

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur adalah jenis perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya. Karakteristik lapisan perkerasan memfasilitasi distribusi dan penyerapan tegangan yang ditimbulkan oleh kendaraan yang bergerak, sehingga secara efektif memindahkannya ke tanah dasar di bawahnya. Perkerasan fleksibel sering digunakan di daerah dengan lalu lintas terbatas dan bobot relatif rendah, karena integritas struktural perkerasan dapat dipengaruhi secara signifikan oleh beban kendaraan yang besar dan kondisi cuaca buruk. (Sukirman, 2010)

Perkerasan lentur terdiri dari banyak lapisan yang diletakkan di atas tanah dasar yang dipadatkan. Lapisan tertentu berfungsi sebagai penerima beban lalu lintas, yang kemudian dikirim ke tingkat yang lebih rendah. (Sukirman, 2010)

Perencanaan perkerasan lentur dengan menggunakan teknologi konstruksi dilaksanakan dengan mengikuti beberapa urutan prioritas. Agar perencanaan berhasil, penting untuk memperoleh hasil urutan prioritas yang mencakup beberapa elemen, seperti jenis kerusakan jalan, data dari survei rata-rata lalu lintas harian, beban gandar kendaraan kumulatif (ESA4), kelelahan pada lapisan aspal. (ESA5), penilaian CBR, dan daya dukung tanah. Landasan atau prinsip dasar. (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017)

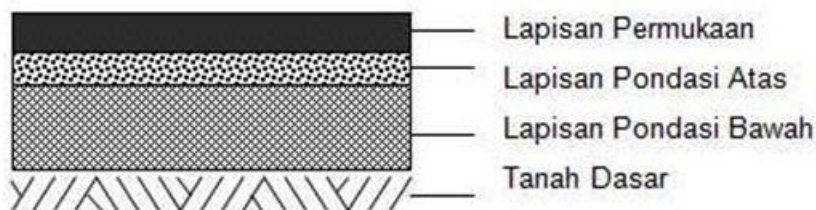
Perhitungan yang digunakan dalam perencanaan kegiatan dengan menggunakan strategi pembangunan daerah telah disesuaikan dan dijelaskan sesuai dengan persyaratan yang ditentukan untuk setiap jenis perkerasan tertentu dan pengelolaannya, sebagaimana dituangkan dalam Pedoman Perancangan Perkerasan Tahun 2017.

2.1.1. Konstruksi Perkerasan Lentur

Struktur perkerasan lentur mempunyai tiga lapisan utama, yaitu lapisan permukaan (disebut juga lapisan keausan), lapisan pondasi atas (disebut lapisan

dasar), dan lapisan pondasi bawah (disebut lapisan subbase). Secara umum, lapisan paling atas suatu konstruksi perkerasan dibagi menjadi dua komponen berbeda: lapisan keausan, disebut juga lapisan permukaan, dan lapisan ikatan. Biasanya, kedua lapisan ini diterapkan secara independen satu sama lain. Material komposit dapat dimanfaatkan untuk membuat lapisan dasar atas dan bawah yang terdiri dari berbagai komponen. Komponen-komponen ini dapat mencakup lapisan dasar atas, juga disebut sebagai alas atas, dan lapisan dasar bawah, yang juga dikenal sebagai subbase. Sebagai alternatif, bagian atas, yang dikenal sebagai subbase atas, dan pondasi bawah, yang biasa disebut subbase bawah, dapat digunakan. Seperti dikemukakan Hardiyatmo (2019), lapisan tersebut terletak di atas lapisan tanah di bawahnya yang telah mengalami pemadatan.

Konfigurasi struktur perkerasan lentur terlihat pada **Gambar 2.1** dan **Gambar 2.2**.



Gambar 2. 1 Lapis Perkerasan

Sumber: Sukirman, 2003



Gambar 2. 2 Komponen Struktur Perkerasan Lentur

Sumber: Hardiyatmo, 2019

2.1.2. Lapis Permukaan (*Surface Course*)

Lapisan perkerasan lentur paling atas, yang disebut lapisan permukaan,

terletak tepat di atas lapisan pondasi. Lapisan pondasi terdiri dari dua komponen yang berbeda, yaitu lapisan aus dan lapisan pengikat. Untuk menjamin ketahanan, ketahanan air, keseragaman, dan tekstur lapisan aus, lapisan ini harus dibuat menggunakan campuran aspal berkualitas tinggi yang panas dan bergradasi tinggi. Hardiyatmo (2019) berpendapat bahwa lapisan pengikat berfungsi sebagai elemen perantara yang terletak di antara lapisan pondasi dan lapisan keausan.

Menurut Sukirman (2010), lapisan perkerasan jalan paling atas berfungsi sebagai lapisan permukaan dan memenuhi tugas pokoknya.

1. Lapisan kedap air mencegah curah hujan menyusup ke lapisan di bawahnya, sehingga mengurangi kerusakan pada struktur perkerasan jalan.
2. Lapisan lintasan yang aus mengalami degradasi karena gesekan dan getaran yang ditimbulkan oleh roda kendaraan yang melakukan pengereman.
3. Lapisan yang bertanggung jawab untuk mendistribusikan beban yang diberikan secara merata ke lapisan pondasi di bawahnya.
4. Lapisan penahan beban vertikal pada kendaraan sangat penting untuk menjaga stabilitas sepanjang masa pakainya.

Lapisan permukaan yang bertujuan untuk menjamin keselamatan dan menciptakan permukaan yang seragam dan rata harus memenuhi kriteria yang ditentukan seperti yang digariskan oleh Hardiyatmo (2019).

1. Kapasitas untuk menghambat masuknya air ke dalam komposisi perkerasan ditunjukkan.
2. Kendaraan harus memiliki kemampuan untuk menahan tekanan yang diberikan dan mempertahankan integritas strukturalnya tanpa mengalami deformasi permanen.
3. Wacana tersebut berkisar pada gagasan perlawanan atau kemampuan menahan penggelinciran.

Sukirman (2010) menegaskan bahwa terdapat beragam bidang permukaan yang umum digunakan di Indonesia.

1. Lapisan non-struktural berfungsi sebagai penghalang pelindung terhadap keausan dan infiltrasi air, termasuk fitur-fitur berikut:
 - a. Burtu, kadang-kadang disebut sebagai lapisan aspal lapis tunggal, adalah sejenis lapisan pelindung yang terdiri dari lapisan aspal yang dipadukan

dengan agregat yang tersebar merata. Batas paling atas lapisan ini dibatasi hingga ketebalan maksimum 2 cm.

- b. Teknik Burda memerlukan penerapan sistem aspal dua lapis, termasuk lapisan aspal pondasi yang kemudian dilapisi dengan material agregat. Prosedur tersebut diulangi secara berurutan sebanyak dua kali, dimana masing-masing strata mempunyai magnitudo maksimum 3,5 cm.
 - c. Latasir, kadang disebut pasir aspal lapis tipis, merupakan material permukaan yang terdiri dari banyak lapisan aspal dan pasir alam dengan gradasi yang konsisten. Campuran yang disebutkan di atas diberikan, didispersikan, dan dikonsolidasikan pada suhu tertentu, menghasilkan ketebalan kohesif yang berkisar antara 1 hingga 2 cm.
 - d. Buras, kadang disebut juga lapisan aspal, merupakan lapisan pengaman yang terdiri dari campuran aspal dan pasir, dimana partikel pasirnya mempunyai diameter maksimum 3/8 inci.
 - e. Istilah "latasbum" menunjukkan lapisan permukaan yang terdiri dari campuran asbuton dan bahan pelembut, dalam proporsi tertentu, yang dikombinasikan pada suhu kamar dan diberikan pada kedalaman maksimum 1 sentimeter.
 - f. Laston, juga dikenal sebagai Hot Rolled Sheet (HRS), adalah lapisan permukaan yang terdiri dari kombinasi tepat kerikil bergradasi, bahan pengisi, dan aspal keras dengan rasio yang telah ditentukan. Campuran tersebut digabung, diberikan, dan dikompresi pada suhu tinggi untuk menghasilkan lapisan besar dengan kepadatan maksimum berkisar antara 2,5 hingga 3cm.
2. Lapisan ini menunjukkan ciri-ciri struktur dan berfungsi sebagai media untuk menampung dan mendistribusikan beban-beban yang ditanggung oleh roda, meliputi:
- a. Dua kategori campuran emulsi yang dipertimbangkan adalah campuran Emulsi Bertingkat Tertutup (CEBR) dan Campuran Emulsi Bertingkat Terbuka (CEBT).
 - b. Lapisan Laston yang biasa disebut dengan lapisan aspal beton mempunyai arti penting sebagai bahan penyusun pembangunan jalan raya. Komposisi

material ini terdiri dari campuran aspal berketahanan dan partikel berukuran seragam. Campuran yang disebutkan di atas diformulasikan dengan cermat, didispersikan secara merata, dan dikompresi pada suhu tinggi untuk mencapai efisiensi maksimum.

- c. Lasbutag merupakan komponen yang digunakan dalam pembangunan jalan yaitu sebagai lapisan. Terdiri dari campuran agregat asbuton dan bahan pelembut. Penerapan lasbutag melibatkan penyebaran dan pemadatan campuran dalam keadaan dingin. Setiap lapisan lasbutag diaplikasikan secara merata dengan ketebalan padat berkisar antara 3-5 cm.
- d. Penetrasi makadam, juga dikenal sebagai lapen, mengacu pada jenis lapisan perkerasan jalan tertentu yang ditandai dengan adanya agregat primer dan agregat sekunder, yang tersebar merata dan memiliki permukaan yang halus dan rata secara konsisten. Lapisan ini disatukan dengan pengaplikasian aspal yang disemprotkan di atasnya dan kemudian dipadatkan dalam banyak lapisan. Ketebalan maksimum setiap lapisan biasanya berkisar antara 4 hingga 10 cm.

Lapisan perkerasan aspal lentur paling atas berpotensi terbagi menjadi beberapa lapisan bawahan. Menurut Federal Highway Administration (FHWA) tahun 2006 yang dikutip dalam buku Hardiyatmo (2019), susunan yang biasa dilakukan adalah dari posisi tertinggi hingga terendah.

1. Lapisan segel adalah perawatan permukaan yang sering digunakan dengan tujuan menjaga integritas lapisan paling atas. Penerapan lapisan aspal pada lapisan aus melibatkan penempatan lapisan aspal tipis dengan ketebalan kurang dari ½ inci. Lapisan khusus ini berfungsi untuk melindungi perkerasan dari infiltrasi air sekaligus meningkatkan tekstur lapisan keausan.
2. Jalur keausan mengacu pada lapisan perkerasan paling atas, seringkali tidak termasuk lapisan segel jika ada. Komposisi khas lapisan ini terdiri dari beton aspal mutu tebal. Lapisan aus memiliki sifat kedap air, menunjukkan ketahanan terhadap geseran, menunjukkan ketahanan terhadap perkembangan alur, dan menyajikan permukaan yang halus.

3. Lapisan pengikat, disebut juga lapisan dasar aspal, merupakan komponen struktur perkerasan yang posisinya tepat di bawah lapisan keausan.

Lapisan aspal cair yang diaplikasikan pada perkerasan jalan mempunyai kekentalan yang rendah.

1. Tack coat mengacu pada lapisan aspal tipis yang berfungsi sebagai bahan pengikat antara beton aspal yang sudah ada sebelumnya atau perkerasan beton semen Portland (PCC). Lapisan ini dimasukkan dalam dosis tertentu. Penerapan lapisan tack coat dilakukan pada area tertentu di mana lapisan aus dan lapisan pengikat bersentuhan.
2. Lapisan utama, kadang-kadang disebut sebagai lapisan dasar, meliputi pengaplikasian aspal cair pada permukaan tanah, kerikil, atau batu pecah sebagai perlakuan permukaan. Tujuan utama pemasangan lapisan primer adalah untuk menutup pori-pori tanah secara efisien, sehingga menghambat penetrasi air ke dalam tanah dasar. Selain itu, lapisan ini juga berfungsi untuk memadatkan butiran lepas dan partikel, sehingga meningkatkan kemampuan perekat antara lapisan pondasi di bawah dan lapisan permukaan paling atas.

2.1.3. Lapis Pondasi Atas (*Base Course*)

Lapisan pertama suatu usaha bangunan yang disebut lapis pondasi, terletak di bawah lapisan terluar. Lapisan pondasi terletak di atas lapisan subbase, atau jika tidak ada lapisan subbase, maka diletakkan langsung pada tanah dasar. Material lapisan pondasi sebagian besar tersusun atas agregat, antara lain batu pecah, sirtu, terak pecah, atau campurannya (Hardiyatmo, 2019).

Lapisan pondasi atas pada sistem lapisan perkerasan mempunyai tujuan sebagai berikut menurut Sukirman (2010):

1. Lapisan permukaan bantalan atau berbaring merupakan komponen yang memberikan kenyamanan dan dukungan.
2. Lapisan pondasi bawah membutuhkan lapisan impregnasi.

3. Komponen sistem perkerasan yang secara efektif melawan gaya vertikal yang diberikan oleh beban kendaraan dan selanjutnya mendistribusikan gaya tersebut ke lapisan di bawahnya.

Menurut Hardiyatmo (2019), faktor utama yang perlu diperhatikan dalam membangun lapisan pondasi paling atas adalah sebagai berikut:

1. Fenomena resistensi terhadap pelapukan.
2. Topik yang menarik berkaitan dengan stabilitas sistem sehubungan dengan beban yang dikenakan oleh lalu lintas.
3. Pengukuran ketebalan.

Dalam konteks lapisan perkerasan jalan, praktik umum di Indonesia adalah menggunakan berbagai lapisan pondasi, sebagaimana diuraikan oleh Sukirman (2010).

1. Lapisan Pondasi Agregat Semen (LFAS) terdiri dari semen yang dicampur dengan agregat Kelas A, Kelas B, atau Kelas C. Material komposit ini berfungsi sebagai lapisan pondasi. Lapisan yang dimaksud terletak di atas lapisan dasar agregat kelas C.
2. Konstruksi lapisan pondasi tanah semen melibatkan pemanfaatan bahan tanah yang tersedia secara lokal, yaitu jenis tanah lempung dan butiran seperti pasir dan kerikil berpasir, yang mempunyai tingkat kelenturan yang rendah.
3. Istilah "lapisan pondasi agregat" menunjukkan gaya konstruksi pondasi tertentu yang menggunakan bahan granular yang disebut agregat. Perbedaan agregat kelas A dan kelas B didasarkan pada gradasi lapisan pondasi agregat. Untuk menjamin integritas struktural, ketebalan minimum setiap lapisan harus tidak kurang dari dua kali ukuran agregat maksimum.
4. Lapisan penetrasi Macadam atau disebut juga Lapen merupakan lapisan perkerasan jalan yang terdiri dari agregat dasar dan agregat pengunci. Agregat ini mempunyai kualitas yang konstan. Setelah agregat pengunci mengalami pemadatan, kemudian ditaburkan di atas permukaan aspal dengan teknik penyemprotan. Selanjutnya, lapisan agregat ditempatkan di atas agregat pengaman dan dilakukan pemadatan.

5. Lapisan pondasi Lasbutag terdiri dari campuran dingin agregat asbuton dan peremaja, yang dicampur, diaplikasikan, dan dipadatkan. Disarankan untuk membuat lapisan pondasi Lasbutag dengan ketebalan minimal 50 mm, menggunakan ukuran agregat tidak melebihi 25 mm (2 inci).
6. Lapisan pondasi yang sering disebut dengan Asphalt Concrete Base (AC-Base) digunakan untuk pembuatan lapisan pondasi. Ketebalan nominal minimum diwajibkan sebesar 60 mm, dengan variasi ketebalan yang diperbolehkan hingga +5 mm. Ukuran maksimum agregat yang diperbolehkan yang digunakan dibatasi hingga 37,5 mm (setara dengan 1,5 inci).

2.1.4. Lapis Pondasi Bawah (*Subbase Course*)

Lapisan subbase dapat didefinisikan sebagai lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan pondasi dan tanah di bawahnya. Menurut Hardiyatmo (2019), tujuan utama dari lapisan subbase adalah untuk menyediakan lapisan perkerasan dengan ketebalan yang cukup, yang berfungsi untuk mendistribusikan beban yang diterapkan secara efektif. Teknik di atas disukai karena efisiensi biayanya. Menurut penelitian Sukirman (2010), lapisan pondasi bawah mempunyai banyak fungsi.

1. Penggunaan material yang hemat biaya memungkinkan pengurangan ketebalan lapisan di atasnya, sehingga meningkatkan efisiensi. Angka 15 menjadi bahan perbincangan.
2. Infrastruktur jalan terdiri dari beberapa elemen yang berfungsi untuk memberikan dukungan struktural dan memfasilitasi penyebaran muatan kendaraan ke tanah dasar di bawahnya. Stabilitas lapisan harus memenuhi standar yang disyaratkan, yang mengharuskan nilai California Bearing Ratio (CBR) sebesar 20% atau lebih dan indeks plastik (IP) sebesar 10% atau kurang.
3. Lapisan pertama memainkan peran penting dalam mengoptimalkan operasi proyek dengan mengatasi keadaan lokasi yang mungkin dipengaruhi oleh cuaca atau terbatasnya kapasitas tanah dasar untuk menahan beban alat berat yang besar.

4. Tujuan pemasangan lapisan pengisi adalah untuk memitigasi pergerakan partikel halus yang berasal dari tanah dasar dan bermigrasi menuju lapisan pondasi dan lapisan berikutnya.
5. Tujuan utama penerapan lapisan impregnasi adalah untuk mengurangi potensi penumpukan air tanah di dalam pondasi.

Di Indonesia, lapisan subbase yang sering digunakan antara lain:

1. Agregat bergradasi baik, dibedakan atas:

- a. Sirtu/pitrun kelas A
- b. Sirtu/pitrun kelas B
- c. Sirtu/pitrun kelas C

Sirtu kelas A menunjukkan gradasi yang lebih jelas dibandingkan dengan sirtu kelas B, namun sirtu kelas B, pada gilirannya, memiliki gradasi yang lebih jelas daripada sirtu kelas C.

2. Stabilisasi

- a. Penggunaan kapur khususnya Subbase Pengolahan Kapur dengan tujuan untuk menstabilkan agregat.
- b. Teknik penggunaan semen untuk menstabilkan agregat, sering disebut sebagai Subbase yang Diperlakukan Semen, adalah metodologi yang digunakan untuk meningkatkan fungsionalitas dan umur panjang agregat.
- c. Proses stabilisasi tanah dengan penggunaan kapur, juga dikenal sebagai stabilisasi kapur tanah, merupakan teknik yang banyak digunakan dalam banyak aplikasi teknik dan konstruksi.
- d. Proses stabilisasi tanah dengan penggunaan semen, juga dikenal sebagai stabilisasi semen tanah, merupakan teknik yang banyak digunakan dalam teknik sipil.

2.1.5. Lapis Tanah Dasar (*Subgrade*)

Lapisan yang dimaksud terletak pada lapisan terbawah yang berfungsi sebagai landasan fundamental atau sub-fundamental. Subyek penyelidikan memiliki ketebalan yang berkisar antara 50 hingga 100 sentimeter. Lapisan tanah dasar terdiri dari tanah asli yang dipadatkan, bahan impor yang telah dipadatkan, atau tanah yang diolah secara kimia untuk meningkatkan stabilitasnya. Pencapaian pemadatan yang efektif bergantung pada pelaksanaan proses pada tingkat kadar air

yang ideal dan mempertahankan kadar air yang konsisten selama jangka waktu yang ditentukan. Hasil yang diinginkan dapat dicapai dengan penggunaan peralatan drainase yang sesuai. Penempatan struktur perkerasan jalan ditentukan oleh elevasi permukaan tanah. Menurut Sukirman (2010), lapisan tanah primer diklasifikasikan menjadi beberapa divisi.

1. Tanah dasar, kadang-kadang disebut sebagai lapisan tanah asli, menunjukkan permukaan tanah asli yang ada di suatu tempat. Biasanya lapisan tanah dasar dibuat melalui proses pembersihan dan pemadatan lapisan paling atas yang mempunyai ketebalan berkisar antara 30 hingga 50 cm. Persiapan ini dilakukan pada permukaan tanah dimana konstruksi perkerasan yang dimaksud akan ditempatkan.
2. Istilah "lapisan urukan", juga disebut sebagai "tanah urukan", adalah lapisan tanah dasar yang ditempatkan di atas permukaan tanah yang sudah ada sebelumnya. Ketika melakukan pembangunan lapisan dasar timbunan, penting untuk mempertimbangkan tingkat kepadatan yang diinginkan.
3. Lapisan tanah dasar dapat didefinisikan sebagai lapisan tanah yang digali dan ditempatkan di bawah permukaan tanah yang sudah ada sebelumnya. Klasifikasi ini berkaitan dengan penggantian lapisan tanah awal yang mempunyai ketebalan berkisar antara 50 sampai 100 cm, sebagai akibat dari tidak memadainya kemampuan menahan beban yang ditunjukkan oleh tanah aslinya.

2.1.6. Fungsi Perkerasan Jalan

Tujuan utama dari perkerasan jalan adalah untuk mendistribusikan secara merata beban yang ditimbulkan oleh roda kendaraan ke seluruh area tanah dasar yang lebih luas. Kategorisasinya didasarkan pada sejauh mana kontak antara roda dan permukaan jalan. Akibatnya, hal ini mengurangi tegangan maksimum yang dialami oleh tanah dasar, khususnya tekanan yang menyebabkan tanah dasar mengalami deformasi yang berlebihan. Sepanjang durasi musim pemeliharaan perkerasan jalan. Dalam arti luas, tujuan utama perkerasan jalan dapat digambarkan seperti yang dikemukakan oleh Hardiyatmo (2019):

- a. Untuk memberikan kerangka kerja yang kuat yang mampu mengakomodasi tuntutan lalu lintas kendaraan.

- b. Tujuan utama pembangunan jalan adalah untuk menyediakan permukaan yang mulus dan rata sehingga memudahkan arus kendaraan dan pejalan kaki.
- c. Tujuan utama memasukkan kekasaran atau ketahanan selip pada permukaan perkerasan adalah untuk meningkatkan kemampuan traksinya.
- d. Untuk memastikan distribusi berat kendaraan yang tepat ke tanah dasar, perlu dilakukan pencegahan agar tanah dasar tidak mengalami tekanan yang berlebihan.
- e. Untuk menjaga struktur dasar tanah dari dampak buruk fluktuasi iklim.

2.1.7. Kinerja Struktur Perkerasan Jalan

Menurut Sukirman (2010), struktur permukaan jalan dianggap sebagai komponen infrastruktur transportasi yang sangat penting.

1. Entitas yang dimaksud adalah entitas yang mengalami beban lalu lintas yang tersebar melalui roda kendaraan. Oleh karena itu, konstruksi perkerasan jalan harus memiliki stabilitas yang luar biasa, daya tahan sepanjang umur operasionalnya, dan ketahanan terhadap beragam faktor iklim dan meteorologi. Kelelahan adalah keadaan kelelahan atau keletihan yang luar biasa yang diakibatkan oleh fisik, mental. Terjadinya hambatan dan kerusakan pada perkerasan jalan, seperti retak, alur, dan terbentuknya lubang, dianggap tidak diinginkan. Masalah-masalah ini sebagian besar disebabkan oleh rendahnya kekuatan jalan, dan dapat menyebabkan kerusakan parah pada perkerasan jalan.
2. Memberikan rasa aman dan aman bagi siapapun yang menggunakan jalan raya. Oleh karena itu, permukaan perkerasan harus memiliki tekstur yang kasar untuk memudahkan tercapainya gesekan ideal antara permukaan jalan dan ban kendaraan. Karakteristik ini berfungsi untuk memitigasi risiko hydroplaning akibat curah hujan atau terjadinya tikungan kecepatan tinggi. Selain itu, permukaan perkerasan harus memiliki karakteristik non-reflektif untuk mengurangi ketidaknyamanan pengemudi yang disebabkan oleh silau akibat paparan sinar matahari.

Untuk menjamin ketahanan, keamanan, dan kenyamanan pengguna jalan, maka diperlukan struktur perkerasan jalan yang kuat (Sukirman, 2010).

1. Proses pemilihan jenis perkerasan yang sesuai dan penentuan ketebalannya memerlukan pertimbangan beberapa faktor. Faktor-faktor ini mencakup

kemampuan tanah dasar dalam menahan beban, intensitas beban lalu lintas, kondisi lingkungan yang ada, perkiraan umur atau umur desain, serta ketersediaan dan sifat material perkerasan jalan di sekitarnya. Topik yang menarik berkaitan dengan posisi atau tempat geografis.

2. Analisis dan desain campuran yang berasal dari bahan yang dapat diakses secara lokal memerlukan pertimbangan yang cermat terhadap kualitas dan jumlah komponen tersebut untuk memastikan kepatuhannya terhadap persyaratan yang ditentukan untuk lapisan perkerasan tertentu.
3. Tugas yang ada meliputi pengawasan pelaksanaan tugas sesuai dengan protokol pengawasan yang ditetapkan, dan juga mempertimbangkan kerangka jaminan kualitas konstruksi jalan sebagaimana diuraikan dalam persyaratan proyek. Eksekusi dan pemantauan menyeluruh terhadap proses dan spesifikasi jalan sangat penting untuk memastikan bahwa hasil perkerasan yang diperlukan tercapai, meskipun proses pemilihan jenis lapisan perkerasan telah dilakukan secara efektif, perencanaan ketebalan yang cermat, dan studi campuran yang komprehensif,
4. Pemeliharaan jalan secara teratur diperlukan sepanjang masa layanan untuk memastikan umur yang diharapkan tercapai. Pemeliharaan tidak hanya mencakup struktur fisik permukaan jalan, namun juga pengelolaan sistem drainase di sekitarnya.

2.1.8. Syarat Konstruksi Perkerasan

Untuk menjamin terciptanya lingkungan yang aman dan nyaman bagi pengguna jalan raya, kepatuhan terhadap persyaratan tertentu sangat penting dalam pembangunan perkerasan jalan. Standar-standar ini dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok berbeda, sebagaimana diuraikan oleh Sukirman (2010).

1. Syarat berlalu lintas

Menurut Sukirman (2010), ada kriteria keamanan dan kenyamanan tertentu yang harus dipenuhi dalam pembangunan perkerasan lentur.

- 1.3 Permukaannya menunjukkan kerataan yang konsisten, tanpa adanya ketidakteraturan seperti gundukan, kendur, atau perforasi.

- 1.4 Permukaannya menunjukkan tingkat kekakuan yang tinggi, sehingga membatasi kerentanannya terhadap deformasi akibat pengaruh beban yang diterapkan.
 - 1.5 Permukaan jalan memiliki tingkat kekasaran yang tinggi, yang secara efektif meningkatkan gesekan antara ban dan jalan, sehingga mengurangi kemungkinan tergelincir.
 - 1.6 Permukaannya menunjukkan berkurangnya reflektifitas dan berkurangnya kerentanan terhadap silau selama paparan sinar matahari.
2. Syarat kekuatan /struktural
- Ketika mengevaluasi konstruksi perkerasan jalan dalam hal kapasitasnya untuk mendukung dan mendistribusikan beban, kriteria tertentu harus dipenuhi.
- 1.2. Ketebalan lapisan perkerasan harus cukup agar dapat memindahkan beban atau beban lalu lintas secara efisien ke tanah dasar.
 - 1.3. Zat tersebut di atas menunjukkan sifat kedap terhadap air, sehingga menghambat masuknya air ke lapisan di bawahnya.
 - 1.4. Permukaannya mempunyai kapasitas drainase yang tinggi, memfasilitasi pembuangan air secara efisien, sehingga memungkinkan drainase hujan yang efektif.
 - 1.5. Kekakuan merupakan karakteristik yang diinginkan karena memungkinkan suatu struktur menahan beban yang diterapkan secara efektif tanpa mengalami deformasi yang berarti.

2.2. Fungsi Jalan

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 13 Tahun 1980 dan Peraturan Pemerintah Nomor 26 Tahun 1985, prasarana jalan di Indonesia diklasifikasikan menjadi beberapa kategori.

1. Sistem Jaringan Jalan Primer

Tujuan utama penerapan sistem jaringan jalan yang secara efektif mendukung penyediaan layanan adalah untuk mendorong pertumbuhan inklusif di seluruh wilayah negara. Sistem ini mencakup banyak pusat layanan dan distribusi, yang sering ditampilkan sebagai kota. Sistem jaringan jalan utama memfasilitasi hubungan antar simpul layanan distribusi dengan cara sebagai berikut:

- a. Dalam suatu wilayah pembangunan tertentu, terdapat jaringan yang saling berhubungan dan menjangkau berbagai tingkatan kota, meliputi kota tingkat pertama (Ibukota Provinsi), kota tingkat kedua (Ibukota Kabupaten, Kotamadya), kota tingkat ketiga (Kabupaten), dan kota tingkat bawah (Kabupaten). kota setingkat, yang meluas hingga ke sebidang tanah individual.
 - b. Terjalinnnya keterhubungan antar kota pada tingkat primer antar entitas pembangunan daerah.
2. Sistem Jaringan Sekunder
- Sistem jaringan jalan memainkan peran penting dalam memungkinkan penyediaan layanan bagi penduduk perkotaan. Hal ini berarti bahwa penataan jaringan jalan sekunder mematuhi prinsip-prinsip perencanaan tata ruang kota, sehingga meningkatkan interkoneksi lokasi-lokasi dengan berbagai kepentingan fungsional, mulai dari tujuan primer, sekunder, tersier, hingga pemukiman. Sukirman (2010) mengklasifikasikan jalan menjadi beberapa kategori tergantung kegunaannya.
1. Jalan arteri adalah sejenis jalan umum yang direncanakan secara khusus untuk memungkinkan perjalanan jarak jauh yang efisien dengan kecepatan rata-rata yang tinggi, sekaligus menjamin sejumlah titik akses yang terbatas untuk memaksimalkan efektivitas operasionalnya.
 2. Jalan kolektor merupakan salah satu jenis jalan umum yang dirancang untuk memudahkan pergerakan lalu lintas antar berbagai tujuan. Jalan-jalan ini secara khusus ditujukan untuk mengakomodasi perjalanan jarak menengah dan dicirikan oleh kecepatan rata-rata sedang. Selain itu, jalan kolektor seringkali mempunyai jumlah jalan masuk yang terbatas, sehingga membantu mengatur arus kendaraan dan menjaga efisiensi manajemen lalu lintas.
 3. Jalan lokal adalah salah satu jenis jalan umum yang terutama melayani kebutuhan transportasi lokal. Jalan-jalan ini dicirikan oleh tujuannya untuk memfasilitasi perjalanan jarak pendek, yang sering kali melibatkan kecepatan rata-rata rendah. Selain itu, jalan lokal mempunyai akses yang

tidak terbatas, sehingga memungkinkan adanya titik masuk yang jumlahnya tidak terbatas.

4. Jalan lingkungan adalah sejenis infrastruktur jalan umum yang sengaja dibangun untuk mendukung dan mendorong moda transportasi yang ramah lingkungan. Tujuan dari jalan raya ini adalah untuk memfasilitasi perjalanan jarak pendek dan mendorong pengurangan kecepatan rata-rata, sehingga mengurangi dampak buruk terhadap lingkungan.
5. Jalan raya arteri primer sengaja dirancang memiliki kecepatan rencana minimal 60 km/jam. Lebar jalan ini minimal 8 meter, dan desainnya dioptimalkan untuk meminimalkan jumlah jalan masuk. Jarak minimum yang diperbolehkan antara pintu masuk atau jalan akses langsung tidak boleh kurang dari 500 meter. Kapasitas jalan arteri utama diperkirakan akan meningkat ketika arus lalu lintas mencapai tingkat rata-rata. Menariknya, jalan raya ini tetap utuh meski memasuki lingkungan metropolitan.
6. Jalan raya kolektor primer biasanya dirancang untuk memiliki batas kecepatan yang ditentukan sebesar 40 km/jam dan lebar minimum 7 meter. Jumlah jalan masuk pada dasarnya terbatas, dengan jarak pemisah jalan melebihi 400 meter. Nilai minimal indeks permukaan secara konsisten dipertahankan pada angka 2. Selain itu, jalan raya utama tetap tidak terganggu bahkan ketika memasuki lingkungan metropolitan.
7. Batas kecepatan yang ditetapkan untuk jalan lokal primer adalah 20 kilometer per jam. Jalan raya ini memfasilitasi lalu lintas kendaraan komersial yang mengangkut produk dan bus umum. Sesuai peraturan, lebar minimum jalan yang dipersyaratkan adalah 6 meter. Penting untuk diketahui bahwa jalan raya utama lokal tetap tidak terganggu saat melintasi pemukiman kecil. Selain itu, indeks permukaan jalan harus tetap berada pada nilai minimal 2. Sistem jaringan jalan sekunder dapat didefinisikan sebagai jaringan jalan yang berbeda dari jaringan jalan utama. Jalan raya ini seringkali berfungsi sebagai penghubung jalan raya utama dan memfasilitasi jalan masuk ke desa-desa terdekat dan tujuan lainnya.
8. Jalan raya arteri sekunder dibangun dengan mempertimbangkan standar desain tertentu secara cermat. Standar tersebut mencakup banyak faktor

utama, termasuk kecepatan desain tidak kurang dari 30 km/jam, lebar jalan minimal 8 meter, kapasitas jalan yang memenuhi atau melampaui kebutuhan lalu lintas pada umumnya, dan indeks permukaan minimal 1,5.

9. Jalan lokal sekunder dibangun dengan kecepatan rencana minimal 10 km/jam, lebar badan minimal 5 meter, dan dilarang keras untuk dilalui angkutan barang dan bus. Selain itu, jalan-jalan tersebut perlu memiliki indeks permukaan minimal 1,0.
10. Jalan raya kolektor sekunder sengaja dirancang agar memiliki kecepatan rencana tidak melebihi 20 kilometer per jam. Dibangun dengan lebar jalan kurang dari tujuh meter dan memerlukan indeks permukaan minimal 1,5.

2.2.1. Klasifikasi Jalan

Klasifikasi jalan raya di Indonesia dibedakan berdasarkan peraturan perundang-undangan yang berkaitan dengan jalan raya yaitu Undang-undang Nomor 13 Tahun 1980 dan Peraturan Pemerintah Nomor 26 Tahun 1985 sebagaimana diuraikan oleh Sukirman (2010).

1. Jalan raya nasional merupakan komponen penting dari jaringan jalan primer, yang berfungsi sebagai jalan arteri dan kolektor. Tujuan utamanya adalah untuk menyediakan koneksi antara ibu kota provinsi, jalan raya utama nasional, dan jalan tol.
2. Jalan provinsi merupakan bagian integral dari sistem jaringan jalan utama, yang berfungsi sebagai jalan raya kolektor yang menghubungkan ibu kota provinsi dengan ibu kota kabupaten/kota, serta antar ibu kota kabupaten/kota lainnya. Jalan raya ini sering dikenal sebagai jalur utama provinsi.
3. Jalan kabupaten merupakan suatu komponen sistem jaringan jalan utama yang berfungsi menghubungkan ibu kota kabupaten dengan ibu kota kecamatan, sekaligus memperlancar lalu lintas antar ibu kota kecamatan. Jalan-jalan tersebut juga memiliki tujuan penting dalam memfasilitasi konektivitas antara ibu kota kabupaten dan pusat-pusat kegiatan lokal, serta menghubungkan pusat-pusat kegiatan lokal lainnya. Selain itu, jalan tersebut juga berfungsi sebagai jalan umum dalam sistem jaringan jalan

sekunder di wilayah kabupaten. Selain itu, mereka menyediakan cakupan untuk beberapa kabupaten.

4. Jalan kota adalah bagian dari jaringan jalan sekunder yang berfungsi menghubungkan berbagai pusat layanan di wilayah perkotaan dan dapat diakses oleh masyarakat umum. Tujuan utama dari sistem ini adalah untuk memperlancar hubungan antara pusat layanan dan bidang tanah, sekaligus membangun hubungan antara banyak pusat pemukiman yang terletak di dalam kawasan perkotaan.
5. Jalan desa adalah sejenis jalan raya umum yang berfungsi menghubungkan berbagai wilayah dan komunitas di dalam desa, sekaligus memungkinkan transit di sekitar desa.

Jalan tersebut digambarkan terpisah menjadi dua bagian yang berbeda, sebagaimana dikemukakan Alamsyah (2008).

1. Efektivitas jalan raya tipe I, yang membatasi jalan masuk atau akses langsung, sangat terhambat. Untuk mengetahui alokasi fungsi dan kategorisasi jalan yang memiliki akses langsung terbatas, disarankan untuk merujuk pada **Tabel 2.1** yang dipublikasikan oleh Alamsyah pada tahun 2008.

Tabel 2. 1 Klasifikasi Jalan

Fungsi utama	Kelas	
		Arteri
Primer	Kolektor	II
Sekunder	Arteri	II

Sumber: Alamsyah, 2008

2. Jalan Tipe II merupakan jalan masuk atau akses langsung, namun dengan beberapa batasan, seperti terlihat pada tabel di bawah ini: Untuk informasi mengenai alokasi fungsi dan klasifikasi jalan dengan akses langsung terbatas, silakan merujuk pada **Tabel 2.2** seperti yang disajikan dalam kajian yang dilakukan oleh Alamsyah pada tahun 2008.

Tabel 2. 2 Klasifikasi Jalan

Fungsi		Volume LL Rencana (smp)	Kelas
Utama	Arteri		I
	Kolektor	10.000 atau lebih	I
Sekunder	Arteri	20.000 atau lebih	I
		Kurang dari 20.000	II
	Kolektor	6000 atau lebih	II
		Kurang dari 6000	III
	Lokal	500 atau lebih	III
		Kurang dari 500	VI

Sumber: Alamsyah, 2008

Konsep kecepatan desain mengacu pada kecepatan pengambilan keputusan perencanaan atau desain, dengan mempertimbangkan banyak faktor fisik yang mempengaruhi fungsi kendaraan. Istilah "kecepatan" mengacu pada kecepatan tertinggi yang dapat dicapai kendaraan yang dapat mempertahankan keadaan stabil, sehingga pergerakannya dapat dikontrol dengan sengaja. Perbedaan kecepatan perkotaan pada jalan perkotaan dapat dikategorikan menurut jenis dan kelasnya, seperti terlihat pada grafik yang disajikan oleh Hadihardaja (1987). **Tabel 2.3** dapat digunakan untuk memastikan klasifikasi suatu jalan, kelas jalan, dan kecepatan yang ditentukan.

Tabel 2. 3 Kecepatan Rencana

Tipe jalan	Kelas Jalan	Kecepatan (km/jam)
Tipe I	Kelas I	100 atau 80
	Kelas II	100 atau 60
Tipe II	Kelas I	60
	Kelas II	60 atau 50
	Kelas II	40 atau 30
	Kelas IV	30 atau 20

Sumber: Direktorat Jendral Bina Marga Standar Perencanaan Geometrik Jalan Perkotaan 1988

2.3. Lapis Tambahan Pada Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur dirancang dengan tujuan untuk mengakomodasi lalu lintas kendaraan sepanjang umur layanan yang ditentukan. Dengan berjalannya waktu masa pelayanan, perkerasan akan mengalami kerusakan, seperti: alur yang berlebihan, retak yang berlebihan, penurunan kualitas kenyamanan berkendara dan penurunan tahanan gelincir (kekesatan) pada permukaan. Jika perkerasan dipelihara dengan baik, maka kerusakan yang berlebihan tidak akan terjadi. Namun demikian, seiring berjalannya waktu, perkerasan tersebut mungkin menghadapi masalah biaya pemeliharaan yang sangat tinggi, dan kapasitas struktur perkerasan untuk menahan beban lalu lintas di masa depan mungkin tidak lagi dianggap memuaskan dalam memenuhi kriteria yang ditentukan. Dengan alasan tersebut, penanganan perkerasan dengan cara pemberian lapis tambahan (*overlay*) lebih disukai. Pemberian lapis tambahan, dalam kondisi yang diinginkan) agar kemampuan pelayanan memadai) (Hardiyatmo,2019).

Hal penting yang perlu diperhatikan sebelum dilakukan pekerjaan lapis tambahan adalah perbaikan kerusakan berikut ini harus lebih dul dilakukan:

1. Retak kulit buaya
2. Retak – retak berbentuk garis
3. Alur – alur.
4. Permukaan tidak teratur, termasuk amblas, bergelombang dan lain-lain.

2.4. Umur Rencana

Konsep umur rencana mengacu pada lamanya suatu perkerasan jalan dapat mempertahankan kapasitas pelayanannya sebelum diperlukannya perbaikan atau penghentian kapasitas pelayanannya. Ketika mempertimbangkan konstruksi perkerasan jalan, penting untuk menentukan secara cermat umur desain atau durasi perkerasan (Hardiyatmo, 2019).

Konsep umur desain, sebagaimana didefinisikan oleh Departemen Pekerjaan Umum (1987), berkaitan dengan jangka waktu yang telah ditentukan sebelumnya, dinyatakan dalam tahun, mulai dari pembukaan jalan pertama hingga diperlukannya perbaikan besar-besaran. atau dianggap penting untuk memberikan tingkat kedangkalan ekstra. Konsep umur desain mengacu pada durasi, diukur dalam tahun, antara dimulainya penggunaan jalan dan titik di mana pemeliharaan atau perbaikan

diperlukan.

Memastikan pelaksanaan perbaikan perkerasan jalan tepat waktu adalah hal yang sangat penting. Perawatan yang konsisten diperlukan untuk penerapan lapisan non-struktural yang berfungsi sebagai pelindung terhadap keausan dan kerusakan akibat air. Dalam konteks pembangunan jalan baru, masa pakai perkerasan fleksibel sering kali diperkirakan mencapai 20 tahun, sedangkan untuk perbaikan jalan, masa pakai perkerasan fleksibel biasanya diperkirakan mencapai 10 tahun. Sukirman (1999) berpendapat bahwa kelayakan ekonomi dari umur desain yang lebih dari 20 tahun telah berkurang sebagai akibat dari kemajuan signifikan dalam pola lalu lintas dan kesulitan yang terkait dengan pencapaian ketelitian yang cukup.

2.5. Metode Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2017

2.5.1. Prosedur Desain Overlay

Terdapat tiga metode berbeda untuk menentukan ketebalan lapisan atas, yang bergantung pada beban lalu lintas yang diantisipasi.

1. Lalu Lintas lebih kecil atau sama dengan 100.000 ESA4

Retakan akibat kelelahan jarang dilihat sebagai suatu jenis kerusakan pada jalan raya dengan volume lalu lintas rendah dan perkerasan yang menunjukkan reflektifitas dan retakan yang tinggi (disebut sebagai perkerasan Retak Reflektif Tinggi, atau HRS). Berdasarkan parameter-parameter yang disebutkan di atas, tidak perlu menyertakan desain jalan yang dapat mengantisipasi beban lalu lintas di bawah 100.000 Gandar Standar Setara (ESA4) dan menggunakan perkerasan dengan kinerja pelapisan kelelahan Tingkat Keparahan Tinggi (HRS). Kecukupan ketebalan lapisan atas desain dapat ditentukan dengan menggunakan pendekatan defleksi maksimum (D0), seperti ditunjukkan pada Gambar 6.1.

2. Lalu Lintas lebih besar dari 100.000 ESA4

Rekahan akibat kelelahan dapat terjadi pada lapisan aspal ketika terkena volume lalu lintas melebihi 100.000 beban gandar tunggal yang setara (ESA4). Oleh karena itu, penting untuk memasukkan kriteria deformasi permanen, yaitu pendekatan defleksi maksimum yang dilambangkan dengan D0, serta kriteria retak lelah, khususnya pendekatan kurva defleksi yang dilambangkan dengan D0 – D200. Gunakan bagan desain yang ditunjukkan pada Gambar 6.1 dan Gambar 6.5. Bagian

1.1 memberikan penjelasan menyeluruh mengenai kurva defleksi, disertai dengan ilustrasi praktis penerapannya melalui penggunaan grafik desain.

3. Lalu Lintas lebih besar 10×10^6 ESA4 atau 20×10^6 ESA5

Untuk melakukan kegiatan restorasi pada jalan yang mengalami beban lalu lintas diatas 10×10^6 ESA4 atau 20×10^6 ESA5, perlu menggunakan teknik mekanistik empiris yang dikenal dengan Pt T-01-2002-B atau metode AASHTO 1993.

Prosedur mekanistik empiris menggunakan data defleksi permukaan dan ketebalan perkerasan yang telah ditetapkan untuk melakukan perhitungan kebalikan dari nilai modulus lapisan perkerasan. Selain itu, penggunaan nilai modulus lazim dalam evaluasi berbagai alternatif desain rekonstruksi atau pelapisan ulang dengan menggunakan perangkat lunak analisis perkerasan multi-lapis yang canggih. Bab 7 di Bagian 1 Manual ini menawarkan pemeriksaan menyeluruh terhadap pendekatan mekanistik empiris.

Teknik untuk menggunakan tambahan perkerasan fleksibel, sebagaimana diuraikan dalam pedoman AASHTO 1993 atau Pt T-01-2002-B, melibatkan pertimbangan defleksi permukaan. Secara khusus, suhu standar di mana defleksi maksimum (D0) diukur diatur pada 680°F atau 200°C . Oleh karena itu, perlu dilakukan standarisasi defleksi tertinggi yang terlihat selama pengukuran suhu hingga suhu 200°C .

2.5.2. Analisis Lalu Lintas

Berdasarkan data yang ada, jalan tersebut dapat digolongkan sebagai jalur kolektor pedesaan. Nilai tingkat pertumbuhan yang terkait dengan jalan ini, yang mewakili rata-rata Indonesia, ditetapkan sebesar 3,50%. Fenomena peningkatan lalu lintas dapat dilihat pada **Tabel 2.4**.

Tabel 2. 4 Pertumbuhan Lalu Lintas

	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 : *Manual Desain Pekerjaan Jalan Bina Marga, 2017*

Untuk menjamin umur panjang perkerasan pada tahap perencanaan awal, lihat **Tabel 2.5**.

Tabel 2. 5 Umur Rencana (UR)

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

Sumber : *Manual Desain Pekerjaan Jalan Bina Marga, 2017*

Variabel yang mewakili peningkatan kumulatif lalu lintas pada persamaan 2.16 didefinisikan sebagai berikut:

$$R = \frac{(1+0,01 i)^{UR}-1}{0,01 i} \dots\dots\dots 2.16$$

Lalu lintas harian rata-rata ditentukan dengan menggunakan rencana beban tipikal seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2.17.

$$LHR_{aur} = LHR_{pd} \times (1 + i)^n \dots\dots\dots 2.17$$

Dimana :

LHR_{aur} = LHR pada awal umur rencana

LHR_{pd} = LHR pada pengumpulan data

I = Pertumbuhan lalu lintas

n = Umur Rencana

2.5.3. Lalu Lintas Pada Lajur Rencana

Istilah "jalur desain" mengacu pada jalur lalu lintas tertentu dalam suatu ruas jalan yang terutama dirancang untuk menampung sejumlah besar kendaraan komersial, seperti truk dan bus. Kuantifikasi volume lalu lintas pada suatu lajur tertentu ditentukan oleh beban gandar standar kumulatif (ESA) yang meliputi faktor

distribusi arah (DD) dan faktor distribusi lajur kendaraan niaga (DL).

$$DD = 0,50$$

(Kecuali pada lokasi-lokasi yang jumlah kendaraan cenderung lebih tinggi dari satu arah tertentu)

Memastikan bahwa beban desain yang diterapkan pada masing-masing lajur tetap berada dalam kapasitas umur lajur yang ditetapkan adalah hal yang sangat penting. Konsep kapasitas lajur diatur dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 19/PRT/M/2011 tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan. Undang-undang ini mengatur rasio tertentu yang harus dipenuhi antara jumlah lalu lintas pada suatu rute dan kapasitasnya. Nilai faktor sebaran lajur (DL) dapat dilihat pada **Tabel 2.6**.

Tabel 2. 6 Faktor Distribusi Lajur (DL)

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

Sumber : *Manual Desain Pekerjaan Jalan Bina Marga, 2017*

2.5.4. Menentukan Nilai Vehicle Damage Factor

Proses pengubahan beban lalu lintas menjadi beban standar (ESA) dalam bidang desain perkerasan dilakukan melalui penggunaan Faktor Kerusakan Kendaraan. Pemeriksaan struktur perkerasan meliputi penilaian total akumulasi Beban Gandar Tunggal Ekuivalen (ESA) yang diterapkan pada rute yang ditentukan selama umur yang diharapkan. **Tabel 2.7** menyajikan kondisi yang diperlukan untuk pengumpulan data beban gandar.

Tabel 2. 7 Pengumpulan Data Beban Gandar

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

Jalan Kecil	2 atau 3
-------------	----------

Sumber : *Manual Desain Pekerjaan Jalan Bina Marga, 2017*

Penelitian yang dilakukan pada tahun 2017 hanya terfokus pada kajian Metode Perancangan Perkerasan Jalan Manual, khususnya menyangkut kendaraan niaga minimal roda enam. Nilai VDF untuk masing-masing kendaraan ditunjukkan pada **Tabel 2.8**, beserta penjelasannya.

Tabel 2. 8 Nilai VDF Masing-Masing Kendaraan

Jenis Kendaraan	Jawa			
	Beban Aktual		Normal	
	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5
5B	1,0	1,0	1,0	1,0
6A	0,6	0,5	0,6	0,5
6B	5,3	9,2	4,0	5,1
7A1	8,2	14,4	4,7	6,4
7A2	10,2	19,0	4,3	5,6
7B1	11,8	18,2	9,4	13,0
7B2	13,7	21,8	12,6	17,8
7C1	11,0	19,8	7,4	9,7
7C2A	17,7	33,0	7,6	10,2
7C2B	13,4	23,2	6,5	8,5
7C3	18,1	34,4	6,1	7,7

Sumber : *Manual Desain Perkerasan Jalan, 2017*

2.5.5. Beban Sumbu Standar Kumulatif

Beban Gandar Standar Kumulatif, juga dikenal sebagai Beban Gandar Tunggal Ekuivalen Kumulatif (CESAL), mengacu pada jumlah total beban gandar dari lalu lintas desain pada jalur yang ditentukan selama masa pakai yang diharapkan. Nilai tersebut dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.18 yang disajikan sebagai berikut:

Penggunaan Vehicle Dynamic Feedback (VDF) untuk setiap kendaraan niaga

$$ESA_{TH-1} = (\sum LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R \dots\dots\dots 2.18$$

Keterangan :

ESATH-1	:	Kumulatif lintasan sumbu standar ekuivalen (equivalent standard axle) pada tahun pertama
Σ LHRJK	:	Lintas harian rata – rata tiap jenis kendaraan niaga (satuan kendaraan per hari).
VDFJK	:	Faktor Ekuivalen Beban (<i>Vehicle Damage Factor</i>) tiap jenis kendaraan niaga Tabel 4.4. dan Tabel 4.5.
DD	:	Faktor distribusi arah.
DL	:	Faktor distribusi lajur (Tabel 4.2).
CESAL	:	Kumulatif beban sumbu standar ekuivalen selama umur rencana.
R	:	Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif (subbab 4.4)

Setelah menghitung Lalu Lintas Harian Rata-Rata maka didapatkan hasil CESA5 (*Cumulative Equivalent Single Axle*) dengan rumus $CESA5 = \Sigma ESA5(1) + \Sigma ESA5(2)$, maka dapat kita tentukan tebal perkerasan lapis atas tambahan (*Overlay*) menurut **Tabel 2.9**.

Tabel 2. 9 Desain Perkerasan Lentur – Aspal Dengan Lapis Fondasi Butir

	STRUKTUR PERKERASAN							
	FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8
Solusi yang di pilih					Lihat catatan 2			
Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (10^5 ESA5)	<2	$\geq 2-7$	>7-10	>10-20	>20-30	>30-50	>50-100	>100-200
KETEBALAN LAPIS PERKERASAN (mm)								
AC WC	40	40	40	40	40	40	40	40
AC BC	60	60	60	60	60	60	60	60
AC Base	0	80	105	145	160	180	201	245

LFA Kelas A	400	300	300	300	300	300	300	300
Catatan	1	2	3					

Sumber : *Manual Desain Perkerasan Jalan, 2017*

Proses penentuan lapisan perkerasan meliputi evaluasi kondisi perkerasan eksisting dan pengambilan keputusan mengenai material lapisan atas dan ketebalan yang sesuai untuk diterapkan. Fasilitasi ketebalan dapat ditingkatkan dengan penggunaan data CESA dan penerapan Metode Bina Marga 2017, seperti terlihat pada **Tabel 2.10**. informasi yang diberikan, dapat disimpulkan bahwa

Tabel 2. 10 Pemilihan Struktur Perkerasan

OVERLAY PERKERASAN EKSISTING					
Struktur Perkerasan	Kumulatif ESA5 20* tahun (juta)**				
	<0,1	0,1-4	4-10	>10-30	>30
AC-WC/BC modifikasi SBS					
AC-WC/BC modifikasi yang disetujui					
AC-WC/BC normal					

Sumber : *Manual Desain Perkerasan Jalan, 2017*

Beberapa aspek perlu dipertimbangkan:

- Pengeluaran yang dikeluarkan selama durasi layanan, terkadang disebut sebagai potongan biaya umur layanan, berada pada tingkat minimum dan layak untuk diterapkan. Oleh karena itu, penting untuk menghitung biaya yang terkait dengan setiap alternatif dan memilih solusi yang menawarkan pilihan paling murah.
- Proyeksi umur lapisan perkerasan fleksibel adalah sepuluh tahun.
- Dalam situasi di mana ketebalan lapisan paling atas yang ditentukan melampaui 100 mm untuk jalan yang dapat menangani volume lalu lintas hingga 4x10⁶ ESA5, atau melampaui kisaran 150 mm hingga 210 mm untuk jalan yang dapat menangani volume lalu lintas melebihi 4x10⁶ ESA5, dan ketika arus kondisi trotoar sudah sangat rusak sehingga memerlukan intervensi yang besar. Apabila area yang memerlukan penambalan melebihi 30% dari total permukaan perkerasan, maka disarankan untuk mempertimbangkan potensi kelayakan pembangunan kembali secara menyeluruh sebagai pilihan yang layak untuk melakukan pelapisan ulang.

- Pengencang yang dimodifikasi memberikan keuntungan penting; namun penggunaannya memerlukan sumber daya dan pengalaman kontraktor, yang seringkali kurang. Penggunaan aspal yang dimodifikasi bergantung pada ketersediaan sumber daya penting dan kepemilikan pengetahuan yang diperlukan. Penggunaan aspal modifikasi berpotensi memperluas penerapan lapisan aspal tipis dan lapisan keausan dalam mengakomodasi tingkat beban lalu lintas yang lebih luas, termasuk kondisi lalu lintas tinggi.
- Perkerasan kaku dapat dianggap sebagai pilihan yang layak untuk permukaan jalan yang rusak parah dan mengalami beban lalu lintas melebihi 30x10⁶ ESA4 dalam kurun waktu 20 tahun. Namun, penting untuk melakukan perbandingan desain dan analisis biaya untuk menentukan kelayakan dan efektivitasnya.
- Proses daur ulang memerlukan penggunaan peralatan khusus dan keterlibatan kontraktor dengan keahlian tertentu.

2.5.6. Tebal Overlay Non-Struktural

Lapisan pelapis harus memenuhi atau melebihi ketebalan minimum yang disyaratkan. Untuk mencapai tingkat pemerataan tertentu, penting untuk mengaplikasikan aspal yang lebih tebal pada permukaan yang menunjukkan ketidakrataan.

Jika pelapisan ulang dimaksudkan hanya untuk tujuan meningkatkan kerataan dan tidak mempunyai implikasi struktural, ketebalan pelapisan yang sesuai dapat ditentukan dengan mengacu pada **Tabel 2.11** di bawah ini:

Tabel 2. 11 Tebal Overlay Untuk Menurunkan IRI (Non-Struktural)

IRI rata-rata perkerasan eksisting	Tebal overlay minimum non-struktural untuk mencapai IRI = 3 setelah overlay (mm)
4	40
5	45
6	50
7	55
8	60

Sumber : *Manual Desain Perkerasan Jalan, 2017*

2.6. Metode Analisa Komponen 1987

Pendekatan analisis komponen yang dikenal dengan SKBI.2.3.26.1987 merupakan metodologi yang dikembangkan berdasarkan standar AASHTO'72 dan disesuaikan dengan kondisi jalan unik di Indonesia. (Sukirman, 2010)

2.6.1. Jumlah Jalur dan Koefisien Distribusi Kendaraan (C)

Dalam konteks mobil yang melintasi jalan secara berulang-ulang di dalam lajur yang ditentukan, ekuivalen lalu lintas berkaitan dengan beban yang diberikan pada perkerasan jalan, yang dihitung hanya untuk satu lajur. Secara khusus, jalur ini diidentifikasi sebagai jalur tersibuk, ditandai dengan jumlah lalu lintas terbesar, dan kadang-kadang disebut sebagai jalur desain. Jalur desain mengacu pada jalur lalu lintas tertentu dalam suatu segmen jalan yang dimaksudkan untuk menangani volume lalu lintas tertinggi. Adanya garis batas lajur pada suatu jalan merupakan salah satu faktor penentu jumlah lajur. Namun, jika marka tersebut tidak ada, lebar perkerasan memainkan peran penting dalam mempengaruhi jumlah lajur. Informasi ini berdasarkan daftar SKBI 1987. Penentuan lebar perkerasan dan jumlah lajur dapat dilihat pada **Tabel 2.12** di bawah ini.

Tabel 2. 12 Jumlah Lajur Berdasarkan Lebar Perkerasan

Lebar Perkerasan (L)	Jumlah Lajur (n)
$L < 5,50 \text{ m}$	1 Jalur
$5,50 \text{ m} \leq L < 8,25 \text{ m}$	2 Jalur
$8,25 \text{ m} \leq L < 11,25 \text{ m}$	3 Jalur
$11,25 \text{ m} \leq L < 15,00 \text{ m}$	4 Jalur
$15,00 \text{ m} \leq L < 18,75 \text{ m}$	5 Jalur
$18,75 \text{ m} \leq L < 22,00 \text{ m}$	6 Jalur

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 1987

Tabel 2.13 menyajikan koefisien distribusi kendaraan (C) baik untuk kendaraan ringan maupun berat yang melintasi rute yang ditentukan.

Tabel 2. 13 Koefisien Distribusi Kendaraan (C)

Jumlah Lajur	Kendaraan Ringan		Kendaraan Berat	
	1 arah	2 arah	1 arah	2 arah
1 Jalur	1,00	1,00	1,00	1,000
2 Jalur	0,60	0,50	0,70	0,500

3 Jalur	0,40	0,40	0,50	0,475
4 Jalur	-	0,30	-	0,450
5 Jalur	-	0,25	-	0,425
6 Jalur	-	0,20	-	0,400

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 1987

2.6.2. Lalu Lintas Harian Rata – Rata

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Departemen Pekerjaan Umum pada tahun 1987, perkiraan pertumbuhan kendaraan selama dua tahun sebelumnya dapat dicapai dengan menggunakan persamaan 2.1 dan persamaan 2.2. Persamaan ini masing-masing sesuai dengan Lalu Lintas Harian Rata-rata dan Rumus Lalu Lintas.

$$b = a (1+i)^n \dots\dots\dots 2.1$$

$$i = [(b/a)^{1/n} - 1] \times 100\% \dots\dots\dots 2.2$$

Keterangan:

b = Volume lalu lintas tahun ke n

a = Volume lalu lintas tahun a

i = Tingkat pertumbuhan lalu lintas (% pertahun)

2.6.3. Angka Ekuivalen Beban Sumbu Kendaraan (E)

Nilai bilangan ekuivalen (E) ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.3 dan persamaan 2.4. (Sumber: Departemen Perkerjaan Umum, 1987)

$$a. E \text{ sumbu tunggal} = \left(\frac{\text{Beban sumbu tunggal dalam kg}}{8610} \right)^4 \dots\dots\dots 2.3$$

$$b. E \text{ sumbu ganda} = \left(\frac{\text{Beban sumbu tunggal}}{8610} \right)^4 \times 0.086 \dots\dots\dots 2.4$$

Tabel 2.14 menampilkan Gambar Ekuivalen (E) untuk setiap kendaraan, yang ditentukan berdasarkan kelas beban gandarnya.

Tabel 2. 14 Angka Ekuivalen Beban Sumbu Kendaraan

Beban Sumbu		Angka Ekuivalen	
Kg	Lb	Sumbu Tunggal	Sumbu Ganda
1000	2205	0,0002	-
2000	4409	0,0036	0,0003
3000	6614	0,0183	0,0016
4000	8818	0,0577	0,0050

5000	11023	0,141	0,0121
6000	13228	0,2923	0,0251
7000	15432	0,5415	0,0466
8000	17637	0,9238	0,0794
8160	18000	1,0000	0,0860
9000	19841	1,4798	0,1273
10000	22046	2,2555	0,1940
11000	24251	3,3022	0,2840
12000	26455	4,6770	0,4022
13000	22860	6,4419	0,5540
14000	30864	8,6647	0,7452
15000	33069	11,4184	0,9820
16000	35267	14,7815	1,2712

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 1987

2.6.4. Lalu Lintas Harian Rata-rata dan Rumus Lintas Ekuivalen

Penentuan rumus penghitungan lalu lintas rata-rata harian dan lalu lintas ekuivalennya dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

- a. Penentuan Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR) untuk setiap jenis kendaraan dilakukan pada awal umur desain. Perhitungan tersebut dilakukan untuk dua orientasi pada suatu jalan raya tanpa pembatas tengah, atau untuk setiap orientasi pada suatu jalan raya menggunakan persamaan 2.5.

$$LHR_n = (1 + i)^n \times LHR_0 \dots\dots\dots 2.5$$

- b. Perhitungan Initial Equivalent Cross (LEP) ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.6.

$$LEP = \sum_{j=1}^n LHR_j \times C_j \times E_j \dots\dots\dots 2.6$$

Catatan: j = jenis kendaraan

- c. Perhitungan Final Equivalent Cross (LEA) ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.7.

$$LEA = \sum LHR_j (1 + i)^{UR} \times C_j \times E_j \dots\dots\dots 2.7$$

Catatan: i = perkembangan lalu lintas

j = jenis kendaraan

- d. Penentuan Persilangan Setara Tengah (LET) dapat dilakukan dengan menggunakan rumus matematika yang dilambangkan dengan persamaan 2.8.

$$LET = \frac{1}{2}(LEP + LEA) \dots\dots\dots 2.8$$

- e. Cross Equivalent Plan (LER) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.9.

$$LER = LET \times FP \dots\dots\dots 2.9$$

- f. Perhitungan Faktor Penyesuaian (FP) ditentukan dengan menggunakan rumus yang dilambangkan dengan persamaan 2.10.

$$FP = UR/10 \dots\dots\dots 2.10$$

2.6.5. Penentuan Harga CBR (*California Bearing Ratio*)

Penggunaan pengujian laboratorium untuk California Bearing Ratio (CBR) sering digunakan dalam kemajuan strategis infrastruktur jalan baru. Saran yang berlaku adalah hanya menggunakan pengukuran California Bearing Ratio (CBR) untuk tujuan memastikan kemampuan daya dukung tanah dasar. Cara alternatif hanya digunakan jika didukung oleh bukti yang dapat dipercaya. Prosedur lain yang dapat digunakan antara lain Group Index, Plate Bearing Test, dan R-value (Sukirman, 2010).

1. Perhitungan Secara Analitis atau Teoritis

Setelah memperoleh data CBR, lanjutkan dengan mengidentifikasi nilai spesifik yang terkait dengan segmen CBR. Penggunaan Persamaan 2.11 dapat dilakukan.

$$CBR \text{ segmen} = \frac{CBR \text{ rata-rata} - CBR \text{ max} - CBR \text{ min}R}{R} \dots\dots\dots 2.11$$

Nilai R bergantung pada volume data yang dimasukkan selama segmen tertentu. Nilai R dapat dilihat pada **Tabel 2.15**.

Tabel 2. 15 Nilai R Untuk Perhitungan CBR Segmen

Jumlah Titik Pengamatan	Nilai R
2	1,41
3	1,91
4	2,24

5	2,48
6	2,67
7	2,83
8	2,96
9	3,08
>10	3,18

Sumber: Sukirman,2010

2. Perhitungan Secara Grafik

Struktur harga berdasarkan kompilasi harga CBR yang dikumpulkan adalah sebagai berikut:

- a. Identifikasi rasio biaya terhadap buku (CBR) minimum.
- b. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan nilai pricing masing-masing CBR dan hubungannya dengan nilai CBR masing-masing.
- c. Nilai maksimum dilambangkan dengan 100%. Jumlah tambahan dinyatakan sebagai proporsi 100%.
- d. Representasi grafis yang menggambarkan korelasi antara harga CBR dan persentase kuantitas yang sesuai telah dihasilkan.
- e. Nilai khas California Bearing Ratio (CBR) ditentukan dengan angka persentase 90%.

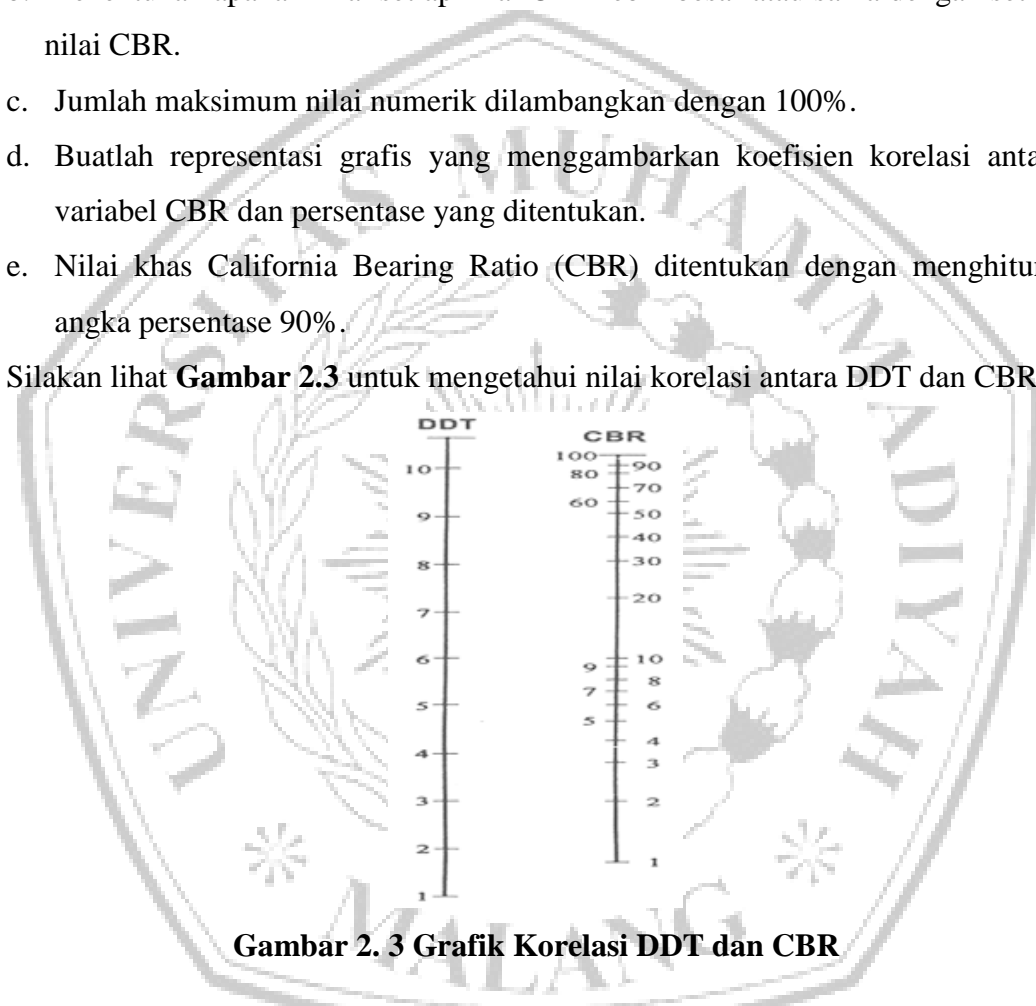
2.6.6. Daya Dukung Tanah Dasar (DDT) dan CBR (*California Bearing Ratio*)

Penilaian kekuatan dan kemampuan menahan beban tanah dasar melibatkan penggunaan dua ukuran penting, yaitu Dynamic Cone Penetration Test (DDT) dan California Bearing ability Ratio (CBR). Pengukuran ini memainkan peran penting dalam mengevaluasi daya dukung tanah dasar. Penentuan daya dukung tanah dasar atau dikenal dengan Dynamic Cone Penetration Test (DDT) bergantung pada penggunaan grafik korelasi. Menurut Departemen Pekerjaan Umum (1987), istilah penetapan harga CBR mencakup biaya CBR lapangan dan harga CBR laboratorium. Uji lapangan California Bearing Ratio (CBR) melibatkan ekstraksi sampel tanah tidak terganggu menggunakan tabung khusus, diikuti dengan penjuanan dan evaluasi selanjutnya untuk memastikan nilai CBR-nya. Pengukuran langsung kelembaban tanah juga dapat dilakukan di lapangan pada saat curah hujan

tinggi atau pada saat tanah jenuh. Uji lapangan California Bearing Ratio (CBR) sering digunakan dalam penentuan ketebalan yang sesuai untuk lapisan tambahan, seperti lapisan luar, dalam konteks perencanaan. Penentuan harga yang mewakili kisaran harga CBR yang disebutkan dituangkan dalam laporan Departemen Pekerjaan Umum tahun 1987.

- Menetapkan nilai dari CBR paling rendah.
- Menentukan apakah nilai setiap nilai CBR lebih besar atau sama dengan setiap nilai CBR.
- Jumlah maksimum nilai numerik dilambangkan dengan 100%.
- Buatlah representasi grafis yang menggambarkan koefisien korelasi antara variabel CBR dan persentase yang ditentukan.
- Nilai khas California Bearing Ratio (CBR) ditentukan dengan menghitung angka persentase 90%.

Silakan lihat **Gambar 2.3** untuk mengetahui nilai korelasi antara DDT dan CBR.



Gambar 2.3 Grafik Korelasi DDT dan CBR

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 1987

Catatan: Setelah perolehan nilai laporan CBR dilanjutkan dengan menggambar garis berlawanan arah yaitu dari kanan ke kiri untuk memastikan nilai DDT.

Perhitungan nilai DDT (Daya Dukung Tanah) dapat ditunjukkan dengan menggunakan persamaan 2.12.

$$DDT = 4,3 \times \log CBR + 1,7 \dots\dots\dots 2.12$$

Nilai CBR dapat dihitung dengan metode matematika atau teknik grafis, seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2.13.

$$CBR = \frac{CBR \text{ Grafis} + CBR \text{ analitis}}{2} = \dots\dots\dots 2.13$$

2.6.7. Faktor Regional

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Departemen Pekerjaan Umum pada tahun 1987. Mengingat kesesuaian antara kriteria pemanfaatan dan iterasi terbaru dari “Peraturan Pelaksanaan Pembangunan Jalan Raya”, maka wajar untuk menafsirkan kondisi lapangan yang berkaitan dengan permeabilitas tanah dan drainase sebagai sinonim. Variabel wilayah dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti konfigurasi alinyemen (terdiri dari kemiringan dan tikungan), rasio truk berat dan kendaraan yang tidak bergerak, dan kondisi iklim (khususnya curah hujan). Variabel-variabel tersebut di atas telah dicatat dan disajikan pada **Tabel 2.16.**

Tabel 2. 16 Faktor Regional (FR)

	Kelandaian I (<6%)		Kelandaian II (6-10%)		Kelandaian III (>10%)	
	% Kendaraan Berat		% Kendaraan Berat		% Kendaraan Berat	
	≤ 30%	> 30%	≤ 30%	> 30%	≤ 30%	> 30%
Iklm I < 900 mm/th	0,5	1,0 - 1,5	1,0	1,5 - 2,0	1,5	2,0 - 2,5
Iklm II > 900 mm/th	1,5	2,0 - 2,5	2,0	2,5 - 3,0	2,5	3,0 - 3,5

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 1987

Catatan: Di beberapa ruas jalan, seperti persimpangan jalan, halte bus, atau tikungan tajam dengan radius 30 meter, terlihat peningkatan ketahanan gesekan (FR) sebesar 0,5 kali. Di lingkungan rawa, hambatan gesek (FR) mengalami peningkatan sebesar 1,0.

$$\% \text{ kendaraan berat} = \frac{\text{jumlah kendaraan berat}}{\text{jumlah semua kendaraan}} \times 100\% \dots\dots\dots 2.14$$

2.6.8. Indeks Permukaan

Indeks Permukaan mengkuantifikasi atribut kehalusan dan kekerasan permukaan tertentu, yang secara langsung berdampak pada kualitas layanan yang

dialami oleh lalu lintas yang melintasinya. Sesuai dengan temuan Departemen Pekerjaan Umum (1987), serangkaian nilai IP dan penafsirannya dapat diidentifikasi.

- IP = 1,0: adalah menyatakan permukaan jalan tersebut keadaan rusak berat sehingga sangat menghambat lalu lintas kendaraan.
- IP = 1,5: adalah tingkat pelayanan terendah yang masih memungkinkan
- IP = 2,0: adalah tingkat pelayanan rendah bagi jalan yang masih bagus.
- IP = 2,5: adalah menyatakan permukaan jalan cukup stabil dan baik.

Untuk menjamin indeks permukaan (IP) setelah mencapai akhir umur rencana, penting untuk mempertimbangkan faktor kategorisasi fungsi jalan dan jalur ekuivalen rencana (LER), seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 2.17**.

Tabel 2. 17 Indeks Permukaan Pada Akhir Umur Rencana

LER = Lintas Ekivalen Rencana	Klasifikasi Jalan			
	Lokal	Kolektor	Arteri	Tol
< 10	1,0 – 1,5	1,5	1,5 – 2,0	-
10 - 100	1,5	1,5 – 2,0	2	-
100 – 1000	1,5 – 2,0	2	2,0 – 2,5	-
> 1000	-	2,0 – 2,5	2,5	2,5

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 1987

*) Faktor Kesetaraan Beban (LER) adalah satuan yang digunakan untuk menyatakan angka setara dengan 8,16 ton beban gandar tunggal.

Catatan: Dalam konteks inisiatif infrastruktur jalan seperti JAPAT (Bantuan Bersama untuk Proyek Transportasi Arteri) atau pembangunan jalan raya yang hemat biaya atau darurat, Penyediaan Infrastruktur (IP) dapat dilihat sebagai 1.0.

Saat memilih indeks permukaan awal (IPo) pada tahap desain, penting untuk mempertimbangkan karakteristik lapisan atas, yaitu kerataan/kehalusan dan kekakuannya. Pertimbangan ini harus didasarkan pada informasi yang diberikan pada **Tabel 2.18**.

Tabel 2. 18 Indeks Permukaan Pada Awal Umur Rencana (IPo)

Jenis Permukaan	IPo	Roughness (mm/km)
LASTON	≥ 4	≤ 1000

	3,9 – 3,5	> 1000
LASBUTAG	3,9 – 3,5	≤ 1000
	3,4 – 3,0	> 2000
HRA	3,9 – 3,0	≤ 1000
	3,4 – 3,0	> 2000
BURDA	3,9 – 3,5	< 2000
BURTU	3,4 – 3,0	< 2000
LAPEN	3,4 – 3,0	≤ 3000
	2,9 – 2,5	> 3000
LATASBUM	2,9 – 2,5	
BURAS	2,9 – 2,5	
LATASIR	2,9 – 2,5	
JALAN TANAH	≤ 2,4	
JALAN KERIKIL	≤ 2,4	

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 1987

Perangkat yang digunakan untuk mengukur kekasaran adalah roughometer NAASRA, yang dipasang pada station wagon Datsun 1500 biasa. Alat ini bekerja dengan perkiraan kecepatan ± 32 kilometer per jam. Roughometer menerima perpindahan vertikal poros belakang melalui kabel yang ditempatkan di tengah poros belakang kendaraan. Informasi ini kemudian dikomunikasikan ke loket 16 menggunakan mekanisme penggerak fleksibel. Setiap putaran penghitung dikaitkan dengan perpindahan vertikal sebesar 15,2 mm antara poros belakang dan badan kendaraan.

2.6.9. Koefisien Kekuatan Relatif (a)

Penentuan koefisien kekakuan relatif (a) masing-masing material dan kesesuaiannya sebagai lapisan atas subbase dipengaruhi oleh korelasi yang ada antara nilai Marshall Test untuk material yang digabungkan dengan aspal, kuat tekan untuk material yang distabilkan menggunakan aspal, semen, atau kapur, dan California Bearing Ratio (CBR) untuk lapisan pondasi atau bahan sub-base. Jika Uji Marshall tidak tersedia, teknik lain seperti Uji Triaksial Hveem, Hubbard Field, dan Smith dapat digunakan untuk mengevaluasi kekuatan (stabilitas) bahan aspal.

Tabel 2.19 menampilkan koefisien kekuatan relatif.

Tabel 2. 19 Koefisien Kekuatan Relatif (a)

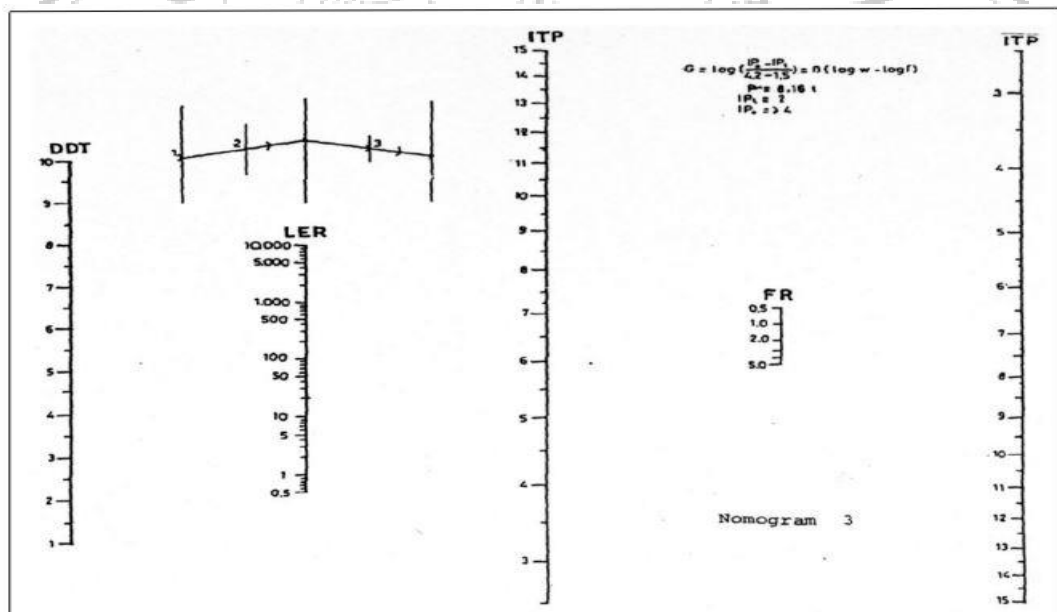
Koefisien Kekuatan Relatif			Kekuatan Bahan			Jenis Bahan
a1	a2	a3	MS (kg/cm)	Kt (kg/cm)	CBR (%)	
0,40	-	-	744	-	-	
0,35	-	-	590	-	-	Laston
0,35	-	-	454	-	-	Laston
0,30	-	-	340	-	-	
0,35	-	-	744	-	-	
0,31	-	-	590	-	-	Lasbutag
0,28	-	-	454	-	-	Lasbutag
0,26	-	-	340	-	-	
0,30	-	-	340	-	-	HRA
0,26	-	-	340	-	-	Aspal Macadam
0,25	-	-	-	-	-	Lapen (mekanis)
0,20	-	-	-	-	-	Lapen (manual)
-	0,28	-	590	-	-	
-	0,26	-	454	-	-	Laston Atas
-	0,24	-	340	-	-	
-	0,23	-	-	-	-	Lapen (mekanis)
-	0,19	-	-	-	-	Lapen (manual)
-	0,15	-	-	0,22	-	Stab.tanah dengan semen
-	0,13	-	-	0,18	-	Stab.tanah dengan semen
-	0,15	-	-	0,22	-	Stab.tanah dengan kapur
-	0,13	-	-	0,18	-	Stab.tanah dengan kapur
-	0,14	-	-	-	100	Batu pecah (kelas A)
-	0,13	-	-	-	80	Batu pecah (kelas B)
-	0,12	-	-	-	60	Batu pecah (kelas C)
-	-	0,13	-	-	70	Sirtu/pitrun (Kelas A)
-	-	0,12	-	-	50	Sirtu/pitrun (Kelas B)

-	-	0,11	-	-	30	Sirtu/pitrun (Kelas C)
-	-	0,10	-	-	20	Tanah Lempung Kepasian

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 1987

2.6.10. Indeks Tebal Perkerasan

Penentuan indeks ketebalan perkerasan pada perkerasan lentur dilakukan dengan menggunakan grafik nomogram yang disajikan dalam SNI 1732-1989-F, seperti terlihat pada makalah terlampir. Untuk melaksanakan prosedur ini perlu dilakukan analisis terhadap nilai-nilai yang diperoleh dari indeks permukaan yaitu IPod dan IPT, kemudian mengidentifikasi titik-titik data terkait pada grafik nomogram. **Gambar 2.4** mengilustrasikan korelasi antara Daya Dukung Tanah Dasar (DDT), Rata-Rata Lintas Ekuivalen (LER), dan Faktor Regional (FR), yang menunjukkan ketergantungannya.



Gambar 2. 4 Grafik Nomogram Nilai ITP

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 1987

Petunjuk prosedur penggunaan nomogram diuraikan sebagai berikut:

- Terdapat sembilan kategori nomogram berbeda yang komprehensif, yang ditetapkan berdasarkan nilai indeks permukaan awal (IPo) dan indeks permukaan akhir (IPt).
- Tujuannya adalah untuk memberikan gambaran kuantitatif Daya Dukung Tanah (DDT) melalui korelasinya dengan nilai CBR.

- c. Tentukan titik nilai LER (Labour Efficiency Ratio) yang diperoleh dari perhitungan.
- d. Selanjutnya dilanjutkan dengan pembangunan ruas linier yang menghubungkan dua titik geografis yang ditetapkan yaitu DDT dan LER hingga berpotongan dengan garis ITP.
- e. Titik nilai FR dapat ditentukan dengan melihat Tabel 2.5.
- f. Titik ITP dihubungkan dengan titik FR hingga bertemu dengan garis ITP.

2.6.11. Batas – Batas Minimum Tebal Lapisan Perkerasan

Penentuan Indeks Ketebalan Perkerasan (ITP) untuk lapisan permukaan dan pemilihan material yang sesuai untuk perkerasan yang dimaksud merupakan komponen integral dari proses desain perkerasan lentur, sebagaimana digariskan oleh Departemen Pekerjaan Umum (1987). **Tabel 2.20** dan **2.21** direferensikan dalam teks.

Tabel 2. 20 Lapis Permukaan

ITP	Tebal Minimum	Bahan
< 3,00	5	Lapis pelindung: (Buras/Burtu/Burda)
3,00 – 6,70	5	Lapen/Aspal Macadam, HRA, Lasbutag, Laston
6,71 – 7,49	7,5	Lapen/Aspal Macadam, HRA, Lasbutag, Laston
7,50 – 9,99	7,5	Lasbutag, Laston
≥ 10,00	10	Laston

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 1987

Tabel 2. 21 Lapis Pondasi

ITP	Tebal Minimum	Bahan
< 3,00	15	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur
3,00 – 7,49	20*)	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur
	10	Laston atas
7,50 – 9,99	20	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur, pondasi macadam
	15	Laston atas

10 – 12,14	20	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur, pondasi macadam
$\geq 12,25$	25	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 1987

2.6.12. IRI (*INTERNATIONAL ROUGHNESS INDEX*)

Indikator Kekasaran Internasional (IRI) dikenal luas sebagai indikator kekasaran utama yang diperoleh dari profil jalan memanjang yang telah dinilai. Indeks kekasaran, yang dinyatakan dalam satuan kemiringan (seperti dalam/mi atau m/km), diperoleh dari reaksi kumulatif model kendaraan seperempat mobil berdasarkan perhitungan matematis.

Penentuan nilai International Roughness Index (IRI) yang dikategorikan berdasarkan jenis permukaan ditunjukkan pada **Tabel 2.22**.

Tabel 2. 22 Penentuan Nilai IRI

No	Kondisi ditinjau secara visual	Nilai RCI	Nilai IRI
1	Tidak bisa dilalui	0-2	24-17
2	Rusak berat, banyak lubang dan seluruh daerah perkerasan mengalami kerusakan	2-3	17-12
3	Rusak, bergelombang, dan banyak lubang	3-4	12-9
4	Agak rusak, kadang-kadang ada lubang, permukaan jalan agak tidak rata	4-5	9-7
5	Cukup, tidak ada atau sedikit sekali lubang, permukaan jalan agak tidak rata	5-6	7-5
6	Baik	6-7	5-3
7	Sangat baik umumnya rata	7-8	3-2
8	Sangat rata dan teratur	8-10	2-0

Sumber: Sukirman, 1999

2.6.13. Pelapis Tambahan

Penentuan ketebalan lapisan atas meliputi evaluasi kondisi perkerasan eksisting, seperti ditunjukkan pada **Tabel 2.23**.

Tabel 2. 23 Nilai Kondisi Perkerasan Jalan

Tipe Material	ai(I/in)
1. Lapis Permukaan:	
Umumnya tidak retak, hanya sedikit defotmasi pada jalur roda.....	90 – 100%
Terlihat retak halus, sedikit deformasi pada jalur roda namun masih tetap stabil.....	70 – 90%
Retak sedang, beberapa deformasi pada jalur roda, pada dasarnya masih menunjukkan kestabilan	50 – 70%
Retak banyak, demikian juga deformasi pada jalur roda, menunjukkan gejala ketidakstabilan	30 – 70%
2. Lapis Pondasi:	
a. Pondasi Aspal Beton atau Penetrasi Macadam	
Umumnya tidak retak	90 – 100%
Terlihat retak halus, namun masih tetap stabil	70 – 90%
Retak sedang, pada dasarnya masih menunjukkan kestabilan	50 – 70%
Retak banyak, menunjukkan gejala ketidak stabilan.....	30 – 50%
b. Stabilisasi Tanah dengan Semen atau Kapur:	
Indek Plastisitas (Plasticity Index = PI) ≤ 10	70 – 100%
c. Pondasi Macadam atau Batu Pecah	
Indek Plastisitas (Plasticity Index = PI) ≤ 6	80 – 100%
3. Lapis Pondasi Bawah:	
Indek plastisitas (Plasticity Index = PI) ≤ 6	90 – 100%
Indek plastisitas (Plasticity Index = PI) > 6	70 – 90%
(existing pavement) dinilai sesuai pada Tabel 2.11	

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 1987

2.6.14. Analisa Komponen Perkerasan

Perhitungan perencanaan yang digunakan dalam penelitian ini didasarkan pada penilaian komprehensif terhadap ketahanan relatif setiap lapisan perkerasan jalan, sebagaimana dikemukakan oleh Departemen Pekerjaan Umum (1987). Kuantifikasi ketebalan perkerasan dilambangkan dengan Indeks Ketebalan Perkerasan (ITP), sebagaimana ditentukan dalam persamaan 2.15.

$$\Delta ITP = a_1 \times D_1 \dots\dots\dots 2.15$$

Keterangan:

a₁ = koefisien kekuatan relatif bahan perkerasan

D1 = tebal lapisan permukaan

2.7 Penelitian Terdahulu

Tabel 2. 24 Penelitian Terdahulu

No	Penulis	Judul	Lokasi	Variabel
1.	Monica Linny Pangerapan/2018	STUDI PERBANDINGAN PERENCANAAN TEBAL LAPIS TAMBAH (OVERLAY) PERKERASAN LENTUR MENURUT METODE Pd T- 05- 2005-B DAN MANUAL DESAIN PERKERASAN JALAN 2013 (STUDI KASUS: RUAS JALAN BTS.KOTA MANADO - TOMOHON)	Kota Manado	Analisa Lalu lintas dan perhitungan tebal lapis tambah pada ruas jalan Bts.Kota Manado – Tomohon pada STA 0+000- 3+100, berdasarkan data survey volume lalu lintas dan data lendutan di peroleh kesimpulan : -- 1hasil perhitungan CESA setiap metode tersebut adalah CESA = 10.175.434 ESAI -2 Hasil perhitungan dwakil dan CF (<i>curvature function</i>) sebagai berikut :

				Pd T-05-2005-B (dwakil 0,71 Manal Desain perkerasan jalan 2013 : dwakil = 0,77, CF =0,27
2.	Fery Hendri Jaya/2016	PERENCANAAN PERKERASAN JALAN YANG EFEKTIF UNTUK RUAS JALAN SEPUTIH RAMAN – SIMPANG RANDU KECAMATAN SEPUTIH BANYAK KABUPATEN LAMPUNG TENGAH	Kabupaten Lampung Tengah	Perkerasan flexible pavement diperoleh lapisan pondasi atas 15cm dengan agregat kelas A dan lapisan permukaan 10cm dengan lapisan aus lataston AC- WC. Untuk Pondasi bawah Kedua perkerasan menggunakan agregat kelas B dengan tebal perkerasan 48 cm pada STA 0+000 sampai STA 0+250 dan tebal 58 cm pada STA 0+250 sampai Sta 0+500,Tetapi pada rigid pavement tebal

				<p>agregat dikurangi 15 cm dan 15 cm untuk agregat kelas A untuk konstruksi betonn kurus atau lantai kerja. flexible pavement sebesar Rp. 3.072.685.000.</p>
3.	Ahmad Muhajir/2018	PERENCANAAN PERKERASAN LENTUR PADA RUAS JALAN JENDERAL SUDIRMAN KOTA MARABAHAN KABUPATEN BARITO KUALA PROVINSI KALIMANTAN SELATAN	Kalimantan Selatan	<p>Tebal lapis perkerasan adalah sebagai berikut : • Lapisan Permukaan (Surface course): Laston MS744 dan ATB d1 = 15 cm • Lapisan Pondasi Atas (Base course): Batu pecah kelas A d2 = 20 cm • Lapisan Pondasi Bawah (Sub base course) : Sirtu kelas B d3 = 10 cm • Nilai CBR : 3,45 % (Roadbed course)</p> <p>Total Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk</p>

				<p>perencanaan perkerasan lentur pada ruas Jalan Jenderal Sudirman Kota Marabahan Kabupaten Barito Kuala Provinsi Kalimantan Selatan sebesar Rp 6.027.784.000,00</p>
4.	Muhammad Amrullah/2018	<p>PERENCANAAN TEBAL LAPISAN TAMBAHAN PERKERASAN LENTUR PADA RUAS JALAN RAYA DANDER KABUPATEN BOJONEGORO (STA 4+000 – STA 10+200)</p>	<p>Kabupaten Bojonegoro</p>	<p>Hasil perhitungan perencanaan pekerjaan tebal lapisan tambahan (overlay) pada ruas jalan raya Dander Kabupaten Bojonegoro dengan metode Bina Marga 1987 maka didapatkan : Surface Course : Lapisan beton MS 744 : D1 = 3 cm : D1 = 20 cm (perkerasan lama)</p>

				<p>Base Course :</p> <p>Batu Pecah klas B : D2 = 12 cm (perkerasan lama) Sub Base Course : Sirtu klas C : D3 = 30 cm (perkerasan lama</p> <p>Dari perhitungan perencanaan pekerjaan tebal lapisan tambahan (overlay) pada ruas jalan raya Dander Kabupaten Bojonegoro dengan metode Bina Marga 1987 maka didapatkan rencana anggaran biaya yang diperlukan biaya pekerjaan adalah sebesar Rp 2.101.390.297,0 0 dibulatkan Rp 2.102.000.000,0 0 (dua milyar seratus dua juta rupiah).</p>
--	--	--	--	---

5.	Futuhah Ilmi	PERENCANAAN JALAN RAYA DENGAN PERKERASAN LENTUR DAN PERKERASAN KAKU MENGUNAKAN METODE AASHTO 93 PADA JALAN OLAHBEBAYA	Kota Samarinda	1. Tebal konstruksi perkerasan kaku (rigid pavement) pada STA 0+000 – STA 3+287 adalah 18,29 cm. 2. Tebal konstruksi perkerasan lentur (flexible pavement) pada STA 0+000 – STA 3+287 dengan material lapisan permukaan laston, lapisan pondasi atas agregat batu pecah serta lapisan pondasi bawah sirtu adalah 45 cm.
----	--------------	--	-------------------	--