertumbuhan tahunan lalu lintas periode 2(%)
UR = total umur rencana (tahun)
UR1 = umur rencana periode 1 (tahun)

Apabila kapasitas lalu lintas diperkirakan tercapai pada tahun ke (Q) dari umur rencana (UR), faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif dihitung sebagai berikut:

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

Analisis lalu lintas harus memperhatikan faktor pengalihan lalu lintas yang didasarkan pada jaringan jalan dan harus memperhitungkan proyeksi peningkatan kapasitas ruas jalan eksisting dan pembangunan ruas jalan baru.

5. Lalu Lintas pada Lajur Rencana

Lajur rencana adalah salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan yang

menampung lalu lintas kendaraan niaga (truk dan bus) paling besar. Beban lalu lintas pada lajur rencana dinyatakan dalam kumulatif beban gandar standar (ESA) dengan memperhitungkan faktor distribusi arah (DD) dan faktor distribusi lajur kendaraan niaga (DL). Untuk jalan dua arah, faktor distribusi arah (DD) umumnya diambil 0,50 kecuali pada lokasi-lokasi yang jumlah kendaraan niaga cenderung lebih tinggi pada satu arah tertentu. Faktor distribusi lajur digunakan untuk menyesuaikan beban kumulatif (ESA) pada jalan dengan dua lajur atau lebih dalam satu arah. Pada jalan yang demikian, walaupun sebagian besar kendaraan niaga akan menggunakan lajur luar, sebagian lainnya akan menggunakan lajur-lajur dalam. Faktor distribusi jalan yang ditunjukkan pada tabel dibawah. Beban desain pada setiap lajur tidak boleh melampaui kapasitas lajur selama umur rencana. Kapasitas lajur mengacu Permen PU No.19/PRT/M/2011 tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan berkaitan rasio antara volume dan kapasitas jalan yang harus dipenuhi.

6. Faktor Ekvivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*)

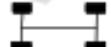
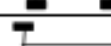
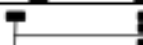
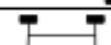
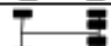
Dalam desain perkerasan, beban lalu lintas dikonversi ke beban standar (ESA) dengan menggunakan Faktor Ekvivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*). Analisis struktur perkerasan dilakukan berdasarkan jumlah kumulatif ESA pada lajur rencana sepanjang umur rencana. Desain yang akurat memerlukan perhitungan beban lalu lintas yang akurat pula. Studi atau survei beban gandar yang dirancang dan dilaksanakan dengan baik merupakan dasar perhitungan ESA yang andal. Oleh sebab itu, survei beban gandar harus dilakukan apabila

dimungkinkan.

7. Beban Sumbu Standar Kumulatif

Beban lalu lintas desain perkerasan kaku didasarkan pada distribusi kelompok sumbu kendaraan niaga (Jumlah Total Sumbu Kendaraan Niaga, JSKN) dan bukan pada nilai ESA. Karakteristik proporsi sumbu dan proporsi beban setiap kelompok sumbu dapat menggunakan data hasil survei jembatan timbang atau mengacu pada LAMPIRAN D yang menunjukkan distribusi beban JSKN per provinsi untuk dapat digunakan dalam perencanaan perkerasan kaku.

Tabel 2. 4 Beban Sumbu Standar Kumulatif

Klasifikasi Kendaraan	Uraian	Konfigurasi Sumbu	Kelompok sumbu	Skema Konfigurasi	
1	Sepeda motor dan kendaraan roda-3				
2	Kendaraan ringan - sedan, jeep, dan station wagon	1.1	2		
3	Kendaraan ringan - angkutan umum sedang	1.1	2		
4	Kendaraan ringan - pick up, micro truck	1.1	2		
5A	Bus kecil	1.1	2		
5B	Bus besar	1.2	2		
6A	Truk 2 sumbu-truk ringan	1.1	2		
6B	Truk 2 sumbu-truk sedang	1.2	2		
7A1	Truk 3 sumbu-berat	1.1.2	2		
7A2	Truk 3 sumbu-berat	1.22	2		

Klasifikasi Kendaraan	Uraian	Konfigurasi Sumbu	Kelompok sumbu	Skema Konfigurasi	Klasifikasi Kendaraan
7A3	Truk 4 sumbu-berat	11.22	2		
7B1	Truk 4 sumbu-berat	1.2+2.2	4		
7B2	Truk 5 sumbu-berat	11.2+2.2	4		
7B3	Truk 5 sumbu-berat	1.22+2.2	4		
7C1	Truk 4 sumbu-berat	1.2-22	3		
7C2A	Truk 5 sumbu-berat	1.22-22	3		
7C2B	Truk 5 sumbu-berat	1.2-222	3		
7C3	Truk 6 sumbu-berat	1.22-222	3		
7C4	Truk 7 sumbu-berat	1.22-2222	3		
8	Kendaraan tak bermotor				

(Sumber: MDP No. 03/M/BM/2024)

8. Beban Sumbu Standar Kumulatif

Beban sumbu standar kumulatif atau *Cumulative Equivalent Single Axle Load* (CESAL) merupakan jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas desain pada lajur desain selama umur rencana, yang ditentukan sebagai berikut:

2.9.8 Desain Pondasi Jalan

Drainase vertikal, pra-pembebanan dan berbagai penanganan lain yang diperlukan untuk membentuk perletakan (*platform*) pendukung struktur perkerasan lentur dan kaku, baik untuk kondisi tanah biasa maupun tanah lainnya yang lazim ditemui di Indonesia. Tiga faktor terpenting di dalam desain perkerasan adalah lalu lintas, tanah dasar dan pengaruh air. Selain itu, pada kasus perkerasan yang harus dibangun di kawasan dengan tanah bermasalah seperti gambut dan tanah lunak, karakteristik tanah bersangkutan merupakan faktor yang sangat penting

karena analisis tanah dasar biasa tidak dapat menghasilkan perkerasan dengan kinerja yang diharapkan. Pada perkerasan dengan lapisan beraspal tipis, kesalahan kecil dalam evaluasi tanah dasar dapat menyebabkan pengurangan masa pelayanan menjadi hanya satu per sepuluh masa pelayanan yang direncanakan. Untuk perkerasan dengan lapis beraspal tebal, walaupun jumlah pengurangan masa pelayanan tidak sebesar itu tetapi pengurangan yang terjadi masih cukup berarti. Oleh sebab itu, penentuan daya dukung tanah dasar secara akurat dan desain fondasi perkerasan merupakan syarat penting untuk menghasilkan perkerasan berkinerja baik.

1. Pengukuran daya dukung dengan DCP (*Dynamic cone penetration test*)

Pengujian daya dukung dengan DCP tidak memberikan hasil dengan tingkat ketelitian yang sama dengan pengujian di laboratorium. Pengujian DCP hanya dilakukan pada kondisi berikut:

- a. Tanah rawa jenuh air sehingga tidak mungkin dapat dipadatkan sehingga pengujian CBR laboratorium menjadi tidak relevan. Dalam hal ini nilai CBR yang diperoleh dari pengujian DCP memberikan nilai yang lebih dapat diandalkan. Pengujian DCP juga digunakan untuk menentukan kedalaman tanah lunak (Lampiran H). Pengujian penetrometer atau piezometer juga dapat digunakan.
- b. Pada kawasan tanah aluvial kering, khususnya daerah persawahan, kemungkinan terdapat lapisan dengan kepadatan rendah (antara 1200 – 1500 kg/m) di bawah permukaan tanah yang kering. Pengujian DCP harus

dilakukan untuk memastikan kondisi faktual terbasah di lapangan dan harus diperhitungkan dalam desain. Untuk keamanan, dalam proses desain harus diasumsikan bahwa lapisan tersebut jenuh selama musim penghujan.

Nilai modulus tanah dasar yang diperoleh dari DCP harus disesuaikan dengan kondisi musim. Faktor penyesuaian minimum ditunjukkan pada Tabel berikut:

Tabel 2. 5 Faktor Penyesuaian Modulus Tanah Dasar Terhadap Kondisi Musim

Musim	Faktor penyesuaian minimum nilai CBR berdasarkan pengujian DCP
Musim hujan dan tanah jenuh	0.90
Masa transisi	0.80
Musim kemarau	0.70

Nilai CBR desain = (CBR hasil pengujian DCP) x faktor penyesuaian.

(Sumber: MDP No. 03/M/BM/2024)

2. Persyaratan Umum Persiapan Tanah Dasar

Tanah dasar perkerasan harus memenuhi kriteria berikut:

- Harus mempunyai nilai CBR rendaman rencana minimum;
- Dibentuk dengan benar, sesuai dengan bentuk geometrik jalan;
- Dipadatkan dengan baik pada ketebalan lapisan sesuai dengan persyaratan;
- Tidak peka terhadap perubahan kadar air;
- Mampu mendukung beban lalu lintas pelaksanaan konstruksi.

Dalam semua kasus, selain yang diuraikan untuk lapis penopang, tingkat kepadatan yang disyaratkan pada timbunan dan tanah dasar harus dicapai.

3. Umur Rencana Fondasi Perkerasan

Umur rencana fondasi untuk jalan baru dan pelebaran minimum 40 tahun dengan pertimbangan sebagai berikut:

- a. Fondasi perkerasan tidak dapat ditingkatkan selama masa pelayanan, kecuali dengan cara rekonstruksi menyeluruh.
- b. Perkerasan lentur dengan desain fondasi di bawah standar mungkin memerlukan perkuatan dengan lapisan aspal tambahan berulang kali selama masa pelayanannya sehingga biaya total perkerasan (*lifecycle cost*) menjadi lebih mahal dibandingkan dengan perkerasan yang didesain dengan baik.
- c. Perkerasan kaku di atas tanah lunak dengan desain fondasi di bawah standar (*under design*) cenderung mengalami keretakan dini yang dalam kasus terburuk mungkin memerlukan penggantian pelat beton.

4. Penurunan

Batasan penurunan timbunan di atas tanah lunak untuk mencegah timbulnya masalah pada perkerasan diuraikan pada table dibawah. Batasan tersebut tidak boleh dilampaui terutama pada perkerasan kaku.

5. CBR Desain Tanah Dasar

Ruas jalan yang didesain harus dikelompokkan berdasarkan kesamaan segmen yang mewakili kondisi tanah dasar yang dapat dianggap seragam (tanpa perbedaan yang signifikan). Pengelompokan awal dapat dilakukan berdasarkan hasil kajian

meja dan penyelidikan lapangan atas dasar kesamaan geologi, pedologi, kondisi drainase dan topografi, serta karakteristik geoteknik (seperti gradasi dan plastisitas). Secara umum disarankan untuk menghindari pemilihan segmen seragam yang terlalu pendek. Jika nilai CBR yang diperoleh sangat bervariasi, pendesain harus membandingkan manfaat dan biaya antara pilihan membuat segmen seragam yang pendek berdasarkan variasi nilai CBR tersebut, atau membuat segmen yang lebih panjang berdasarkan nilai CBR yang lebih konservatif. Hal penting lainnya yang harus diperhatikan adalah perlunya membedakan daya dukung rendah yang bersifat lokal (setempat) dengan daya dukung tanah dasar yang lebih umum (mewakili suatu lokasi). Tanah dasar lokal dengan daya dukung rendah biasanya dibuang dan diganti dengan material yang lebih baik atau ditangani secara khusus.

6. Tanah Ekspansif

Tanah ekspansif adalah tanah dengan potensi mengembang (*swelling*) lebih dari 5% (diukur dengan pengujian CBR rendaman SNI No. 03-1774-1989 pada kadar air optimum dan kepadatan kering 100%). Pada umumnya tanah dengan IP > 70% bersifat ekspansif. Persyaratan tambahan untuk tanah ekspansif adalah sebagai berikut :

- a. Tebal minimum timbunan pilihan seperti dinyatakan di dalam Bagan Desain - 2. Lapisan timbunan pilihan harus mempunyai permeabilitas rendah atau distabilisasi.
- b. Variasi kadar air tanah dasar harus sekecil mungkin. Alternatif pengendaliannya antara lain dengan menutup bahu jalan (*sealed shoulder*),

saluran samping diperkeras, pembuatan saluran melintang (*cut-off drain*) dan pencegah aliran (*flow inhibitors*) seperti pemasangan lembar plastik secara vertikal pada tanah dasar.

- c. Dipasang subdrain jika penggunaan dapat mengurangi variasi kadar air.

7. Lapis Penopang (*Capping Layers*)

Tebal minimum lapis penopang untuk mencapai CBR desain 6% yang digunakan untuk pengembangan Katalog Desain tebal perkerasan. Apabila lapis penopang akan digunakan untuk kendaraan konstruksi mungkin diperlukan lapis penopang yang lebih tebal. Pertimbangan-pertimbangan di bawah ini berlaku dalam pelaksanaan lapis penopang.

a. Persyaratan umum

- Material yang digunakan sebagai lapis penopang harus berupa bahan timbunan pilihan. Jika lapisan tersebut terletak di bawah permukaan air harus digunakan material batuan atau material berbutir. Dalam hal ini harus berupa material berbutir dengan kepekaan terhadap kadar air rendah.
- Dapat berfungsi sebagai lantai kerja yang kokoh sepanjang periode pelaksanaan.
- Tebal minimum 600 mm untuk tanah ekspansif.
- Elevasi permukaan lapis penopang harus memenuhi persyaratan minimum tanah dasar di atas muka air tanah dan muka air banjir)
- Kedalaman alur roda pada lapis penopang akibat lalu lintas selama periode

konstruksi tidak lebih dari 40 mm.

- Mencapai ketebalan tertentu sehingga permukaan lapis penopang dapat dipadatkan dengan menggunakan alat pemadat berat.

b. Metode pemadatan

Lapis penopang harus dipadatkan dengan metode dan mencapai tingkat kepadatan yang ditentukan atau yang disetujui oleh Direksi Pekerjaan. Pada bagian bawah lapis penopang kepadatan yang mungkin dapat dicapai cenderung lebih kecil daripada 95% kepadatan kering maksimum. Pada perkerasan kaku pemadatan maksimum yang mungkin dicapai lapis penopang sangat penting untuk meminimalkan retak akibat perbedaan penurunan lapis penopang setelah pelaksanaan.

Tabel 2. 6 Bagan Desain - 2 Desain Fondasi Jalan Minimum

CBR Tanah Dasar (%)	Kelas Kekuatan Tanah Dasar	Uraian Struktur Fondasi	Perkerasan Lentur		Perkerasan Kaku
			Beban Lalu Lintas Pada Jalur Rencana Dengan Umur Rencana 40 Tahun (Juta ESA5)		
			<10	>10	
			Tebal Minimum Perbaikan Tanah Dasar (mm)		
5	SG5	Perbaikan tanah dengan material timbunan pilihan (CBR $\geq$ 10%)	200	200	200
4	SG4				
3	SG3			400	400
2,5	SG2,5		300	600	600
* Kekuatan tanah dasar < 2,5% atau tanah lunak			Untuk tebal tanah lunak > 1 m harus ditangani dengan penanganan geoteknik, sedangkan untuk ketebalan $\leq$ 1 m dapat diganti tanah timbunan dengan tebal minimum yang sama dengan ketentuan dan berlaku untuk tanah SG2,5 Bagan Desain ini.		
* Tanah ekspansif			Penanganan sesuai dengan kajian geoteknik terhadap besaran potensi pemuaian dengan ketebalan penutup tidak kurang dari 600 mm berupa material dengan potensi pemuaian tidak lebih besar dari 1,5%. Di atas lapis penutup tersebut harus ditambahkan lapis perbaikan SG2,5.		

Catatan:

1) Untuk perkerasan kaku dan perkerasan lentur bila tanah dasarnya masih berbutir halus maka harus dipasang lapisan setebal 200 mm berupa lapisan: timbunan pilihan berbutir kasar yang mempunyai CBR minimum 30% dengan PI 6 – 15 dan ukuran butir maksimum 50 mm atau LFA Kelas C atau dengan lapis stabilisasi semen (UCS 10 kg/cm²).

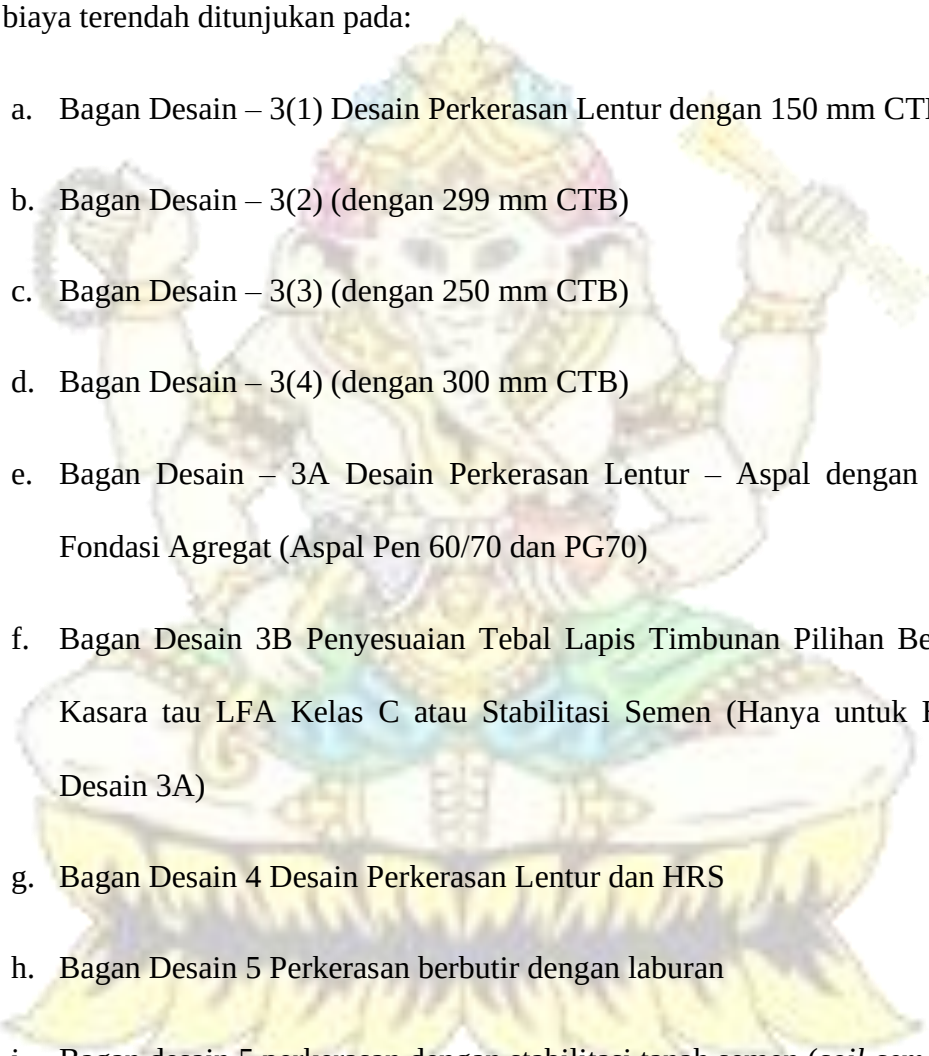
2) Penanganan tanah ekspansif dapat mengacu pada Subbab 6.7 atau mengacu pada Pedoman Konstruksi dan Bangunan PUPR tentang Penanganan Tanah Ekspansif untuk Konstruksi Jalan PdT-10-2005-B, Pedoman Konstruksi dan Bangunan PUPR tentang Penanganan Tanah Ekspansif dengan Geomembran sebagai Penghalang Kelembaban Vertikal PdT-11-2004-B dan Austroads Guide to Pavement Technology Part 4I Pavements Materials AGPT04I-09.

(Sumber: MDP No. 03/M/BM/2024)

2.9.9 Desain Perkerasan Lentur

1. Struktur Perkerasan

Desain perkerasan berdasarkan beban lalu lintas rencana dan pertimbangan biaya terendah ditunjukkan pada:

- 
- a. Bagan Desain – 3(1) Desain Perkerasan Lentur dengan 150 mm CTB
 - b. Bagan Desain – 3(2) (dengan 299 mm CTB)
 - c. Bagan Desain – 3(3) (dengan 250 mm CTB)
 - d. Bagan Desain – 3(4) (dengan 300 mm CTB)
 - e. Bagan Desain – 3A Desain Perkerasan Lentur – Aspal dengan Lapis Fondasi Agregat (Aspal Pen 60/70 dan PG70)
 - f. Bagan Desain 3B Penyesuaian Tebal Lapis Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilitas Semen (Hanya untuk Bagan Desain 3A)
 - g. Bagan Desain 4 Desain Perkerasan Lentur dan HRS
 - h. Bagan Desain 5 Perkerasan berbutir dengan laburan
 - i. Bagan desain 5 perkerasan dengan stabilitasi tanah semen (*soil cement*)

Bagan desain 7 perkerasan dengan *improve subgrade semen* Solusi lain dapat dipilih untuk menyesuaikan dengan kondisi setempat. Namun demikian, disarankan untuk tetap menggunakan bagan tersebut di atas sebagai langkah awal untuk semua desain.

2. Metode Desain Perkerasan Lentur dengan Lapis Beraspal

Basis dari prosedur desain perkerasan lentur dengan campuran beraspal yang digunakan pada manual ini adalah karakteristik mekanik material dan analisis struktur perkerasan secara mekanistik. Metode ini menghubungkan masukan berupa beban roda, struktur perkerasan dan sifat mekanik material, dengan keluaran berupa respons perkerasan terhadap beban roda seperti tegangan, regangan atau lendutan. Respons struktural tersebut digunakan untuk memprediksi kinerja struktur perkerasan dalam hal deformasi permanen dan retak lelah. Karena prediksi tersebut didasarkan pada kinerja material di laboratorium dan pengamatan di lapangan, pendekatan ini disebut juga sebagai metode mekanistik empiris. Keunggulan utama metode desain mekanistik adalah dimungkinkannya analisis pengaruh perubahan masukan desain, seperti perubahan material dan beban lalu lintas, secara cepat dan rasional. Sejumlah kelebihan metode ini dibandingkan dengan metode empiris murni antara lain :

- a. Dapat digunakan secara analitis untuk mengevaluasi perubahan atau variasi beban kendaraan terhadap kinerja perkerasan.
- b. Kinerja perkerasan dengan bahan-bahan baru dapat dievaluasi berdasarkan sifat-sifat mekanik bahan bersangkutan.
- c. Dapat digunakan untuk menganalisis pengaruh perubahan sifat material akibat lingkungan dan iklim terhadap kinerja perkerasan.
- d. Mengevaluasi respons perkerasan terkait dengan moda kerusakan perkerasan secara spesifik (retak lelah dan deformasi permanen).

Secara umum, model struktur perkerasan yang digunakan dalam manual ini adalah struktur multi lapisan yang bersifat elastik linier, isotropik (untuk material berpengikat, *bounded material*) dan anisotropik untuk material tanpa pengikat (*unbounded material*), lapis CTB dianggap telah mengalami retak (kondisi post cracking). Untuk material isotropik dua parameter elastik yang digunakan adalah modulus elastik E dan rasio Poisson. Untuk material cross-anisotropic diperlukan 5 elastik parameter yaitu E_v , E_h , μ_{vh} , μ_{hh} dan modulus geser f . Dengan E_v dan E_h masing-masing adalah modulus dalam arah vertikal dan horizontal. Parameter μ_{vh} dan μ_{hh} masing-masing adalah rasio Poisson dalam arah vertikal akibat horizontal. Atas pertimbangan praktis, rasio Poisson pada kedua arah tersebut di anggap identik. Karakteristik material granular yang non-linear didekati dengan membagi lapis granular dalam beberapa lapisan dengan modulus E yang berbeda. Prosedur yang digunakan didasarkan pada asumsi bahwa dua regangan yang kritis terkait dengan kinerja perkerasan adalah:

- a. Regangan tekan vertikal pada permukaan tanah dasar.
- b. Regangan tarik horizontal pada serat terbawah lapis berpengikat (aspal atau pengikat lain seperti semen).

Regangan tekan vertikal yang terjadi pada permukaan tanah dasar digunakan sebagai kriteria desain untuk mengendalikan akumulasi deformasi permanen. Regangan tarik horizontal pada bagian bawah lapis berpengikat digunakan sebagai kriteria untuk mengendalikan kerusakan akibat lelah pada lapis bersangkutan. Kedua regangan kritis tersebut merupakan fungsi dari sifat-

sifat mekanik tanah dasar dan bahan perkerasan, struktur perkerasan (tebal dan karakteristik material lapisan) dan beban lalu lintas. Model yang menghubungkan nilai regangan dengan jumlah kumulatif izin beban rencana disebut sebagai model kinerja struktural (retak lelah dan deformasi permanen) atau fungsi transfer (*transfer function*). Walaupun metode mekanistik dan data beban lalu lintas yang rinci (dari studi WIM) memungkinkan analisis beban berdasarkan spektrum beban aktual, namun dengan pertimbangan kepraktisan, pada manual ini beban lalu lintas dinyatakan dalam beban ekuivalen standar (ESA). Dengan demikian, regangan-regangan kritikal yang terjadi dihitung berdasarkan beban sumbu standar.

3. Bagan Perkerasan Lentur

Penyusunan Bagan Desain dimaksudkan untuk membantu perencana teknis jalan dalam menentukan struktur perkerasan jalan yang dapat digunakan pada ruas jalan yang akan dibangun. Bagan Desain Struktur Perkerasan Lentur disusun menggunakan karakteristik material sesuai dengan Tabel 7.1, Tabel 7.3, dan Tabel 7.4 dengan faktor reliabilitas 90%. Pemilihan struktur perkerasan berdasarkan bagan desain yang tersedia pada manual ini harus mempertimbangkan biaya terendah selama umur rencana, keterbatasan, dan kepraktisan pelaksanaan. Pemilihan alternatif desain berdasarkan manual ini harus didasarkan pada *discounted lifecycle cost* terendah. Perencana teknis dapat menghitung dan menentukan sendiri struktur perkerasan yang dibutuhkan dengan memperhatikan hal sebagai berikut:

Tabel 2. 7 Bagan Desain - 3 (1) Desain Perkerasan Lentur dengan 150 mm CTB
(aspal pen 60/70 dan PG70)

	STRUKTUR PERKERASAN									
	F(1) 1	F(1) 2	F(1) 3	F(1) 4	F(1) 5	F(1) 6	F(1) 7	F(1) 8	F(1) 9	F(1) 10
	Untuk beban rencana < 30 juta ESA5 menggunakan Aspal Pen 60-70				Untuk beban rencana ≥ 30 juta ESA5 direkomendasikan menggunakan Aspal PG70 ⁽¹⁾					
Beban rencana 20 tahun (10 ⁶ ESA5)	> 1 - 6	> 6 - 10	> 10 - 20	> 20 - 30	> 30 - 40	> 40 - 50	> 50 - 60	> 60 - 100	> 100 - 150	> 150 - 200
Jenis permukaan berpengikat	AC									
Jenis lapis fondasi	Cement Treated Base (CTB)									
	Tebal Perkerasan (mm)									
AC WC	40	40	50	40	40	40	40	50	40	40
AC BC	60	75	50	65	60	60	60	50	60	60
	-	-	-	70	-	-	-	-	-	-
AC Base ⁽²⁾	-	-	-	-	90	100	100	100	75	80
	-	-	-	-	-	-	-	-	75	90
CTB	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Lapis Fondasi Agregat Kelas B	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen ⁽³⁾	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200

(1) Khusus untuk AC Base dengan lalu lintas rencana diatas 30 juta ESA5 dapat tidak menggunakan aspal PG70.
(2) Dapat menggunakan timbunan pilihan butir kasar yang mempunyai CBR minimum 30% dengan P1 6 - 15 dan ukuran butir maksimum 50 mm atau LFA Kelas C atau stabilisasi semen (UCS 10 kg/cm²). Bilamana untuk ketiga jenis material atau alat yang diperlukan untuk stabilisasi tidak bisa terpenuhi, maka lapisan ini dapat diganti menjadi LFA Kelas B dengan tebalnya 200 mm bila harganya sama atau lebih rendah dari ketiga material tersebut.
(3) Khusus untuk AC WC dan AC BC.

(Sumber: MDP No. 03/M/BM/2024)

Tabel 2.8 Bagan Desain - 3 (2) Desain Perkerasan Lentur dengan 200 mm CTB
(aspal pen 60/70 dan PG70)

	STRUKTUR PERKERASAN							
	F(2) 1	F(2) 2	F(2) 3	F(2) 4	F(2) 5	F(2) 6	F(2) 7	F(2) 8
	Untuk beban rencana < 30 juta ESA5 menggunakan Aspal Pen 60-70				Untuk beban rencana ≥ 30 juta ESA5 direkomendasikan menggunakan Aspal PG70 ⁽¹⁾			
Beban rencana 20 tahun (10 ⁶ ESA5)	> 1 - 5	> 5 - 15	> 15 - 30	> 30 - 50	> 50 - 75	> 75 - 95	> 95 - 150	> 150 - 200
Jenis permukaan berpengikat	AC							
Jenis lapis fondasi	Cement Treated Base (CTB)							
	Tebal Perkerasan (mm)							
AC WC	40	50	50	40	40	40	50	40
AC BC	60	70	60	70	60	70	60	60
	-	-	-	70	-	-	-	-
AC Base ⁽²⁾	-	-	-	-	100	100	100	75
	-	-	-	-	-	-	-	75
CTB	200	200	200	200	200	200	200	200
Lapis Fondasi Agregat Kelas B	150	150	150	150	150	150	150	150
Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen ⁽³⁾	200	200	200	200	200	200	200	200

(1) Khusus untuk AC Base dengan lalu lintas rencana diatas 30 juta ESA5 dapat tidak menggunakan aspal PG70.
(2) Dapat menggunakan timbunan pilihan butir kasar yang mempunyai CBR minimum 30% dengan P1 6 - 15 dan ukuran butir maksimum 50 mm atau LFA Kelas C atau stabilisasi semen (UCS 10 kg/cm²). Bilamana untuk ketiga jenis material atau alat yang diperlukan untuk stabilisasi tidak bisa terpenuhi, maka lapisan ini dapat diganti menjadi LFA Kelas B dengan tebalnya 200 mm bila harganya sama atau lebih rendah dari ketiga material tersebut.
(3) Khusus untuk AC WC dan AC BC.

(Sumber: MDP No. 03/M/BM/2024)

Tabel 2.9 Bagan Desain - 3 (3) Desain Perkerasan Lentur dengan 250 mm CTB
(aspal pen 60/70 dan PG70)

	STRUKTUR PERKERASAN						
	F(3) 1	F(3) 2	F(3) 3	F(3) 4	F(3) 5	F(3) 6	F(3) 7
	Untuk beban rencana < 30 juta ESA5 menggunakan Aspal Pen 60-70			Untuk beban rencana ≥ 30 juta ESA5 direkomendasikan menggunakan Aspal PG70 ⁽¹⁾			
Beban rencana 20 tahun (10 ⁶ ESA5)	> 1 - 9	> 9 - 15	> 15 - 30	> 30 - 50	> 50 - 75	> 75 - 110	> 110 - 200
Jenis permukaan berpengikat	AC						
Jenis lapis fondasi	Cement Treated Base (CTB)						
	Tebal Perkerasan (mm)						
AC WC	40	40	50	40	40	40	40
AC BC	60	70	80	60	70	65	80
	-	-	-	70	-	-	-
AC Base ⁽¹⁾	-	-	-	-	50	100	100
	-	-	-	-	-	-	-
CTB	250	250	250	250	250	250	250
Lapis Fondasi Agregat Kelas B	150	150	150	150	150	150	150
Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen ⁽²⁾	200	200	200	200	200	200	200

(1) Khusus untuk AC Base dengan lalu lintas rencana diatas 30 juta ESA5 dapat tidak menggunakan aspal PG70.
(2) Dapat menggunakan timbunan pilihan butir kasar yang mempunyai CBR minimum 30% dengan PI 6 - 15 dan ukuran butir maksimum 50 mm atau LFA Kelas C atau stabilisasi semen (UCS 10 kg/cm²). Bilamana untuk ketiga jenis material atau alat yang diperlukan untuk stabilisasi tidak bisa terpenuhi, maka lapisan ini dapat diganti menjadi LFA Kelas B dengan ketebalan 200 mm bila harganya sama atau lebih rendah dari ketiga material tersebut.
(3) Khusus untuk AC WC dan AC BC.

(Sumber: MDP No. 03/M/BM/2024)

Tabel 2.10 Bagan Desain - 3 (4) Desain Perkerasan Lentur dengan 300 mm CTB
(aspal pen 60/70 dan PG70)

	STRUKTUR PERKERASAN							
	F(4) 1	F(4) 2	F(4) 3	F(4) 4	F(4) 5	F(4) 6	F(4) 7	F(4) 8
	Untuk beban rencana < 30 juta ESA5 menggunakan Aspal Pen 60-70			Untuk beban rencana ≥ 30 juta ESA5 direkomendasikan menggunakan Aspal PG70 ⁽¹⁾				
Beban rencana 20 tahun (10 ⁶ ESA5)	> 1 - 10	> 10 - 17	> 17 - 30	> 30 - 40	> 40 - 60	> 60 - 90	> 90 - 150	> 150 - 200
Jenis permukaan berpengikat	AC							
Jenis lapis fondasi	Cement Treated Base (CTB)							
	Tebal Perkerasan (mm)							
AC WC	40	40	50	50	40	50	50	50
AC BC	60	70	75	80	60	60	60	75
	-	-	-	-	70	-	-	-
AC Base ⁽¹⁾	-	-	-	-	-	50	100	100
	-	-	-	-	-	-	-	-
CTB	300	300	300	300	300	300	300	300
Lapis Fondasi Agregat Kelas B	150	150	150	150	150	150	150	150
Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen ⁽²⁾	200	200	200	200	200	200	200	200

(1) Khusus untuk AC Base dengan lalu lintas rencana diatas 30 juta ESA5 dapat tidak menggunakan aspal PG70.
(2) Dapat menggunakan timbunan pilihan butir kasar yang mempunyai CBR minimum 30% dengan PI 6 - 15 dan ukuran butir maksimum 50 mm atau LFA Kelas C atau stabilisasi semen (UCS 10 kg/cm²). Bilamana untuk ketiga jenis material atau alat yang diperlukan untuk stabilisasi tidak bisa terpenuhi, maka lapisan ini dapat diganti menjadi LFA Kelas B dengan ketebalan 200 mm bila harganya sama atau lebih rendah dari ketiga material tersebut.
(3) Khusus untuk AC WC dan AC BC.

(Sumber: MDP No. 03/M/BM/2024)

Tabel 2.11 Bagan Desain - 3 A Desain Perkerasan Lentur – aspal dengan lapis fondasi agregat (aspal pen 60/70 dan PG70)

STRUKTUR PERKERASAN									
	PPP(1)1	PPP(1)2	PPP(1)3	PPP(1)4	PPP(1)5	PPP(1)6	PPP(1)7	PPP(1)8	PPP(1)9
	Untuk beban rencana < 30 juta ESA5 menggunakan Aspal Pen 60-70					Untuk beban rencana ≥ 30 juta ESA5 direkomendasikan menggunakan Aspal PG70 ⁽¹⁾			
Beban rencana 20 tahun (10 ⁶ ESA5)	< 2	≥ 2 - 5	≥ 5 - 10	≥ 10 - 15	≥ 15 - 30	≥ 30 - 50	≥ 50 - 100	≥ 100 - 150	≥ 150 - 200
Tebal Perkerasan (mm)									
AC WC	60 ⁽²⁾	40	40	40	40	40	40	50	40
AC BC	-	65	75	75	60	60	75	80	60
	-	80	80	-	-	-	-	-	-
AC Base ⁽³⁾	-	-	-	100	80	85	100	100	80
	-	-	-	-	80	100	100	100	80
	-	-	-	-	-	-	-	-	90
Lapis Pondasi Agregat Kelas A ⁽⁴⁾	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Lapis Pondasi Agregat Kelas B	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen ⁽⁵⁾	-	-	200	200	200	200	200	200	200

(1) Khusus untuk AC WC dan AC BC.
 (2) Tumbukan Marshall sebanyak 2 x 50 tumbukan.
 (3) Khusus untuk AC Base dengan laju lintas rencana di atas 30 juta ESA5 dapat tidak menggunakan aspal PG70.
 (4) Untuk perkerasan dengan jumlah lajur lebih dari 2 per arah, tebal lapis fondasi agregat kelas A minimal 300 mm.
 (5) Dapat menggunakan timbunan pilihan butir kasar yang mempunyai CBR minimum 30% dengan PI 6 - 15 dan ukuran butir maksimum 50 mm atau LFA Kelas C atau stabilisasi semen (UCS 10 kg/cm²). Bilamana untuk ketiga jenis material atau alat yang diperlukan untuk stabilisasi tidak bisa terpenuhi, maka lapisan ini dapat diganti menjadi LFA Kelas B dengan ketebalan 200 mm bila harganya sama atau lebih rendah dari ketiga material tersebut.

(Sumber: MDP No. 03/M/BM/2024)

Tabel 2.12 Bagan Desain - 3 B Penyesuaian tebal lapis timbunan pilihan berbutir atau LFA kelas C atau stabilisasi semen (hanya untuk bagan desain 3 A)

beban rencana 20 tahun > 5 juta ESA5		
		Tebal (mm)
Subgrade $6 < \text{CBR} < 10$	Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen	200
Subgrade $10 \leq \text{CBR} < 30$	Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen	150
Subgrade $\text{CBR} \geq 30$	Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen	-

(Sumber: MDP No. 03/M/BM/2024)

Tabel 2.13 Bagan Desain – 4 Desain Perkerasan Lentur dengan HRS

Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (10 ⁶ CESA5)	FF1 < 0,5	0,5 ≤ FF2 ≤ 4,0
Jenis permukaan	HRS atau Penetrasi Makadam	HRS ²
Struktur perkerasan	Tebal lapisan (mm)	
HRS-WC	50	30
HRS-Base	-	35
LFA Kelas A	150	250
LFA Kelas B atau kerikil alam atau lapis distabilisasi dengan CBR > 10% ³	150	150

Catatan:

¹ Bagan Desain-4 merupakan alternatif untuk daerah yang HRS menunjukkan riwayat kinerja yang baik dan daerah yang dapat menyediakan material yang sesuai (gap graded mix).

² HRS tidak sesuai untuk jalan dengan tanjakan curam dan daerah perkotaan dengan beban lebih besar dari 2 juta ESA5.

³ Kerikil alam dengan atau material stabilisasi dengan CBR > 10% dapat merupakan pilihan yang paling ekonomis jika material dan sumberdaya penyedia jasa yang mumpuni tersedia.

(Sumber: MDP No. 03/M/BM/2024)

2.9.10 Desain Perkerasan Kaku

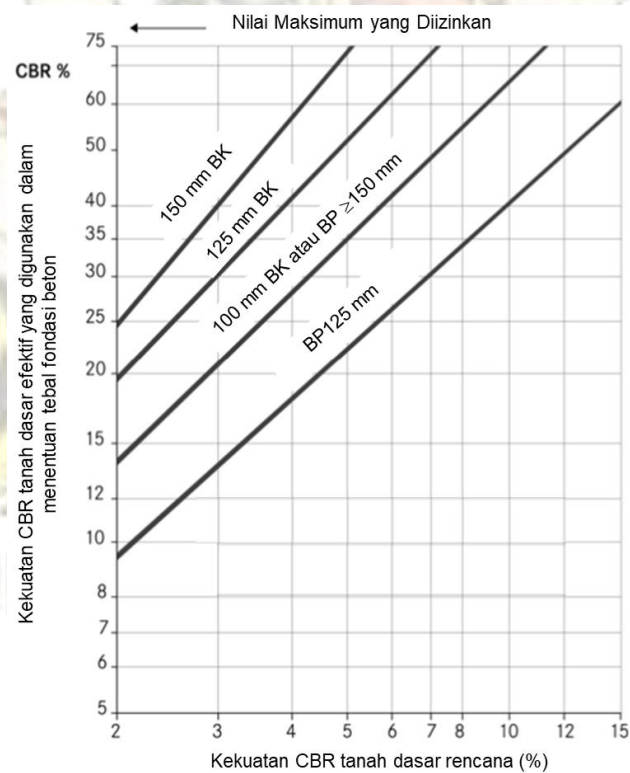
1. Struktur Perkerasan dan Jenis Perkerasan Beton Semen

Perkerasan beton semen dibedakan ke dalam 3 jenis :

- Perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan
- Perkerasan beton semen bersambung dengan tulangan
- Perkerasan beton semen menerus dengan tulangan

2. Persyaratan Teknis

- Tanah dasar
- Fondasi Bawah



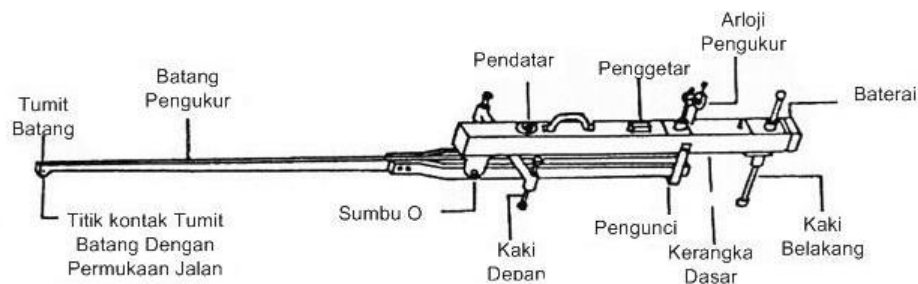
Gambar 2. 9 CBR tanah dasar efektif dan tebal fondasi bawa
(Sumber: MDP No. 03/M/BM/2024)

2.10 *Benkelman Beam* (BB)

Benkelman Beam merupakan alat yang digunakan untuk mengukur besar lendutan langsung dan lendutan balik pada perkerasan jalan, yang secara tidak langsung merepresentasikan kapasitas atau kekuatan struktur perkerasan tersebut. Alat ini memiliki keunggulan karena dapat digunakan tanpa merusak permukaan jalan yang sedang diuji, sehingga sangat efektif dalam kegiatan evaluasi teknis jalan.

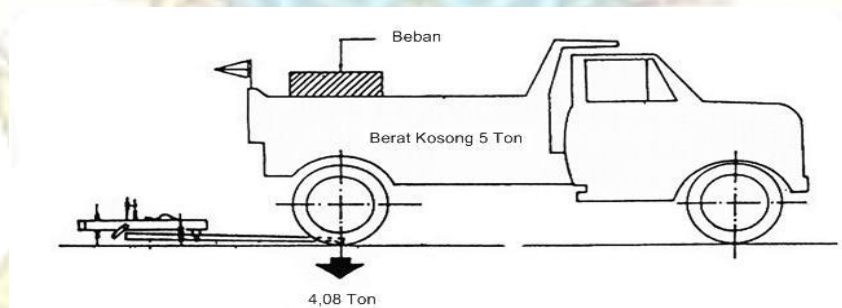
Berdasarkan Pedoman Konstruksi dan Bangunan Pd T-05-2005-B, alat ini dapat digunakan untuk mengukur beberapa parameter penting, antara lain lendutan balik, lendutan titik belok, lendutan maksimum, serta bentuk cekungan lendutan pada perkerasan. Prosedur pengukurannya dilakukan setelah kendaraan penguji (truk) bergerak maju sejauh 6 meter dari titik pengamatan dengan kecepatan sekitar 5 km/jam. Hasil pengukuran lendutan ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti temperatur lingkungan, beban kendaraan, dan muka air tanah saat pengukuran berlangsung.

Benkelman Beam yang umum digunakan di Indonesia terdiri dari dua batang yang dipisahkan oleh titik tumpu (sumbu O), dengan perbandingan panjang 1:2 dan panjang total sekitar $366 \pm 0,16$ cm. Rangkaian alat ditunjukkan pada Gambar 2.11 berikut :



Gambar 2. 10 Rangkaian Alat *Benkelman Beam*
(Sumber: MDP No. 03/M/BM/2024)

Untuk melakukan pengukuran lendutan pada perkerasan jalan, batang *Benkelman Beam* ditempatkan di antara roda belakang kendaraan uji, di mana truk yang digunakan memiliki konfigurasi sumbu belakang dan beban yang sesuai dengan standar sumbu beban kendaraan. Ujung batang pengukur diarahkan ke posisi tepat di bawah titik beban roda, sehingga dapat menangkap perubahan posisi vertikal akibat lendutan yang terjadi pada lapisan perkerasan. Posisi alat *Benkelman Beam* seperti terlihat pada Gambar 2.12 berikut :



Gambar 2. 11 Posisi Alat *Benkelman Beam*
(Sumber: MDP No. 03/M/BM/2024)

Menurut Pedoman Konstruksi dan Bangunan Pd T-05-2005-B, truk yang digunakan sebagai alat pembebanan dalam pengujian lendutan perkerasan jalan dengan *Benkelman Beam* harus memenuhi beberapa persyaratan teknis berikut:

- a. Berat kosong kendaraan berada dalam kisaran $5 \pm 0,1$ ton.
- b. Konfigurasi sumbu belakang harus berupa sumbu tunggal dengan roda ganda.
- c. Beban pada masing-masing roda belakang (roda ganda) adalah sebesar 4,08 $\pm 0,045$ ton, atau setara dengan 9.000 ± 100 pon. Dengan demikian, beban

2.11 Pengertian Manajemen Biaya

Manajemen biaya proyek (*Project Cost Management*) merupakan proses pengendalian terhadap seluruh aspek biaya dalam proyek guna menjamin bahwa pelaksanaan proyek berlangsung sesuai dengan anggaran yang telah ditetapkan sebelumnya. Tujuan utamanya adalah untuk menjaga efisiensi dan efektivitas pengeluaran selama siklus hidup proyek. Beberapa aspek penting yang menjadi fokus dalam manajemen biaya proyek antara lain:

2.11.1 Perencanaan Sumber Daya

Perencanaan sumber daya (*resource planning*) adalah proses yang bertujuan untuk mengidentifikasi kebutuhan sumber daya proyek, baik dalam bentuk tenaga kerja, peralatan, maupun material, serta menentukan jumlah atau volumenya. Proses ini memiliki keterkaitan erat dengan estimasi biaya, karena penetapan kebutuhan sumber daya secara akurat menjadi dasar dalam penyusunan anggaran biaya proyek secara keseluruhan.

2.11.2 Estimasi Biaya

Estimasi biaya merupakan suatu proses sistematis yang dilakukan untuk memperkirakan total biaya yang dibutuhkan dalam rangka menyelesaikan seluruh aktivitas dalam sebuah proyek. Proses ini melibatkan identifikasi dan kualifikasi

terhadap semua sumber daya yang diperlukan, termasuk material, tenaga kerja, peralatan, jasa, serta biaya tidak langsung lainnya yang mungkin timbul selama proyek berlangsung. Tujuan utama dari estimasi biaya adalah untuk memperoleh gambaran yang realistis mengenai besarnya kebutuhan dana, sehingga dapat digunakan sebagai dasar perencanaan dan pengendalian proyek secara efektif.

Dalam pelaksanaan proyek yang berbasis kontrak, penting untuk membedakan antara estimasi biaya dengan nilai kontrak. Estimasi biaya bersifat teknis dan objektif, berdasarkan data dan analisis atas elemen-elemen proyek terukur. Disisi lain nilai kontrak adalah hasil dari pertimbangan bisnis dan strategi Perusahaan, yang dipengaruhi oleh berbagai factor seperti margin keuntungan, kondisi pasar, tingkat persaingan, risiko yang ditanggung, serta kesepakatan antara pihak pemberi kerja dan penyedia jasa atau kontraktor.

2.11.3 Penganggaran Biaya

Penganggaran biaya adalah tahapan lanjutan setelah estimasi biaya, dimana total biaya yang telah dihitung sebelumnya dialokasikan secara sistematis ke setiap aktivitas atau komponen dalam proyek. Proses ini bertujuan untuk menyusun rencana pengeluaran yang terstruktur, sehingga setiap kegiatan memiliki anggaran yang jelas dan terukur. Melalui tahapan ini, akan dihasilkan baseline biaya (*cost baseline*) yang berfungsi sebagai tolak ukur untuk memantau, mengevaluasi, dan mengendalikan kinerja biaya proyek selama pelaksanaannya. Baseline ini menjadi referensi utama dalam membandingkan antara biaya yang direncanakan dan biaya aktual yang dikeluarkan, serta membantu dalam mengidentifikasi deviasi atau penyimpangan sejak dini agar dapat dilakukan tindakan korektif yang tepat.

2.11.4 Pengendalian Biaya

Pengendalian biaya merupakan aktivitas yang dilakukan secara berkelanjutan selama pelaksanaan proyek guna memantau dan mengevaluasi apakah pengeluaran aktual sesuai dengan rencana anggaran yang telah disusun. Apabila ditemukan perbedaan antara biaya aktual dan biaya yang direncanakan, maka penyebabnya harus diidentifikasi dan dicatat secara sistematis. Dengan dokumentasi yang baik, tindakan korektif dapat segera diambil untuk menghindari pembengkakan biaya dan memastikan proyek tetap berjalan dalam batas anggaran yang ditetapkan.

2.12 Analisa Harga Satuan

Harga Satuan Pekerjaan merupakan nilai biaya yang dihitung untuk setiap jenis atau item pekerjaan tertentu yang biasanya terdapat dalam kegiatan konstruksi. Penentuan harga satuan ini dapat dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu melalui analisis mandiri berdasarkan kondisi proyek aktual, atau menggunakan analisis harga satuan baku yang telah ditetapkan oleh instansi atau lembaga terkait.

Analisa Harga Satuan Pekerjaan adalah perhitungan biaya yang mencakup seluruh komponen yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu satuan pekerjaan tertentu. Komponen-komponen tersebut meliputi biaya tenaga kerja, bahan/material, peralatan, serta biaya-biaya pendukung lainnya seperti overhead dan keuntungan kontraktor. Dengan demikian, harga satuan merupakan hasil dari akumulasi seluruh komponen biaya tersebut yang dihitung berdasarkan satuan volume pekerjaan, misalnya per meter kubik (m^3), per meter persegi (m^2), atau per unit.

Harga satuan pekerjaan sangat dipengaruhi oleh lokasi proyek, terutama untuk komponen upah tenaga kerja dan harga material. Informasi mengenai harga-harga tersebut umumnya diperoleh dari data yang diterbitkan oleh Dinas Pekerjaan Umum (PU) di tingkat kota atau kabupaten setempat. Sementara itu, biaya sewa peralatan bergantung pada jenis alat yang digunakan, durasi pemakaian, serta kondisi lokal di lapangan.

Secara umum, harga satuan pekerjaan mencakup seluruh biaya langsung maupun tidak langsung yang berkaitan dengan pelaksanaan pekerjaan konstruksi. Biaya tersebut meliputi antara lain: tenaga kerja, material, sewa dan penyusutan peralatan, pemasangan mesin/peralatan, *overhead*, keuntungan kontraktor, serta komponen biaya lainnya seperti asuransi kecelakaan kerja, perizinan, pajak, pelayanan sosial, dan pengobatan tenaga kerja. Dengan demikian, harga satuan bukan hanya mencerminkan biaya fisik semata, tetapi juga mencakup seluruh aspek yang mendukung keberlangsungan pekerjaan secara menyeluruh.

2.13 Biaya Kontruksi

Biaya konstruksi merupakan keseluruhan dana yang dikeluarkan untuk mendukung pelaksanaan suatu proyek konstruksi. Secara umum, biaya konstruksi diklasifikasikan menjadi dua kategori utama, yaitu biaya langsung (*direct cost*) dan biaya tidak langsung (*indirect cost*).

1. Biaya Langsung (*Direct Cost*)

Biaya langsung mencakup seluruh pengeluaran yang secara langsung berhubungan dengan fisik proyek. Biaya ini meliputi seluruh aktivitas yang

dilakukan di lapangan, mulai dari tahap persiapan hingga penyelesaian pekerjaan, termasuk biaya untuk mendatangkan dan menggunakan berbagai sumber daya proyek. Biaya langsung juga dikenal sebagai biaya variable (*variable cost*) karena jumlahnya bersifat fluktuatif, tergantung pada kemajuan pekerjaan tiap periode. Perhitungan biaya langsung umumnya dilakukan dengan cara mengalikan volume pekerjaan dengan harga satuan dari masing-masing item pekerjaan.

Komponen-komponen yang termasuk dalam biaya langsung antara lain:

a. Biaya Material

Merupakan biaya yang dikeluarkan untuk pengadaan material konstruksi, termasuk biaya pengangkutan, penyimpanan, serta potensi kerugian akibat kehilangan atau kerusakan. Penentuan harga material dapat dilakukan melalui survei pasar atau berdasarkan indeks harga yang diterbitkan secara berkala oleh instansi teknis seperti Kementerian Pekerjaan Umum.

b. Biaya Upah Tenaga Kerja

Dalam pelaksanaan proyek, upah tenaga kerja dibedakan menjadi beberapa jenis:

- 1) Upah harian: upah yang dibayarkan berdasarkan waktu kerja (misalnya per hari).
- 2) Upah borongan: upah yang ditetapkan berdasarkan kesepakatan atas penyelesaian jenis pekerjaan tertentu.
- 3) Upah berdasarkan produktivitas: upah dihitung berdasarkan jumlah

pekerjaan yang dapat diselesaikan dalam waktu tertentu.

c. Biaya Peralatan

Biaya ini mencakup seluruh aspek yang berkaitan dengan penggunaan alat berat maupun alat bantu lainnya di proyek. Komponennya meliputi: biaya investasi awal, biaya sewa, biaya operasional (bahan bakar dan pelumas), biaya perawatan, biaya operator, serta biaya mobilisasi dan demobilisasi peralatan.

d. Biaya Subkontraktor

Komponen ini muncul apabila sebagian pekerjaan dialihkan kepada pihak ketiga atau subkontraktor. Dalam hal ini, tanggung jawab pelaksanaan berada pada subkontraktor, namun pembayarannya tetap dilakukan oleh kontraktor utama sesuai dengan nilai kontrak yang disepakati.

2. Biaya Tidak Langsung (*Indirect Cost*)

Biaya tidak langsung adalah biaya yang berhubungan dengan pengawasan, pengarahan kerja, dan pengeluaran umum di luar biaya konstruksi. Biaya – biaya yang termasuk dalam biaya tak langsung adalah biaya *overhead*, biaya tak terduga (*contingencies*), keuntungan/profit, pajak dan lainnya. Biaya ini tidak bergantung pada volume pekerjaan, tetapi bergantung pada jangka waktu pelaksanaan semakin lama karena biaya untuk gaji pegawai, biaya umum perkantoran tetap, dan biaya lainnya juga tetap dibayar. Biaya tidak langsung ini tiap bulan besarnya relative tetap dibanding biaya langsung, oleh karena itu sering disebut dengan biaya tetap (*fix cost*). Biaya *overhead* adalah biaya tambahan yang harus dikeluarkan dalam

pelaksanaan kegiatan atau pekerjaan, namun tidak berhubungan langsung dengan biaya bahan, peralatan, dan tenaga kerja. Biaya *overhead* umumnya dibagi menjadi 2 yaitu biaya *overhead* umum dan biaya *overhead* proyek.

a. Biaya Umum (*Overhead Cost*)

Biaya umum, yang sering dikenal sebagai *overhead cost*, merupakan pengeluaran tidak langsung yang berkaitan dengan kegiatan operasional, baik di kantor pusat maupun di lapangan. Komponen biaya ini meliputi gaji untuk staf tetap, sewa ruang kantor pusat, biaya komunikasi (seperti telepon dan internet), perjalanan dinas dan akomodasi, pengeluaran dokumentasi proyek, biaya jasa profesional seperti notaris, bunga pinjaman bank, serta perlengkapan kecil dan bahan yang bersifat sekali pakai. Biaya *overhead* umumnya tidak dialokasikan langsung ke dalam item pekerjaan tertentu, namun dapat diperhitungkan dalam margin keuntungan proyek atau melalui komponen terpisah dalam anggaran.

b. Biaya Proyek (*Site Overhead*)

Biaya proyek merupakan pengeluaran yang dibutuhkan untuk mendukung kelancaran pelaksanaan konstruksi di lapangan, namun tidak termasuk dalam kategori biaya bahan, upah tenaga kerja, atau peralatan utama. Beberapa komponen dalam biaya ini meliputi:

- 1) Pembangunan kantor lapangan sebagai pusat koordinasi proyek.
- 2) Penyediaan dan pengelolaan area kerja beserta perlengkapannya.

- 3) Biaya untuk komunikasi di lokasi proyek, seperti pemasangan dan operasional telepon.
- 4) Kebutuhan fasilitas pendukung lapangan, meliputi penyediaan listrik, air bersih, air minum, sistem sanitasi, dan kebutuhan dasar lainnya.
- 5) Pembangunan jalan kerja sementara serta area parkir kendaraan dan alat berat.
- 6) Pemasangan pagar pengaman atau batas perlindungan di sekitar area proyek untuk menjamin keselamatan dan keamanan.

