

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan produksi merupakan infrastruktur vital yang mendukung kelancaran kegiatan operasional perusahaan, terutama pada industri minyak dan gas bumi. Jalan produksi PT EMP Meranti Kurau berfungsi sebagai jalur utama mobilisasi kendaraan operasional, pengangkutan peralatan berat, distribusi material, serta akses menuju lokasi sumur dan fasilitas produksi. Kondisi jalan yang baik sangat menentukan efisiensi operasional, keselamatan kerja, dan keberlangsungan aktivitas produksi.

Seiring meningkatnya intensitas lalu lintas kendaraan berat, seperti truk pengangkut material, kendaraan operasional, serta alat berat, perkerasan jalan mengalami penurunan kondisi yang ditandai dengan munculnya berbagai jenis kerusakan, seperti retak, lubang (*potholes*), alur (*rutting*), *deformasi*, pelepasan butiran, dan penurunan permukaan. Kerusakan tersebut dapat dipercepat oleh beban sumbu kendaraan yang tinggi, sistem drainase yang kurang optimal, kondisi tanah dasar yang memiliki daya dukung rendah, serta pengaruh curah hujan yang tinggi di wilayah Riau.

Apabila kerusakan jalan tidak diidentifikasi dan ditangani secara tepat, dampaknya tidak hanya meningkatkan biaya pemeliharaan jalan, tetapi juga berpotensi menyebabkan keterlambatan distribusi material, menurunkan produktivitas operasional, meningkatkan konsumsi bahan bakar kendaraan, mempercepat kerusakan armada, serta meningkatkan risiko kecelakaan kerja. Pada sektor migas, gangguan akses jalan bahkan dapat menghambat kegiatan inspeksi, pemeliharaan fasilitas, maupun respons terhadap kondisi darurat yang membutuhkan mobilisasi cepat.

Selain itu, kegiatan pemeliharaan jalan produksi sering kali masih dilakukan secara reaktif berdasarkan kondisi visual tanpa didukung oleh analisis teknis mengenai jenis, tingkat keparahan, penyebab kerusakan, dan prioritas penanganannya. Akibatnya, alokasi anggaran pemeliharaan menjadi kurang efektif dan umur layan jalan tidak dapat dimanfaatkan secara optimal.

Oleh karena itu, diperlukan penelitian analisis kerusakan jalan untuk mengidentifikasi jenis kerusakan, tingkat keparahan, luas kerusakan, faktor-faktor penyebab, serta menentukan kondisi fungsional jalan secara kuantitatif menggunakan metode penilaian yang sesuai, seperti *Surface Distress Index* (SDI), *Pavement Condition Index* (PCI), atau metode lain yang relevan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam menentukan strategi pemeliharaan yang tepat, baik berupa pemeliharaan rutin, berkala, rehabilitasi, maupun rekonstruksi sesuai dengan tingkat kerusakan yang terjadi.

Penelitian ini juga penting karena hingga saat ini masih terbatas kajian ilmiah yang secara khusus membahas kondisi jalan produksi pada kawasan operasi minyak dan gas di wilayah PT EMP Meranti Kurau. Karakteristik lalu lintas, beban kendaraan, kondisi lingkungan, serta pola operasional pada jalan produksi memiliki karakteristik yang berbeda dengan jalan umum sehingga memerlukan pendekatan analisis yang lebih spesifik. Dengan demikian, hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi teknis bagi PT EMP Meranti Kurau dalam menyusun program manajemen aset jalan yang lebih efektif, efisien, berkelanjutan, serta mendukung keselamatan dan kelancaran operasi perusahaan.

Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini mengambil fokus pada analisis kerusakan jalan pada akses operasional PT Energei Mega Persada di Kurau, Kabupaten Meranti sebagai studi kasus yang representatif dalam memahami dampak operasional industri drilling minyak dan gas terhadap infrastruktur jalan di daerah Riau.

1.2 Rumusan Masalah.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah dalam penulisan ini adalah :

1. Apa sajakah jenis kerusakan jalan operasional *drilling* PT. Energi Mega

Persada (EMP) Meranti berdasarkan metode *Pavement Condition Indexs* (PCI)?.

2. Berapa nilai tingkat kerusakan jalan operasional PT. Energi Mega Persada (EMP) Meranti berdasarkan metode *Pavement Condition Indexs* (PCI)?

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian.

A. Tujuan Penelitian.

Adapun tujuan penelitian ini adalah :

1. Menemukan jenis kerusakan jalan operasional PT. Energi Mega Persada (EMP) Meranti berdasarkan metode *Pavement Condition Indexs* (PCI).
2. Mendapatkan nilai tingkat kerusakan jalan operasional PT. Energi Mega Persada (EMP) meranti berdasarkan metode *Pavement Condition Indexs* (PCI)
3. Menentukan alternatif penanganan kerusakan jalan operasional PT. Energi Mega Persada (EMP) meranti berdasarkan metode *Pavement Condition Indexs* (PCI).

B. Manfaat Penelitian.

Adapun manfaat penelitian ini adalah

1. Dapat diketahui jenis-jenis kerusakan jalan operasional PT. Energi Mega Persada (EMP) meranti berdasarkan metode *Pavement Condition Indexs* (PCI).
2. Diperoleh nilai tingkat kerusakan jalan operasional PT. Energi Mega Persada (EMP) meranti berdasarkan metode *Pavement Condition Indexs* (PCI).
3. Diperoleh alternatif solusi penanganan kerusakan jalan operasional PT. Energi Mega Persada (EMP) meranti berdasarkan metode *Pavement Condition Indexs* (PCI).

1.4 Batasan Masalah.

Menghindari menyebarnya pembahasan, maka dalam skripsi ini di beri batasan-batasan sebagai berikut :

1. Jenis lapis perkerasan jalan yang analisis pada penelitian ini adalah perkerasan lentur (*Cold Mix*).

- 2 Jenis kerusakan berdasarkan metode *Pavement Condition Indexs* (PCI).
- 3 Teknik penentuan sampel ruas/segmen observasi ditentukan dengan metode *purposive sampling*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Berikut ini adalah contoh penelitian terdahulu yang juga meneliti tentang kerusakan jalan. Ini menjadi salah satu landasan dalam melakukan penelitian ini :

1. **Anam, dkk (2025).** analisis kerusakan jalan dengan metode *pavement condition index* (pci) dan *surface distress index* (sdi) ruas jalan diponegoro, kabupaten rokan hulu sta 004+000 – sta 009+600 : ruas jalan Dipenogoro, Pasir Pengaraian, Kabupaten Rokan Hulu menjadi salah satu jalan yang mengalami kerusakan pada perkerasannya. Ruas jalan ini akan menjadi penelitian penulis dimulai dari STA 004+000 sampai STA 009+600. Jalan ini terdiri dari 2 jalur

lajur dengan median yang memiliki lebar jalan 6 m dan lebar median, dimana untuk tipe perkerasannya merupakan perkerasan lentur atau aspal. Berdasarkan statusnya jalan ini termasuk jalan Kabupaten yang terletak di Provinsi Riau. Dilihat pada saat kita melewati ruas jalan ini pada tahun 2022 sampai 2023 banyak kondisi jalan mengalami kerusakan yang cukup parah. Hal ini terlihat banyaknya kondisi jalan yang berlubang, permukaan kasar, terdapat retak, dan kerusakan lainnya. Pada saat hujan air akan menggenangi bagian jalan yang berlubang sehingga dapat membahayakan pengguna jalan baik itu sepeda motor maupun mobil. Dengan adanya kerusakan jalan ini menyebabkan kendaraan harus mengurangi kecepatannya sehingga menambah waktu tempuh selama perjalanan. Dari permasalahan di atas penulis akan melakukan penelitian tentang analisis tingkat kerusakan kondisi perkerasan jalan dengan menggunakan metode *Pavement Condition Index* (PCI) dan *Surface Distress Index* (SDI).

- 2 **Desri, dkk (2025).** Analisis Kondisi Jalan dengan Metode PCI (Pavement Condition Index) (Studi Kasus: Ruas Jalan di Kota Kupang) : Jalan merupakan sarana penghubung yang dibuat untuk mempermudah transportasi melalui jalur

darat untuk menunjang pergerakan dan keberlangsungan hidup manusia. Jalan harus dalam kondisi yang baik agar dapat digunakan dan dilalui oleh kendaraan, namun pada kenyataannya kondisi jalan tidak selalu dalam kondisi baik karena adanya kerusakan – kerusakan jalan akibat dari umur jalan yang sudah lama dan juga akibat beban kendaraan dan faktor – faktor lainnya. Kerusakan jalan yang terjadi di berbagai daerah merupakan masalah yang sangat penting. Kerusakan tersebut bisa mengakibatkan kerugian bagi penggunaannya seperti kemacetan akibat waktu tempuh yang bertambah dan juga fatalnya bisa terjadi kecelakaan. Nilai kondisi jalan ini nantinya akan dijadikan acuan untuk disusunnya program pemeliharaan yang harus dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kondisi jalan dengan terlebih dahulu mengetahui jenis – jenis kerusakan yang ada kemudian dihitung dengan metode Pavement Condition Index (PCI). Penelitian ini dilakukan pada ruas – ruas jalan yang ada di Kota Kupang yaitu jalan Siliwangi – Garuda – Sumatera, jalan H.R Koroh, jalan Feter Funay, jalan Perintis Kemerdekaan, jalan Veteran, jalan Gor Flobamora, jalan Amabi Tofa dan jalan Taebenu. Hasil yang didapat yaitu jenis kerusakan yang dominan pada ruas jalan di Kota Kupang adalah lubang, retak memanjang/melintang, retak buaya dan pelepasan agregat. Nilai PCI tertinggi sebesar 89 dan terendah sebesar 19.4 dengan rata – rata nilai PCI nya sebesar 59.1, ini menunjukkan bahwa kondisi ruas jalan di Kota Kupang tidak merata artinya ada jalan yang dalam kondisi sangat jelek tetapi ada jalan yang kondisinya masih baik. Untuk menanggulangi kerusakan jalan yang ada dapat dilakukan penambalan lubang, pelapisan tambahan permukaan jalan, pemeliharaan dan rekonstruksi.

3. **Kresna, dkk (2025).** Identifikasi Kerusakan Jalan Menggunakan Metode Pavement Condition Index (PCI) Beserta Penanganannya Pada Ruas Jalan Cangkir – Mastrip Provinsi Jawa Timur : Mobilitas kendaraan berat pada sektor industri padat kawasan Gresik khususnya ruas Jalan Cangkir - Mastrip, berpengaruh pada kondisi prasarana jalan yang semakin lama akhirnya mengalami kerusakan. Perlu adanya pembahasan mengenai identifikasi dan perhitungan nilai kondisi kerusakan jalan pada Ruas Jalan Cangkir - Mastrip (STA 0+000 – STA 8+600). Penelitian ini menghasilkan alternatif penanganan

jalan berdasarkan nilai kondisi perkerasan jalan. Metode pengumpulan data yang digunakan peneliti ialah melalui observasi survei kerusakan di lapangan serta perhitungan nilai kondisi kerusakan menggunakan dengan Metode PCI (Pavement Condition Index). Hasil nilai rata – rata kondisi kerusakan pada Jalan Cangkir Kab. Gresik – Jalan Mastrip Kota Surabaya ialah 83,12 dengan kondisi Very Good. Jenis penanganan paling dominan digunakan adalah dengan metode P6 (Perataan jalan) yaitu pada kondisi kerusakan di 63 Segmen.

4. **Santanu, dkk (2023).** Analisis kerusakan jalan berdasarkan metode *pavement condition index* (pci) (studi kasus ruas jalan simpang kumu – duri, kepenuhan hulu, rokan hulu sta 020+000 - sta 025+000) : Kerusakan prasarana jalan yang terbebani oleh volume lalu lintas yang tinggi dan berulang-ulang akan menyebabkan terjadinya penurunan kualitas jalan. Sebagai indikatornya dapat diketahui dari kondisi permukaan jalan, baik kondisi struktural maupun fungsionalnya yang mengalami kerusakan. Suatu penelitian tentang bagaimana kondisi permukaan jalan yang dan bagian jalan lainnya sangat diperlukan untuk mengetahui kondisi permukaan jalan yang mengalami kerusakan tersebut. Ruas jalan lintas Simpang Kumu-Duri, Kepenuhan Hulu, Rokan Hulu menjadi salah satu jalan yang mengalami kerusakan pada perkerasannya. Ruas jalan ini juga menjadi objek penelitian penulis dimulai dari STA 020+000 sampai STA 025+000. Jalan ini terdiri dari 1 jalur 2 lajur tanpa median dengan lebar jalan 6 m, dimana untuk tipe perkerasannya merupakan perkerasan lentur atau aspal. Berdasarkan statusnya jalan ini termasuk jalan Provinsi yang terletak di Provinsi Riau. Untuk mengetahui permasalahan tersebut perlu dilakukannya identifikasi kerusakan jalan menggunakan metode *Pavement Condition Index* (PCI). Metode PCI merupakan salah satu sistem penilaian kondisi perkerasan jalan berdasarkan tipe dan tingkat kerusakan yang terjadi dan dapat digunakan sebagai acuan dalam usaha pemeliharaan.
5. **Aris (2023)** analisis kerusakan jalan dengan metode *pavement condition index* (pci) (studi kasus: jalan pundung – jalan bonthit, gamphing, sleman) : Analisis Kerusakan Jalan Dengan Metode *Pavement Condition Index* (PCI) pada ruas Jalan Pundung – Jalan Bonthit, Gamping, Sleman, menilai kondisi perkerasan jalan berdasarkan jenis, tingkat dan kadar kerusakan yang terjadi, dan dapat

digunakan sebagai acuan dalam usaha pemeliharaan perkerasan jalan. Pada ruas ini terdapat berbagai macam variasi kerusakan yaitu retak kulit buaya, retak kotak-kotak, retak pinggir, retak memanjang/melintang, tambalan, lubang. Berdasarkan penelitian, tingkat kerusakan perkerasan lentur yang dinyatakan dengan nilai PCI didapat 40%. Hasil penelitian menunjukkan untuk ruas jalan yang diteliti secara keseluruhan dapat dikategorikan very poor atau sangat jelek.

6. **Ramadoa, dkk (2023).** analisis kerusakan jalan raya pada lapis permukaan dengan metode *pavement condition index* (pci) dan metode dan metode bina marga (studi kasus ruas jalan landai sungai data sta 0+000 sampai sta 2+000) : Jalan raya merupakan salah satu sarana transportasi darat yang mempunyai peranan penting terhadap kehidupan manusia, terutama bagi pertumbuhan perekonomian dan sosial budaya untuk menunjang pembangunan nasional. Untuk memudahkan mobilitas masyarakat sehingga dapat memberikan pelayanan yang baik sesuai dengan kapasitas yang diperlukan, bila terjadi kerusakan jalan, maka akan terhalang kegiatan masyarakat sehingga menyebabkan terjadinya kecelakaan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui jenis-jenis kerusakan dan nilai indeks perkerasan jalan Landai Sungai Data, sehingga dapat membandingkan nilai kondisi ruas jalan Landai Sungai Data berdasarkan dua metode yang telah ditentukan. Metode yang digunakan adalah metode PCI (*Pavement Condition Index*) dan metode Bina Marga. Penilaian kondisi jalan pada metode PCI adalah dengan merangking dari nilai 0-100 sedangkan metode Bina Marga berdasarkan urutan prioritas jalan dengan rentang nilai 0-7. Jenis kerusakan yang ditemukan pada jalan Landai Sungai Data sepanjang 2 km antara lain lubang, retak blok, retak kulit buaya, dan tambalan. Pada metode PCI nilai rata-rata didapat adalah 68,63 yang merupakan kondisi jalan baik (*good*).
7. **Suhaimi, dkk (2023).** Analisis kerusakan jalan pasir pengaraian – batas sumut menggunakan metode *surface distress index* (sdi) : Jalan ini merupakan ruas jalan kolektor yang bersumber dari APBD Provinsi Riau. Ruas Jalan Pasir Pengaraian – Batas Sumut ini memiliki panjang 21 Km dengan lebar perkerasan bervariasi antara ± 7 m, pada STA 0 $\pm$ 0.000 sampai dengan STA 3 $\pm$ 0.000 banyak terdapat kerusakan jalan seperti jalan berlubang, retak, amblas,

pelepasan butir aspal dan sebagainya, dikarenakan beberapa faktor yaitu meningkatnya beban volume lalu lintas, sistem drainase yang tidak ada mengakibatkan tergenangnya air di jalan, perencanaan perkerasan yang tidak sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan dan kurangnya perawatan dan pemeliharaan. Dapat menyebabkan menurunnya kapasitas jalan. Maka dari itu diperlukannya survei kondisi untuk melihat tingkat kerusakan yang terjadi pada ruas jalan Pasir Pengaraian - Batas Sumut tersebut.

8. **Ramadona, dkk (2023).** Analisis kerusakan jalan raya pada lapis permukaan dengan metode *pavement condition index* (pci) dan metode bina marga (studi kasus jalan landai sungai data sta 0+000 – sta 2+000) : Jalan raya merupakan salah satu sarana transportasi darat yang mempunyai peranan penting terhadap kehidupan manusia, terutama bagi pertumbuhan perekonomian dan sosial budaya untuk menunjang pembangunan nasional. Untuk memudahkan mobilitas masyarakat sehingga dapat memberikan pelayanan yang baik sesuai dengan kapasitas yang diperlukan, bila terjadi kerusakan jalan, maka akan terhalang kegiatan masyarakat sehingga menyebabkan terjadinya kecelakaan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui jenis-jenis kerusakan dan nilai indeks perkerasan jalan Landai Sungai Data berdasarkan dua metode yang telah ditentukan. Metode yang digunakan adalah metode PCI (*Pavement Condition Indexs*) dan etode Bina Marga. Penilaian kondisi jalan metode PCI adalah dengan cara merangking dari nilai 0-100 sedangkan metode Bina Marga berdasarkan urutan prioritas jalan dengan rentang nilai 0. Jenis kerusakan yang ditemukan pada jalan Landai Sungai Data sepanjang 2 km antara lain lubang, retak blok, retak kulit buaya, dan tambalan. Pada metode PCI nilai rata-rata di dapat adalah 68,63 yang merupakan kondisi jalan baik (*good*). Pada metode Bina Marga di dapat nilaiurut prioritas sebesar 6,4 dimana jalan tersebut berada pada pemeliharaan berkala. Setelah dibandingkan hasil penelitian kondisi ruas jalan Landai Sungai Data dengan kedua metode tersebut ternyata mendapatkan hasil dan nilai yang sama, yaitu kondisi dari ruas jalan tersebut masih dalam keadaan baik.
9. **Amri, Dkk (2022).** Analisis Kerusakan Jalan Metode Sdi & Iri Ruas Jalan Bangau Sakti-Pekanbaru: Jalan merupakan prasarana transportasi darat yang

memiliki peranan penting sebagai penunjang mobilisasi barang, jasa, maupun orang. Sehingga dengan adanya suatu sistem transportasi yang baik, mulai dari kondisi dan fasilitas jalan dapat meningkatkan perekonomian dan kesejahteraan masyarakat sebagai pengguna transportasi. Kerusakan jalan dapat menyebabkan kurang optimalnya fungsi dari jalan tersebut. Seperti yang terjadi di Jalan Trunojoyo, Kecamatan Kedungwaru, Kabupaten Tulungagung, yang mengalami berbagai jenis kerusakan. Dalam perencanaan perbaikan harus matang dan mendetail yang mempertimbangkan aspek ekonomi, aspek keselamatan pengguna jalan, dan kualitas tebal perkerasan sesuai dengan yang direncanakan. Maka dari itu, untuk menentukan perencanaan pemeliharaan jalan menggunakan metode SDI (*Surface Distress Index*) dan IRI (*International Roughness Index*) Bina marga 2011 dengan melakukan survei kerusakan jalan langsung di lapangan setiap 100 m. hasil analisa diketahui jika nilai SDI di Jalan Turonojoyo yaitu 145 yang menunjukkan kondisi kerusakan rusak ringan dan nilai IRI rata-rata 7,878 yang menunjukkan kerusakan sedang, sehingga jenis pemeliharaan yang tepat berdasarkan kedua nilai tersebut adalah pemeliharaan berkala dengan penambahan tebal lapis tambah (*Overlay*) pada lapis aus (AC-WC) dengan tebal *Overlay* 10 cm menggunakan lendutan FWD dengan biaya pemeliharaan sebesar Rp. 3.037.587.374,25.

10. **Wira, dkk (2022).** Analisis kerusakan jalan perkerasan lentur menggunakan metode *pavement condition index* (PCI) : Pengumpulan Data Primer dilakukan dengan cara melakukan pengamatan langsung pada lokasi studi. Pengamatan lapangan biasanya dilakukan dengan bantuan alat lain sesuai dengan yang dibutuhkan. Pengumpulan data dilapangan dilakukan pada ruas Jalan Lingkar Timur I, Kec. Paalmerah, Kota Jambi dengan panjang jalan yang ditinjau yaitu 2400 m dan lebar jalan 5 m. Metode analisa kerusakan jalan yang digunakan adalah Metode PCI (*Pavement Condition Index*). Tingkat kerusakan jalan dianalisa dengan metode PCI. Pada metode PCI, perhitungannya didasarkan atas hasil survei kondisi jalan secara visual yang teridentifikasi dari tipe kerusakan, tingkat kerusakan (*severity*), dan kuantitasnya.

2.2 Keaslian Penelitian

Keaslian penelitian merupakan perbedaan antara penelitian yang dilakukan saat ini dengan penelitian lain sebelumnya. Adapun keaslian pada penelitian ini yaitu :

1. Obyek Penelitian ini merupakan ruas jalan perusahaan drilling minyak dan gas bumi PT EMP Kabupaten Meranti.
2. Penelitian ini mengidentifikasi kerusakan perkerasan lentur (*flexible pavement*).

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Definisi dan Klasifikasi Jalan.

3.1.1 Definisi Jalan.

Jalan adalah 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, di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori, dan jalan kabel (Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006).

Jalan merupakan sarana transportasi yang sering digunakan bagi warga Indonesia untuk berpergian jauh maupun dekat dan sangat penting dalam memperlancar kegiatan perekonomian. Kondisi jalan yang mengalami kerusakan akan menimbulkan dampak lalu lintas yang cukup besar. Perkembangan globalisasi juga mempengaruhi tingkat mobilitas yang berdampak pada penggunaan kendaraan yang semakin meningkat sehingga mengakibatkan beban volume kendaraan melampaui batas kelas jalan yang sudah direncanakan. Sehingga kualitas dan usia perkerasan semakin berkurang (Hardiyatno, 2007).

3.1.2 Klasifikasi Jalan.

Berdasarkan Pasal 9 Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan, Pengelompokan jalan umum menurut statusnya adalah :

1. Jalan Nasional, merupakan jalan arteri dan jalan kolektor dalam sistem jaringan jalan primer yang menghubungkan antar ibu kota provinsi dan jalan strategis nasional, serta jalan tol.
2. Jalan Provinsi, merupakan jalan kolektor dalam sistem jaringan jalan primer yang menghubungkan ibu kota kabupaten dengan ibu kota kecamatan, antar ibu kota kecamatan, ibu kota kabupaten dengan pusat kegiatan lokal, antar pusat kegiatan lokal serta jalan umum dalam

sistem jaringan jalan sekunder dalam wilayah kabupaten, dan jalan strategis kabupaten.

3. Jalan Kota, merupakan jalan umum dalam sistem jaringan jalan sekunder yang menghubungkan antar pusat pelayanan dalam kota, menghubungkan pusat pelayanan dengan persil, menghubungkan antar persil, serta menghubungkan antar pusat permukiman yang berada di dalam kota.
4. Jalan Desa, merupakan jalan umum yang menghubungkan kawasan antar permukiman di dalam desa, serta jalan lingkungan.
5. Jalan Khusus, merupakan jalan yang dibangun oleh instansi badan usaha, perseorangan, dan kelompok masyarakat untuk kepentingan pribadi.

Berdasarkan Pasal 19 ayat (2) Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan, pengelompokan jalan sesuai kelasnya adalah :

1. Jalan kelas I, yaitu jalan arteri dan kolektor yang dapat dilalui kendaraan bermotor dengan ukuran lebar tidak melebihi 2.500 (dua ribu lima ratus) milimeter, ukuran panjang tidak melebihi 18.000 (delapan belas ribu) milimeter ukuran paling tinggi 4.200 (empat ribu dua ratus) milimeter, dan muatan sumbu sebesar 10 (sepuluh) ton.
2. Jalan kelas II, yaitu jalan arteri dan kolektor, lokal, dan lingkungan yang dapat dilalui kendaraan bermotor dengan ukuran lebar tidak melebihi 2.500 (dua ribu lima ratus) milimeter, ukuran panjang tidak melebihi 12.000 (dua belas ribu) milimeter, ukuran paling tinggi 4.200 (empat ribu dua ratus) milimeter, dan muatan sumbu sebesar 8 (delapan) ton.
3. Jalan kelas III, yaitu jalan arteri dan kolektor, lokal, dan lingkungan yang dapat dilalui kendaraan bermotor dengan ukuran lebar tidak melebihi 2.100 (dua ribu seratus) milimeter, ukuran panjang tidak melebihi 9.000 (sembilan ribu) milimeter, ukuran paling tinggi 3.500 (tiga ribu lima ratus) milimeter, dan muatan sumbu 8 (delapan) ton.

Jalan kelas khusus, yaitu jalan arteri yang dapat dilalui kendaraan bermotor dengan ukuran lebar melebihi 2.500 (dua ribu lima ratus) milimeter, ukuran panjang melebihi 18.000 (delapan belas ribu) milimeter, dan muatan sumbu terberat yaitu 10 (sepuluh) ton.

3.2 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan dapat dibedakan menjadi 3 jenis yaitu perkerasan lentur, perkerasan kaku, perkerasan komposit. Perbedaan perkerasan kaku dan lentur ini dapat dilihat pada jenis bahan pengikat, repetisi beban, penurunan tanah dasar dan perubahan temperatur. Sedangkan perkerasan komposit adalah perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur dapat berupa perkerasan lentur diatas perkerasan kaku, atau perkerasan kaku di atas perkerasan lentur. Akan tetapi pada penulisan skripsi ini akan dikhususkan pada perkerasan lentur.

3.2.1. Lapisan Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*).

Flexible Pavement (Gambar 3.1) adalah perkerasan yang terdiri dari batu pecah, pasir, material pengisi dan aspal sebagai bahan pengikat yang dihamparkan lalu dipadatkan. Lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar melalui masing-masing lapisan sehingga beban lalu lintas yang dipikul relatif kecil. Perkerasan ini sangat cocok untuk tanah yang memiliki daya dukung tinggi.



Gambar 3.1 Susunan Lapis Perkerasan Lentur Sumber : Bina Marga No. 03/MN/B/1983)

Konsep dasar dari perkerasan ini yaitu menghamparkan lapisan-

lapisan diantaranya. Tipe dan tebal dari komponen-komponen struktur perkerasan diletakkan diatas tanah dasar, harus dipilih dan dipertimbangkan kekuatan dan tanah-tanah tersebut. Perkerasan lentur akan mempunyai kinerja yang baik, bila perencanaannya dilakukan dengan baik dan seluruh komponen perkerasan utama dalam sistem perkerasan berfungsi dengan baik, bila perencanaannya dilakukan dengan baik dan seluruh komponen perkerasan utama dalam sistem perkerasan berfungsi dengan baik. Perbedaan perkerasan kaku dan lentur dapat dilihat pada tabel 3.1

1. Lapisan permukaan

Lapisan permukaan (*surface course*) merupakan bagian perkerasan yang paling atas, terdiri dari lapisan aus (*wearing course*) dan lapisan pengikat (*binder course*). Lapisan aus harus mempunyai keawetan, kedap air, kerataan, dan kekesatan. Karena itu, lapisan ini harus disusun dari campuran beraspal panas (*hot mix*, bergradasi padat, fungsi lapisan permukaan adalah :

a. Struktural

Ikut mendukung dan menyebarkan beban kendaraan yang diterima oleh perkerasan, baik beban vertikal maupun beban horizontal (gaya geser) untuk itu persyaratan yang dituntut ialah kuat, kokoh, dan stabil.

b. Non Struktural

- 1) Lapisan kedap air, mencegah masuknya air kedalam lapisan perkerasan yang ada dibawahnya.
- 2) Menyediakan permukaan yang tetap rata, agar kendaraan dapat berjalan dan memperoleh kenyamanan yang cukup.
- 3) Membentuk permukaan yang tidak licin, sehingga tersedia koefisien gerak yang cukup untuk menjamin tersedianya keamanan lalu lintas.
- 4) Sebagai lapis aus, yaitu yang dapat aus yang selanjutnya dapat diganti dengan yang baru lagi.

2. Lapisan pondasi

Lapisan pondasi (*base course*) adalah bagian dari perkerasan yang terletak antara lapisan permukaan dan lapis pondasi bawah (atau dengan tanah apabila tidak menggunakan lapis pondasi bawah). Lapisan pondasi ini berfungsi

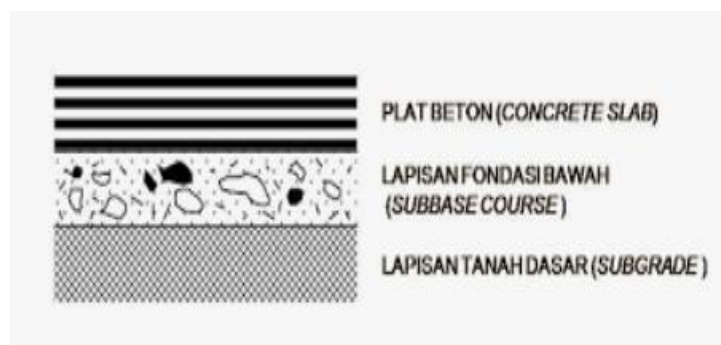
sebagai lapis pendukung bagi lapis permukaan, pemikul beban permukaan, pemikul beban horizontal dan vertikal, serta sebagai lapis perkerasan bagi lapis pondasi bawah.

3. Lapisan pondasi bawah

Lapis pondasi bawah (*subbase course*) adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis pondasi dan tanah datar. Fungsi dari lapis pondasi bawah ini antara lain untuk penyebar beban roda, lapisan peresapan, lapisan pencegah masuknya tanah dasar ke lapis pondasi dan lapis pertama pada pembuatan perkerasan.

3.2.2 Lapisan Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Perkerasan kaku (*rigid pavement*) adalah jenis perkerasan jalan yang menggunakan beton sebagai bahan utama perkerasan tersebut, perkerasan kaku merupakan salah satu jenis perkerasan jalan yang sering digunakan selain dari perkerasan lentur. Perkerasan ini umumnya dipakai pada jalan yang memiliki kondisi lalu lintas yang cukup padat dan memiliki distribusi beban yang besar, seperti pada jalan lintas antar provinsi, jembatan layang, jalan tol, maupun pada simpang bersinyal.



Gambar 3.2 Susunan Lapis Perkerasan Kaku Sumber : Bina Marga No. 03/MN/B/1983)

Keunggulan dari perkerasan kaku dari pada perkerasan lentur yaitu distribusi beban disalurkan ke *subgrade* perkerasan kaku karena mempunyai

kekakuan dan *stiffnes* akan mendistribusikan beban pada daerah yang relatif luas pada *subgrade*. Beton sendiri bagian utama yang menanggung beban struktural sedangkan pada perkerasan lentur karena dibuat dari material yang kurang kaku maka persebaran beban yang dilakukan tidak sebaik pada beton. Berikut adalah jenis-jenis perkerasan kaku yaitu :

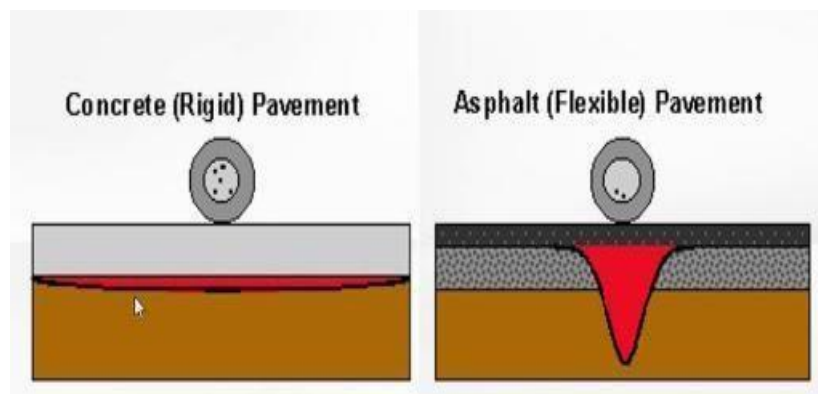
1. Perkerasan beton semen

Yaitu perkerasan kaku dengan semen sebagai lapis aus, terdapat empat jenis perkerasan beton semen yaitu

- a. Perkerasan beton semen bersambung tanpa tulang.
- b. Perkerasan beton semen bersambung dengan tulang.
- c. Perkerasan beton semen bersambung menerus dengan tulang.
- d. Perkerasan beton semen pra tekan.

2. Perkerasan komposit

Yaitu perkerasan kaku dengan plat beton sebagai lapis pondasi dan aspal beton sebagai lapis permukaan. Perkerasan kaku ini sering digunakan sebagai *runway* lapangan terbang.



Gambar 3.3 Perbedaan Perkerasan Lentur dan Kaku Sumber : Bina Marga No. 03/MN/B/1983)

Tabel 3.1 Perbedaan Antara Perkerasan Lentur dengan Perkerasan Kaku.

No.	Uraian.	Perkerasan Lentur.	Perkerasan Kaku.
1.	Bahan Pengikat.	Aspal.	Semen.
2.	Repetisi Beban.	Timbul <i>rutting</i> lendutan pada jalur roda, ada juga yang timbul retak pada bagian permukaan jalan.	Timbul retak pada permukaan.
3.	Penurunan Tanah Dasar.	Jalan bergelombang mengikuti tanah dasar.	Bersifat sebagai balok diatas permukaan.
4.	Perubahan Temperatur.	Modulus kekakuan berubah, timbul tegangan dalam yang kecil.	Modulus kekakuan tidak berubah, timbul tegangan dalam yang besar.
5.	Dari Segi Umur Rencana.	Perkerasan lentur cenderung direncanakan lebih sebentar dibandingkan dengan perkerasan kaku. Yaitu 5-10 tahun.	Untuk perkerasan kaku dapat mencapai 15-40 tahun.
6.	Dari Faktor Biaya Pemeliharaan.	Pada perkerasan lentur umumnya menggunakan biaya yang lebih besar dari kaku.	Tidak terlalu besar. Pemeliharaan rutin pada sambungan.

Sumber : Bina Marga No. 03/MN/B/1983)

3.2.3 Jenis-Jenis Kerusakan Jalan

Menurut Hardiyanto tahun 2015 kerusakan jalan pada perkerasan lentur umumnya dapat di klasifikasi sebagai berikut :

- 1) Deformasi : begelombang, alur, ambblas, sungkur, mengembang, benjol dan turun.
- 2) Retak : memanjang, melintang diagonal, reflektif, blok, kulit buaya dan bentuk bulan sabit.
- 3) Kerusakan tekstur permukaan : butiran lepas, kegemukan, agregat

licin, terkelupas, dan *Stripping*.

4) Kerusakan pinggir perkerasan : pingir retak atau pecah dan bahu turun.

Dan setiap macam kerusakan dibagi menjadi 3 tingkat kerusakan, yaitu :

L = Rusak ringan.

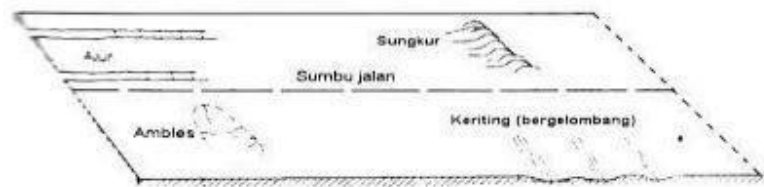
M = Rusaak sedang.

H = Rusak parah.

Dengan macam-macam kerusakannya adalah sebagai berikut :

1. Deformasi.

Deformasi adalah perubahan permukaan jalan dari profil aslinya (sesudah pembangunan). Deformasi (Gambar 3.4) merupakan kerusakan penting dari kondisi perkerasan, karena mempengaruhi kualitas kenyamanan lalu lintas.



Gambar 3.4 Tipe-Tipe Deformasi Pada Permukaan Aspal Sumber :
Autoroads : 1987 dalam Hardiyatmo 2015, 222

2. Bergelombang.

Bergelombang atau keriting (Gambar 3.5) adalah kerusakan oleh akibat terjadinya deformasi plastis yang menghasilkan gelombang-gelombang melintang atau tegak lurus arah perkerasan aspal. Gelombang-gelombang terjadi pada jarak yang relatif teratur, dengan panjang kerusakan kurang dari 3 m disepanjang perkerasan. Gelombang sering terjadi pada titik-titik yang banyak mengalami tegangan horizontal tinggi, dimana lalu lintas mulai bergerak dan



berhenti.

Gambar 3.5 Bergelombang Sumber : Bina Marga No.03/MN/B/1983

3. Alur (*Rutting*).

Alur (Gambar 3.6) adalah deformasi permukaan perkerasan aspal dalam roda kendaraan, alur biasanya baru nampak jelas ketika hujan dan terjadi genangan air di dalamnya.



Gambar 3.6 Alur (*Rutting*) Sumber : Bina Marga No.03/MN/B/1983

4. Amblas (*Depression*)

Amblas (Gambar 3.7) adalah penurunan perkerasan yang terjadi pada area terbatas yang mungkin dapat diikuti retakan. Penurunan ditandai dengan adanya genangan air pada permukaan perkerasan yang membahayakan lalu lintas yang lewat.

5. Sungkur (*Shoving*)

Sungkur (Gambar 3.8) adalah perpindahan permanen secara lokal dan memanjang dari permukaan perkerasan yang disebabkan oleh beban lalu lintas. Ketika lalu lintas mendorong perkerasan, maka mendadak timbul gelombang pendek di permukaannya.



Gambar 3.7 Amblas (*Depression*) Sumber : Bina Marga No. 03/MN/B/1983



Gambar 3.8 Sungkur (*Shoving*) Sumber : Bina Marga No. 03/MN/B/1983

6. Mengembang (*Swell*)

Mengembang (Gambar 3.9) adalah gerakan ke atas lokal dari perkerasan akibat pengembangan (pembekuan air) dari tanah dasar atau dari bagian struktur perkerasan aspal, dengan panjang gelombang > 3 m.



Gambar 3.9 Mengembang (*Swell*) Sumber : Bina Marga No. 03/MN/B/1983

7. Benjol dan Turun (*bump and sags*)

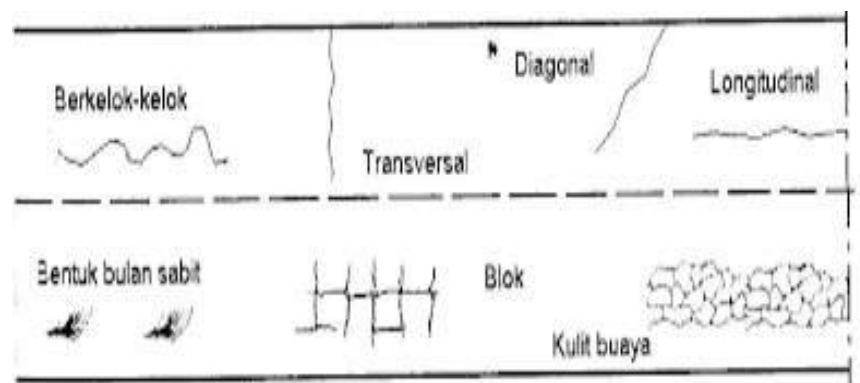
Benjol adalah (Gambar 3.10) gerakan atau perpindahan ke atas, bersifat lokal dan kecil, dari permukaan perkerasan aspal, sedangkan penurunan yang berukuran kecil, merupakan gerakan kebawah dari permukaan perkerasan (Shahin, 1994).



Gambar 3.10 Benjol dan Turun (*bump and sags*) Sumber : Bina Marga No. 03/MN/B/1983

8. Retak

Retak dapat terjadi dalam berbagai bentuk. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor dan melibatkan mekanisme yang kompleks. Secara teoritis, retak dapat terjadi bila tegangan tarik yang terjadi pada lapisan aspal melampaui tegangan tarik maksimum yang akan dapat di tahan oleh perkerasan tersebut. Tipe-tipe retak pada permukaan aspal dapat dilihat pada gambar 3.11.



Gambar 3.11 Tipe-Tipe Retak Pada Permukaan Aspal Sumber : Autoroads :1987 dalam Hardiyatmo : 2015,236

a) Retak Memanjang (*Longitudinal Cracks*)

Retak berbentuk memanjang pada perkerasan jalan, dapat terjadi dalam bentuk tunggal atau berderet yang sejajar, dan kadang-kadang sedikit bercabang. Retak memanjang dapat dilihat pada

gambar 3.12.



Gambar 3.12 Retak Memanjang (*Longitudinal Cracks*) Sumber :
Bina Marga No.03/MN/B/1983

b) Retak Melintang (*Transverse Cracks*)

Retak melintang (Gambar 3.13) merupakan retakan tunggal (tidak bersambung satu sama lain). Beban lalu lintas menimbulkan tegangan dan regangan yang melampaui kuat tarik atau kelelahan dari campuran aspal padat. Retak akibat beban biasanya berjarak mendekati sama jarak lebar, yaitu sekitar 15-20 m (Lavin, 2003). Dengan berjalannya waktu, retak melintang berkembang pada interval jarak yang lebih pendek. Retak melintang awalnya nampak sebagai retak rambut, dan akan semakin lebar dengan berjalannya waktu.



Gambar 3.13 Retak Melintang (*Transverse Cracks*) Sumber : Bina
Marga No.03/MN/B/1983

c) Retak Reflektif Sambungan (*Joint Reflection Cracks*)

Retak reflektif sambungan (*Joint reflection crack*) (Gambar 3.14) umumnya terjadi pada permukaan perkerasan aspal yang telah

dihamparkan di atas perkerasan beton semen portland (*Portland cement concrete, PCC*). Retak terjadi pada lapisan tambahan (*Overlay*) aspal yang mencerminkan pola retak dalam perkerasan beton lama yang berada dibawahnya.



Gambar 3.14 Retak reflektif sambungan (*joint reflection cracks*)

Sumber : Bina Marga No.03/MN/B/1983

d) Retak Kulit Buaya (*Alligator Cracks*)

Retak kulit buaya (Gambar 3.15) adalah retak yang berbentuk sebuah jaringan dari bidang bersegi banyak (*poligon*) kecil-kecil menyerupai kulit buaya, dengan lebar celah lebih besar atau sama dengan 3 mm. Ukuran retak yang saling berhubungan antara 2,5 cm sampai 15 cm.



Gambar 3.15 Retak Kulit Buaya (*Alligator Cracks*) Sumber : Bina

Marga No.03/MN/B/1983

e) Retak Blok (*Block Cracks*)

Retak blok (Gambar 3.16) adalah retak yang berbentuk blok-blok besar yang saling bersambungan, dengan ukuran sisi blok 0,20

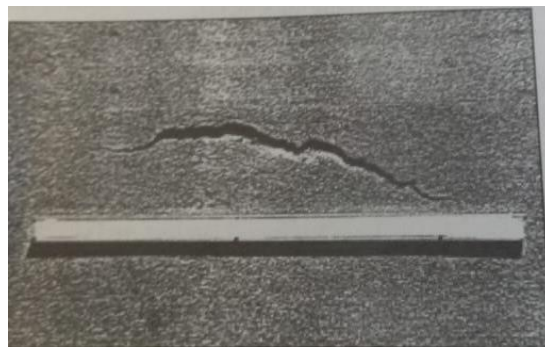
sampai 3 meter, dan dapat membentuk sudut atau pojok yang tajam.



Gambar 3.16 Retak Blok (*Block cracks*) Sumber : Bina Marga No.03/MN/B/1983

f) Retak Slip (*Slippage Cracks*) atau Retak Bentuk Bulan Sabit (*Crescent Shape Cracks*)

Retak slip atau retak berbentuk bulan sabit (Gambar 3.17) yang diakibatkan oleh gaya-gaya horizontal yang berasal dari kendaraan. Retak ini diakibatkan oleh kurangnya ikatan antara lapisan permukaan dengan lapisan dibawahnya, sehingga terjadi penggelinciran. Jarak retakan sering berdekatan dan berkelompok secara paralel. Retakan ini sering terjadi pada tempat-tempat kendaraan mengerem, yaitu pada saat turun dari bukit.



Gambar 3.17 Retak Slip (*Slippage Cracks*) Atau Retak Bentuk Bulan Saabit (*Crescent Shape Cracks*)
Sumber : Bina Marga No.03/MN/B/1983

9. Kerusakan di Pinggir Perkerasan

Kerusakan di pinggir perkerasan adalah retak yang terjadi di sepanjang

pertemuan antara permukaan perkerasan aspal dan bahu jalan, lebih-lebih bila bahu jalan tidak tertutup. Kerusakan ini terjadi secara lokal atau bahkan bisa memanjang disepanjang jalan, dan sering terjadi disalah satu bagian jalan, atau sudut.

a. Retak pinggir (*Edge Cracking*)

Retak pinggir (Gambar 3.18) biasanya terjadi sejajar dan kadang-kadang melengkung dipinggir perkerasan dengan jarak 0,3 - 0,6 m dari pinggir. Retak ini berkembang dari pinggir dan kemudian hari akan berkelompok membentuk retak kulit buaya. Retak ini terjadi akibat dukungan material pada bahu yang lemah atau kelembaban air yang terlalu tinggi.

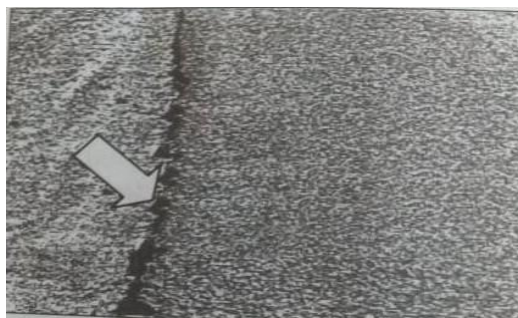


Gambar 3.18 Retak Samping Jalan (*Edge Cracking*)

Sumber : Bina Marga (1983)

b. Bahu Jalan turun (*Shoulder Drop-Off*)

Bahu jalan turun (Gambar 3.19) adalah beda elevasi antara pinggir perkerasan dan bahu jalan. Bahu jalan turun relatif terhadap pinggir perkerasan. Hal ini tidak penting dipertimbangkan bila selisih tinggi bahu dan perkerasan kurang dari 10 - 15 mm.



Gambar 3.19 Bahu Jalan turun (*Shoulder Drop-Off*) Sumber : Hardiyanto, 2015, 256

10. Kerusakan Tekstur Permukaan

Kerusakan tekstur permukaan merupakan kehilangan material perkerasan secara berangsur-angsur dari lapis permukaan ke arah bawah. Perkerasan nampak seakan pecah menjadi bagian-bagian kecil, seperti pengelupasan akibat terbakar sinar matahari, atau mempunyai garis-garis goresan yang sejajar. Butiran lepas dapat terjadi di atas seluruh permukaan, dengan lokasi terburuk di jalur lalu lintas. Kerusakan aspal akibat disintegrasi ini tidak menunjukkan penurunan kualitas struktur perkerasan, hanya mempunyai pengaruh terhadap gangguan kenyamanan kendaraan. Beberapa kerusakan yang tidak diperbaiki, dapat mengakibatkan berkurangnya kualitas struktur perkerasan.

a. Pelapukan dan Butiran Lepas (*Weathering and Raveling*)

Pelapukan dan butiran lepas (*weathering and raveling*) (Gambar 3.20) adalah disintegrasi permukaan perkerasan aspal melalui pelepasan partikel agregat yang berkelanjutan, berawal dari permukaan perkerasan menuju ke bawah atau dari pinggir ke dalam. Butiran agregat berangsur-angsur lepas dari permukaan perkerasan, akibat lemahnya pengikat antara partikel agregat.

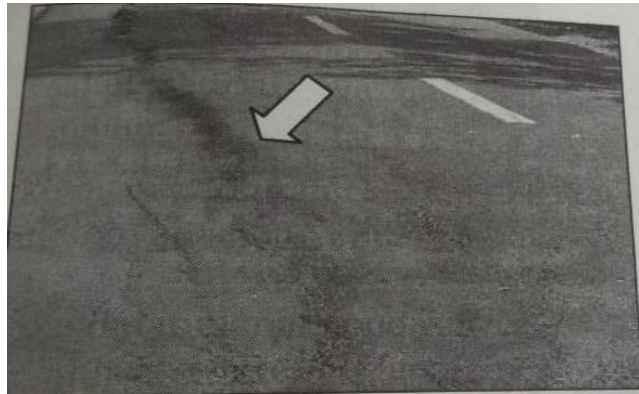


Gambar 3.20 Pelapukan dan butiran lepas (*weathering and raveling*) Sumber : Bina Marga No.03/MN/B/1983

b. Kegemukan (*Blending/Flushing*)

Kegemukan (Gambar 3.21) adalah hasil dari aspal pengikat yang berlebihan yang bermigrasi ke atas permukaan perkerasan. Kelebihan kadar aspal atau terlalu rendahnya kadar udara dalam

campuran, dapat mengakibatkan kegemukan. Kegemukan juga menyebabkan tenggelamnya agregat (parsial maupun keseluruhan) ke dalam pengikat aspal yang menyebabkan berkurangnya kontak antara ban kendaraan dan batuan. Kerusakan ini menyebabkan permukaan jalan menjadi licin. Pada temperatur tinggi, aspal menjadi lunak dan akan terjadi jejak roda.



Gambar 3.21 Kegemukan (*Blending/Flushing*) Sumber : Hardiyanto, 2015, 256

c. Agregat Licin

Agregat licin (Gambar 3.22) adalah licinnya permukaan bagian atas perkerasan, akibat ausnya agregat dipermukaan. Kecenderungan perkerasan menjadi licin dipengaruhi oleh sifat-sifat geologi dari agregat.



Gambar 3.22 Agregat Licin Sumber : Hardiyanto, 2015, 256

d. Pengelupasan (*Delamination*)

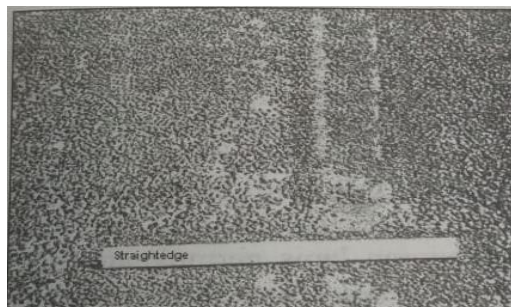
Pengelupasan (Gambar 3.23) terjadi akibat terkelupasnya lapisan aus dari permukaan perkerasan.



Gambar 3.23 Pengelupasan (*Delemination*) Sumber : Bina Marga No.03/MN/B/1983

e. *Striping*

Striping (Gambar 3.24) adalah suatu kondisi hilangnya agregat kasar dari bahan penutup yang disemprotkan, yang menyebabkan bahan pengikat dalam kontak langsung dengan ban. Pada saat musim panas, aspal dapat tercabut dan melekat pada ban kendaraan.



Gambar 3.24 *Striping*
Sumber : Hardiyanto, 2015, 256

f. Lubang (*Potholes*)

Lubang (Gambar 3.25) adalah lekukan atau lubang dipermukaan perkerasan akibat hilangnya lapis aus dan material lapis pondasi (*base*). Kerusakan berbentuk lubang kecil biasanya berdiameter

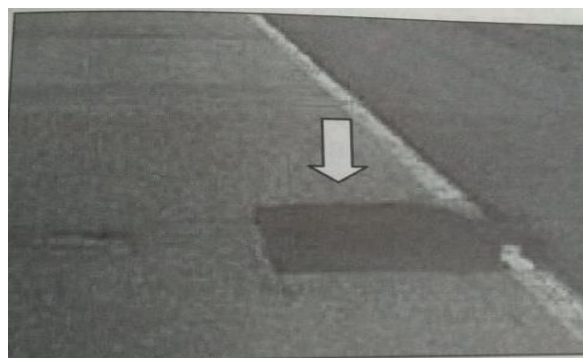
kurang dari 0,9 m dan berbentuk mangkuk. Lubang dapat berhubungan atau tidak berhubungan dengan kerusakan permukaan lainnya.



Gambar 3.25 Lubang (*Potholes*) Sumber : Bina Marga No.03/MN/B/1983

g. Tambalan dan tambalan galian Utilitas (*Patching and Utility Cut Patching*)

Tambalan (*patch*) (Gambar 3.26) adalah penutup bagian perkerasan yang mengalami perbaikan. Kerusakan tambalan dapat diikuti/tidak diikuti oleh hilangnya kenyamanan kendaraan (kegagalan fungsional) atau rusaknya struktur perkerasan. Rusaknya tambalan menimbulkan distorsi, disintegrasi, retak atau terkelupas antara tambalan dan permukaan perkerasan asli. Kerusakan tambalan dapat terjadi karena permukaannya yang menonjol atau amblas terhadap permukaan perkerasan.



Gambar 3.26 Tingkat Kerusakan Tambalan dan tambalan galian Utilitas (*Patching and Utility Cut Patching*) (Sumber: Hardiyanto, 2015, 269)

3.2.4 Metode PCI (*Pavement Condition Index*)

Penilaian kondisi kerusakan perkerasan yang dikembangkan oleh *U.S. Army Corp Engineer* (shahin et al. 1976-1984), dinyatakan dalam indeks kondisi perkerasan (*Pavement Condition Index*, PCI). Penggunaan PCI untuk perkerasan bandara, jalan dan tempat parkir telah dipakai secara luas di Amerika. *Pavement Condition Index* (PCI) adalah sistem penilaian kondisi perkerasan jalan berdasarkan jenis, tingkat dan luas kerusakan yang terjadi, dan dapat digunakan sebagai acuan dalam usaha pemeliharaan, metode *Pavement Condition Index* (PCI) ini didasarkan pada hasil survey kondisi visual. PCI ini merupakan indeks numeric yang nilainya berkisar diantara 0 sampai 100.

Dalam metoda PCI, tingkat keparahan kerusakan perkerasan merupakan fungsi dari 3 faktor utama, yaitu :

- a. Tipe kerusakan
- b. Tingkat keparahan
- c. Jumlah atau kerapatan kerusakan.

Adapun nilai tingkat kerusakan jalan tersebut dapat dilihat pada tabel-tabel sebagai berikut:

1. Retak Kulit Buaya (*Alligator Cracks*)

Tabel 3.2 Identifikasi Kerusakan Retak Kulit Buaya

Tingkat Kerusakan	Identifikasi Kerusakan
L	Satu dari kondisi berikut yang terjadi : 1. Retak tak terisi, lebar < 3/8 in. (10 mm) 2. Retak terisi, sembarang lebar (pengisi kondisi bagus).
M	Satu dari kondisi berikut yang terjadi: 1. Retak tak terisi, lebar < 3/8 -3 in. (10-76 mm) 2. Retak tak terisi, sembarang lebar sampai 3 in. (76 mm) di kelilingi retak acak ringan. 3. Retak terisi, sembarang lebar yang dikelilingi retak acak ringan.

H	Satu dari kondisi berikut yang terjadi: 1. Sembarang retak terisi atau tak terisi dikelilingi dengan retak acak, kerusakan sedang atau tinggi. 2. Retak tak terisi lebih dari 3 in. (76 mm). 3. Retak sembarang lebar dengan beberapa in. di sekitar retakan, pecah (retakberat menjadi pecahan)
---	---

(Sumber : Hardiyatmo, 2015)

2. Retak Kotak (*Block Cracks*)

Tabel 3.3 Identifikasi Kerusakan Retak Blok

Tingkat Kerusakan	Identifikasi Kerusakan
L	Blok diidentifikasi oleh retak dengan tingkat kerusakan rendah.
M	Blok diidentifikasi oleh retak dengan tingkat kerusakan sedang.
H	Blok diidefinisikan oleh retak dengan tingkat kerusakan tinggi.

(Sumber : Hardiyatmo, 2015)

3. Retak Slip (*Slippage Cracks*)

Tabel 3.4 Identifikasi Kerusakan Retak Slip

Tingkat Kerusakan	Identifikasi Kerusakan
L	Retak rata-rata lebar < 3/8 in. (10 mm)
M	Satu dari kondisi berikut yang terjadi: 1. Retak rata-rata 3/8 – 1,5 in. (10 – 38 mm) 2. Area di sekitar retakan pecah, ke dalam pecahan-pecahan terikat.
H	Satu dari kondisi berikut yang terjadi: 1. Retak rata-rata > 1/2 in. (> 38 mm) 2. Area di sekitar retakan, pecah ke dalam pecahan-pecahan mudah terbongkar

(Sumber : Hardiyatmo, 2015)

4. Retak Pinggir (*Edge Cracking*)

Tabel 3.5 Identifikasi Kerusakan Retak Pinggir

Tingkat Kerusakan	Identifikasi Kerusakan
L	Retak sedikit sampai sedang dengan tanpa pecahan atau butiran lepas
M	Retak sedang dengan beberapa pecahan dari butiran lepas
H	Banyak pecahan atau butiran lepas disepanjang tepi perkerasan

(Sumber : Hardiyatmo, 2015)

5. Jalur/Bahu Turun (*Lane/Shoulder Drop-Off*)

Tabel 3.6 Identifikasi Kerusakan Jalur/Bahu Jalan Turun

Tingkat Kerusakan	Identifikasi Kerusakan
L	Beda elevasi antara pinggir perkerasan dan jalan 1- 2 in. (25 – 51 mm)
M	Beda elevasi antara pinggir perkerasan dan jalan > 2-4 in. (51 – 102 mm)
H	Beda elevasi antara pinggir perkerasan dan jalan 4 in. (102 mm)

(Sumber : Hardiyatmo, 2015)

6. Pelapukan dan Butiran Lepas (*Weathering and raveling*)

Tabel 3.7 Identifikasi Kerusakan Pelapukan Dan Butiran

Tingkat Kerusakan	Identifikasi Kerusakan
L	Agregat atau bahan pengikat mulai lepas. Di beberapa tempat, permukaan mulai berlubang. Jika ada tumpahan oli, genangan oli dapat terlihat, tapi permukaannya keras, tak dapat ditembus mata uang logam.
M	Agregat atau pengikat telah lepas. Tekstur permukaan sangat kasar dan berlubang. Jika ada tumpahan permukaannya lunak, dan dapat ditembus mata uang logam.
H	Agregat atau pengikat telah banyak lepas. Tekstur permukaan sangat kasar dan mengakibatkan banyak lubang. Dimeter luasan lubang < 4 in. (10 mm) dan kedalaman ½ in. (13 mm). Luas lubang lebih besar dari ukuran ini, dihitung sebagai kerusakan lubang (<i>pothole</i>). Jika ada tumpahan oli permukaannya lunak, pengikat aspal telah hilang ikatannya sehingga agregat menjadi longgar

(Sumber : Hardiyatmo, 2015)

7. Kegemukan (*Bleeding/Flushing*)

Tabel 3.8 Identifikasi Kerusakan Kegemukan

Tingkat Kerusakan	Identifikasi Kerusakan
L	Kegemukan terjadi hanya pada derajat rendah, melekat pada sepatu atau roda kendaraan

M	Kegemukan telah mengakibatkan aspal melekat pada sepatu atau roda kendaraan paling tidak beberapa minggu dalam setahun
H	Kegemukan telah mengakibatkan aspal melekat pada sepatu atau roda kendaraan paling tidak lebih beberapa minggu dalam setahun

(Sumber : Hardiyatmo, 2015)

8. Agregat Licin (*Polished Aggregate*)

Tabel 3.9 Identifikasi Kerusakan Agregat Licin

Tingkat Kerusakan	Identifikasi Kerusakan
	Tidak ada definisi derajat kerusakan. Tetapi, derajat kelicinan harus nampak signifikan, sebelum dilibatkan dalam survei kondisi dan dinilai sebagai kerusakan.

(Sumber : Hardiyatmo, 2015)

9. Lubang (*Potholes*)

Tabel 3.10 Identifikasi Kerusakan Lubang

Diameter rata-rata lubang			
Kedalaman Maksimum	4-8 in (102-203 mm)	8-18 in (203-457mm)	18-30 in (457-762 mm)
½ - 1 in (12,7 - 25,4 mm)	L	L	M
> 1 - 2 in. (25,4 -50,8 mm)	L	M	H
> 2 in (> 50,8 mm)	M	M	H

(Sumber : Hardiyatmo, 2015)

10. Jalur atau Bahu turun (*Lane or Shoulder Drop-Off*)

Tabel 3.11 Identifikasi Kerusakan Pinggir Turun

Tingkat Kerusakan	Identifikasi Kerusakan
L	Beda elevasi antara pinggir perkerasan dan jalan 1-2 in. (25 – 51 mm)
M	Beda elevasi antara pinggir perkerasan dan jalan > 2-4 in. (51 – 102 mm)
H	Beda elevasi antara pinggir perkerasan dan jalan 4 in. (102 mm)

(Sumber : Hardiyatmo, 2015)

11. Ambblas (*Despression*)

Tabel 3.12 Identifikasi Kerusakan Ambblas

Tingkat Kerusakan	Identifikasi Kerusakan
L	Kedalaman alur rata-rata $\frac{1}{2}$ – 1 in. (13-25 mm).
M	Kedalaman alur rata-rata 1 – 2 in. (12 – 51 mm).
H	Kedalaman ambblas > 2 in. (51 mm).

(Sumber : Hardiyatmo, 2015)

12. Alur (*Rutting*)

Tabel 3.13 Identifikasi Kerusakan Alur

Tingkat Kerusakan	Identifikasi Kerusakan
L	Kedalaman alur rata-rata $\frac{1}{4}$ – $\frac{1}{2}$ in. (6-13 mm).
M	Kedalaman alur rata-rata $\frac{1}{4}$ – 1 in. (13 – 25,5 mm).
H	Kedalaman alur rata-rata > 1 in. (> 25,4 mm).

(Sumber : Hardiyatmo, 2015)

13. Sungkur (*Shoving*)

Tabel 3.14 Identifikasi Kerusakan Sungkur

Tingkat Kerusakan	Identifikasi Kerusakan
L	Sungkur menyebabkan sedikit gangguan kenyamanan kendaraan
M	Sungkur menyebabkan cukup gangguan kenyamanan kendaraan
H	Sungkur menyebabkan gangguan besar pada kenyamanan kendaraan

(Sumber : Hardiyatmo, 2015)

14. Tambalan dan Tambalan Galian Utilitas (*Patching and Utility Cut Patching*)

Tabel 3.15 Identifikasi Kerusakan Tambalan Dan Tambalan Galian

Tingkat Kerusakan	Identifikasi Kerusakan
L	Tambalan dalam kondisi baik dan memuaskan. Kenyamanan kendaraan dinilai terganggu sedikit lebih baik.
M	Tambalan sedikit rusak dan atau kenyamanan kendaraan agak terganggu.
H	Tambalan sangat rusak dan atau kenyamanan kendaraan sangat terganggu.

(Sumber : Hardiyatmo, 2015)

15. Retak Memanjang (*Longitudinal Cracks*)

Tabel 3.16 Identifikasi kerusakan retak memanjang

Tingkat Kerusakan	Identifikasi Kerusakan
L	Satu dari kondisi berikut yang terjadi : 1. Retak tak terisi, lebar <3/8 in (10 mm) Atau 2. Retak terisi sembarang lebar (pengisi kondisi bagus)
M	Satu dari kondisi berikut yang terjadi : 1. Retak tak terisi, lebar 3/8-3 in (10-76 mm) 2. Retak tak terisi, sembarang lebar sampai 3 in (76 mm) dikelilingi retak acakringan 3. Retak terisi, sembarang lebar dikelilingi retak agak acak
H	Satu dari kondisi berikut yang terjadi : 1. Sembarang retak terisi atau tak terisi dikelilingi oleh retak acak,kerusakansedang sampai tinggi 2. Retak tak terisi > 3 in (76 mm) 3. Retak sembarang lebar, dengan beberapa inci disekitar retakan, pecah.

(Sumber : Hardiyatmo, 2015)

3.2.5 Menentukan Nilai PCI

Dalam perhitungan menentukan nilai PCI (*Pavement Condition Index*)terdapat langkah-langkah sebagai berikut :

1. Menentukan Kerapatan

Kerapatan atau *density* merupakan presentase luas atau panjang total dari suatu jenis kerusakan jalan. Biasanya terjadi pada kerusakan jalan kulit buaya (*alligator cracking*), kegemukan (*bleeding*), amblas (*depression*), tambalan pada galian utilitas (*patching and untility cut patching*), jembul (*shoving*) dan pelepasan butir (*wheatring/ravelling*). Berikut ini rumus perhitungan *density* dengan persamaan (3.1) :

$$Density = \frac{A_d}{A_s} \% \quad (3.1)$$

Untuk jenis kerusakan berupa retak samping (*edge cracking*) dan retak memanjang dan melintang (*long and trans cracking*) dengan persamaan (3.2)

$$Density = \frac{L_d}{A_s} \% \dots\dots\dots (3.2)$$

Keterangan :

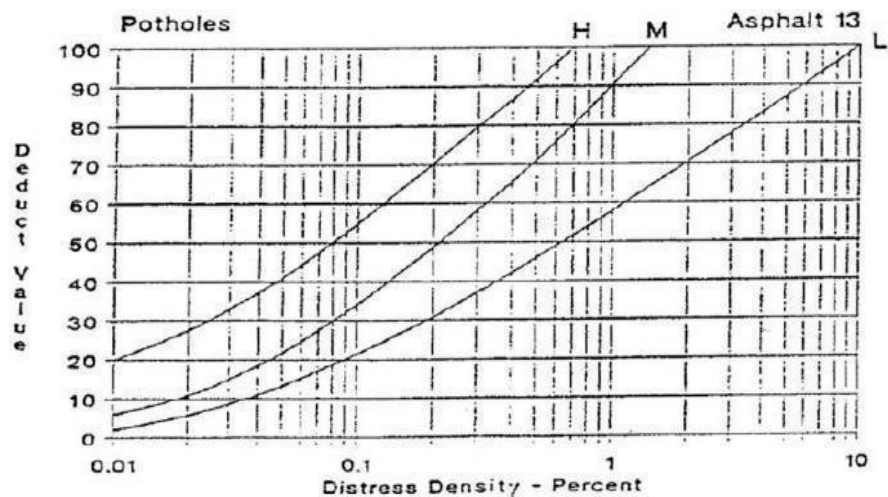
Ad = Luas total jenis kerusakan untuk tiap tingkat kerusakan (m²)

Ld = Panjang total jenis kerusakan untuk tiap tingkat kerusakan (m)

AS = Luas total unit (m²)

2. Nilai *Deduct Value*

Nilai pengurangan total atau *deduct value* adalah suatu nilai pengurangan untuk setiap jenis kerusakan yang diperoleh dari kurva hubungan kerapatan (*density*) dan tingkat keparahan (*severity level*) kerusakan. Grafik *deduct value* berbeda untuk tiap jenis kerusakan dan tingkat keparahannya (Hardiyatmo, 2015), dapat dilihat pada gambar grafik 3.24.



Gambar 3.27 *Deduct Value* Lubang (*Potholes*) (Sumber: Hardiyanto, 2015, 269)

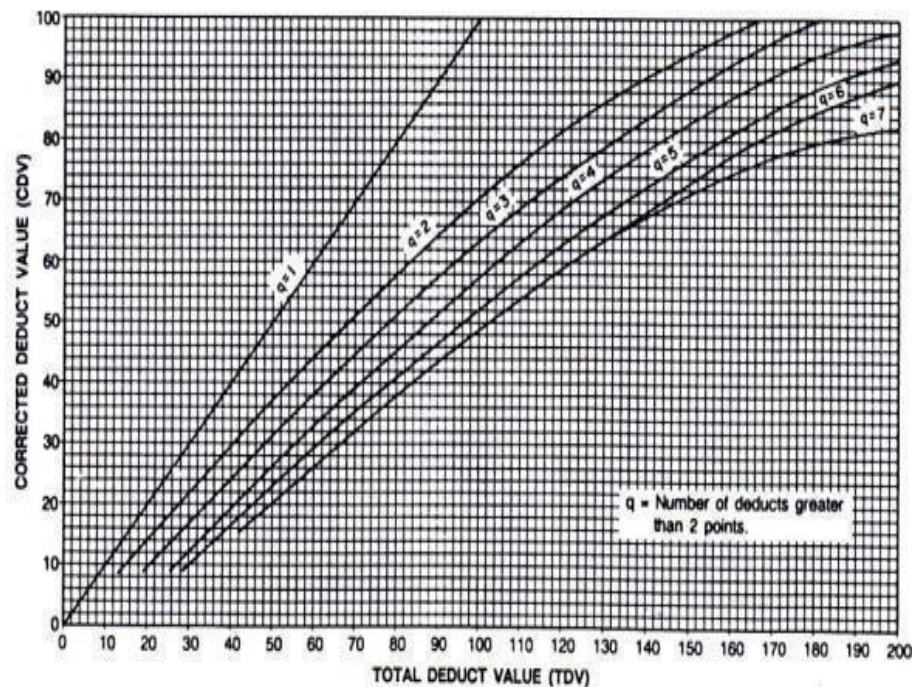
3. Menghitung Total *Deduct Value*

Nilai pengurangan total atau TDV (*Total Deduc Value*) adalah jumlah total dari nilai-nilai pengurangan (*Deduct Value*) pada masing-masing sampel.

(Hardiyatmo, 2015).

4. Nilai Pengurangan Terkoreksi (*Corrected Deduct Value*)

Nilai pengurangan terkoreksi atau CDV (*Corrected Deduct Value*) diperoleh dari kurva hubungan antar nilai pengurangan TDV (*Total Deduct Value*) dan nilai pengurangan DV (*Deduct Value*) dengan memilih kurva yang sesuai. Jika nilai CDV yang diperoleh lebih kecil dari nilai pengurang tertinggi, maka CDV yang digunakan adalah nilai pengurangan individual yang tertinggi. (Hardiyatmo, 2015), kurva koreksi nilai *deduct*, TDV dan *corrected deduct value* dapat dilihat pada gambar grafik 3.25



Gambar 3.28 *Corrected Deduct Value* (Sumber: Hardiyanto, 2015, 269)

5. Nilai Kondisi Perkerasan (PCI)

Nilai PCI menggunakan persamaan yang diperoleh dari *Corrected Deduct Value*, seperti pada persamaan (3.3).

$$PCI = 100 - \text{Corrected Deduct Value (CDV)} \dots\dots\dots(3.3)$$

Keterangan :

PCIs = PCI untuk setiap penelitian

CDV = CDV dari setiap unit sampel

6. Nilai Kondisi Perkerasan Rata-rata

Nilai PCI perkerasan secara keseluruhan pada ruas jalan, seperti padapersamaan (3.4).

$$PCI = \sum \frac{PCI(s)}{N} \quad (3.4)$$

Keterangan :

PCI = Nilai PCI perkerasan keseluruhan PCI(s) = PCI untuk tiap unit

N = Jumlah unit/segmen

Setelah nilai PCI diperoleh, maka pengelompokan klasifikasi kondisi kerusakan jalan berdasarkan nilai PCI dapat dilihat pada Tabel 3.17.

Tabel 3.17 Hubungan nilai PCI dengan klasikasi kondisi jalan

Nilai PCI	Kondisi
86 – 100	Sempurna (<i>excellent</i>)
71 – 85	Sangat Baik (<i>very good</i>)
56 – 70	Baik (<i>good</i>)
41 – 55	Sedang (<i>fair</i>)
26 – 40	Buruk (<i>poor</i>)
11 – 25	Sangat Buruk (<i>very poor</i>)
0 – 10	Gagal (<i>failed</i>)

(Sumber : Hardiyatmo, 2015)

7. Pemeliharaan Jalan Menurut PCI (*Pavement Condition Index*) Pemeliharaan jalan menurut PCI (*Pavement Condition Index*), seperti padaTabel 3.18

Tabel 3.18 Pemeliharaan jalan PCI (*Pavement Condition Index*)

<i>Pavement Condition Index</i> (PCI)	Kategori Penanganan Jalan
70-100	Pemeliharaan Rutin
40-69	Pemeliharaan Berkala

0-39	Pemeliharaan Rekonstruksi
------	---------------------------

(Sumber : Hardiyatmo, 2015)

Tabel 3.19 Kategori RCI dan IRI

RCI	IRI	Kondisi visual dari permukaan perkerasan.	Jenis tipikal permukaan
8 – 10	0 – 3	Sangat mulus dan teratur	Campuran panas yang baru.
7 – 8	3 – 4	Sangat baik, umumnya mulus.	Campuran panas setelah beberapa tahun layanan.
6 – 7	4 – 6	Baik.	Lapis tipis yang lama dari campuran panas.
5 – 6	6 – 8	Cukup, sangat sedikit atau tidak adalubang, tetapi permukaan tidak teratur.	LAPEN yang baru, NACAS yangbaru, LASBUTAG (lapisan aspal buton beragregat) setelah 2 tahunlayanan, NACAS yang lama.
4 – 5	8 – 10	Jelek, sesekali berlobang, permukaan tidak teratur	LAPEN setelah 2 tahun layanan, NACAS yang lama.
3 – 4	10 – 12	Pecah, bergelombang, banyaklobang.	LAPEN yang lama, NACAS yanglama, jalan kerikil yang kurang terpelihara.
2 – 3	12 – 16	Sangat pecah-pecah, banyak lubang dan total bidang perkerasan hancur.	Semua jenis perkerasa tanpalayanan waktu untuk yang lama.
2	>16	Tidak dapat dilalui, kecuali 4WD	Semua jenis perkerasan dianggap diabaikan.

Sumber. Soemino, dkk (2006)

Tabel 3.20 Kondisi jalan berdasarkan RDS 70

Tingkat Kerusakan	Satuan	Baik	Sedang	Rusak Ringan	Rusak Berat
Lubang	m ²				
Dangkal		<40	40-200	200-600	>600
Dalam		0	<40	40-200	>200
Penurunan/Ambles	m ²				
Dangkal		<100	100-200	200-1000	>1000
Dalam		0	<100	100-200	>200
Keriting	m ²	<100	>100	>200	>400
Alur	m ²	<200	200-500	500-2000	>2000
Retak Buaya	m ²	<100	100-500	500-1000	>1000
Retak Memanjang	m ²	<100	100-200	200-300	>400
Tambalan	m ²	<100	100-500	500-1000	>1000

Sumber. Soemino, dkk (2006)

3.2.6 Pemeliharaan Rutin dan Berkala

Departemen pekerjaan umum direktorat jenderal bina marga telah menerbitkan buku manual Manual Pemeliharaan Rutin untuk Jalan Nasional dan Provinsi No.002/T/BT/1995 untuk Metode Perbaikan Standar. Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga, kegiatan pemeliharaan dibagi dalam 2 kategori, yakni pemeliharaan rutindan pemeliharaan berkala (Dikutip dalam buku Hardiyatmo, 2015).

1. Pemeliharaan rutin

Pemeliharaan rutin mencakup pekerjaan-pekerjaan kecil dan pekerjaan-pekerjaan rutin, yang umum dilaksanakan pada jangka waktu yang teratur dan atas dasar “sebagaimana yang dikehendaki”, seperti penambahan permukaan, pemotongan rumput dan termasuk

pekerjaan-pekerjaan perbaikan rutin, biasanya dilaksanakan pada semua ruas atau segmen yang dalam keadaan baik atau sedang, termasuk proyek-proyek pembangunan jalan baru dan peningkatan jalan sesudah berakhirnya ketentuan mengenai pemeliharaan dalam kontrak.

2. Pemeliharaan berkala Merupakan pekerjaan yang mempunyai frekuensi yang terencana lebih dari satu tahun. Pemeliharaan berkala adalah pemeliharaan yang dilakukan pada waktu-waktu tertentu. Penanganan ini dilakukan pada kondisi lapis permukaan jalan yang sudah menurun kualitas permukaannya sedangkan dengan upaya pemeliharaan rutin tidak dapat mengembalikan kondisi jalan pada kondisi baik. Pemeliharaan berkala termasuk ke dalam pemeliharaan preventif dimana aplikasi penanganannya sebelum terjadi kerusakan yang berlanjut. Pemeliharaan berkala biasanya berupa perawatan permukaan seperti penambalan lapis tipis aspal pada permukaan guna memperbaiki integritas permukaan, dan mengisi atau menutup retak. Pemeliharaan ini bertujuan mempertahankan kondisi jalan sesuai dengan yang direncanakan selama masa layannya.

Jalan-jalan yang berada dalam kondisi rusak atau rusak berat memerlukan usaha yang lebih besar untuk mencapai standar minimum yang sesuai untuk lalu lintas. Direktorat Jendral Bina Marga menentukan tipe-tipe pembangunan perkerasan jalan, yaitu :

1. Pembangunan Baru

Terdiri atas pekerjaan untuk meningkatkan jalan tanah atau jalan setapak agar dapat dilalui kendaraan roda empat. Kondisi jalan seperti ini, memerlukan biaya yang besar dengan pekerjaan tanah yang besar.

2. Pekerjaan Peningkatan

Merupakan standar pelayanan dari jalan yang sudah ada, dengan membuat lapisan permukaan menjadi lebih halus, seperti pengaspalan pada jalan yang belum diaspal, penambahan lapis tipis aspal beton (*Hot Rolled Sheet, HRS*) pada ruas jalan yang menggunakan lapen, atau penambahan lapisan struktural untuk memperkuat perkerasannya, maupun pelebaran lapis

perkerasan yang ada.

3. Pekerjaan Rehabilitasi

Pekerjaan ini diperlukan apabila pekerjaan pemeliharaan yang seharusnya dilaksanakan sesuai jadwal telah diabaikan, atau pekerjaan pemeliharaan berkala terlalu lama ditunda, sehingga membuat lapis permukaan mengalami penurunan kualitas kinerja. Perbaikan terhadap kerusakan lapisan permukaan seperti lubang dan kerusakan struktural seperti ambles, asalkan kerusakan tersebut kurang dari 10-15% dari seluruh perkerasan yang biasanya berkaitan dengan lapisan aus baru.

4.3 Penanganan pemeliharaan

Didalam buku pemeliharaan jalan raya edisi kedua (Hardiyatmo,2015) pemeliharaan atau pekerjaan perbaikan perkerasan dapat dilakukan antara lain :

3.3.1 Penutupan retak

Penutupan retakan adalah proses pembersihan dan penutupan atau penutupan ulang retakan dalam perkerasan aspal. Cara ini digunakan untuk mengisi retakan memanjang dan melintang.

3.3.2 Perawatan permukaan

Perawatan permukaan (seal coat) untuk penanganan kerusakan seperti :

- a. area luas dengan retakan kecil yang rapat.
- b. Pelapukan/ butiran lepas
- c. Stripping
- d. Agregat licin
- e. Area tersegregasi
- f. Retak blok

3.3.3 Penambalan (*Patching*)

Penambalan merupakan perbaikan yang bersifat lokal untuk menambah keamanan dan menjaga kerataan permukaan perkerasan. Penambalan juga dapat mereduksi kecepatan meluasnya kerusakan. Penambalan umumnya cocok untuk memperbaiki kerusakan-kerusakan seperti :

1. Retak kulit buaya

2. Lubang
3. Tambalan
4. Kerusakan akibat pengembangan tanah dasar
5. Keriting
6. Sungkur
7. Ambblas
8. Retak gelincir
9. Alur

1) Penambalan permukaan

Perbaikan dengan cara penambalan di permukaan umumnya hanya bersifat sementara. Perbaikan tipe ini digunakan untuk memperbaiki :

- a) Sungkur
- b) retak alur kecil atau keriting
- c) ambblas (depression)
- d) pelapukan dan butiran lepas
- e) retak kulit buaya

Penambalan permukaan dapat dilakukan dengan tanpa melakukan penggalian atau pemotongan untuk menyamakan elevasinya dengan permukaan yang telah ada, atau cara lain, tambalan dilakukan dengan mengupas sebagian atau seluruh campuran perkerasan aspal yang telah ada.

2) Penambalan di seluruh kedalaman

Penambalan diseluruh kedalaman dilakukan untuk kerusakan structural dan material yang terkait dengan kerusakan :

- a) alur
- b) retak kulit buaya
- c) bergelombang/keriting

Penambalan dilakukan dengan membongkar seluruh area yang mengalami kerusakan, dan digantikan dengan campuran aspal yang masih segar. Walaupun penanganannya tidak sulit, namun

ada hal-hal khusus yang sangat menentukan kekuatan sistem perkerasan dalam perbaikan.

3.3.4 Pekerja Lapis Tambah (*Overlay*) Pada Perkerasan Lentur

Dalam buku Hardiyatmo tahun 2015 lapis tambahan dengan campuran aspal panas dikategorikan menjadi :

- a. lapis tambah struktural
- b. lapis tambah fungsional

Lapis tambahan structural dilakukan dengan meyakinkan kapasitas dukung perkerasan yang sangat tinggi. Hal ini diperlukan, misalnya sebagai akibat dari kenaikan volume lalu lintas atau kenaikan beban gandar kendaraan yang harus dilayani.

Lapis tambahan fungsional dibutuhkan jika kapasitas struktural perkerasan masih cukup untuk melayani beban kendaraan, tapi perkerasan telah menjadi sedemikian kasar dan tidak beraturan atau telah terjadi kerusakan permukaannya. Butiran lepas, deformasi permanen, kekasaran, kekasatan rendah, dan retak-retak adalah kerusakan utama yang harus diperbaiki lebih dulu sebelum dilakukan lapis tambahan.

Tujuan dari pekerjaan *overlay* adalah untuk perkuatan kembali dari lapisan perkerasan lentur dengan memberikan lapisan tambahan pada permukaan atas perkerasan. Hal ini, berbeda dengan reconstruction dimana diperlukan pelapisan tambahan berlapis-lapis guna menggantikan struktur perkerasan yang sudah rusak (Hardiyatmo, 2015).