

BAB 2

KAJIAN LITERATUR DAN KERANGKA PIKIR PENELITIAN

2.1 Landasan Hukum, Sistem Penyelenggaraan dan Manajemen Perkerasan Jalan

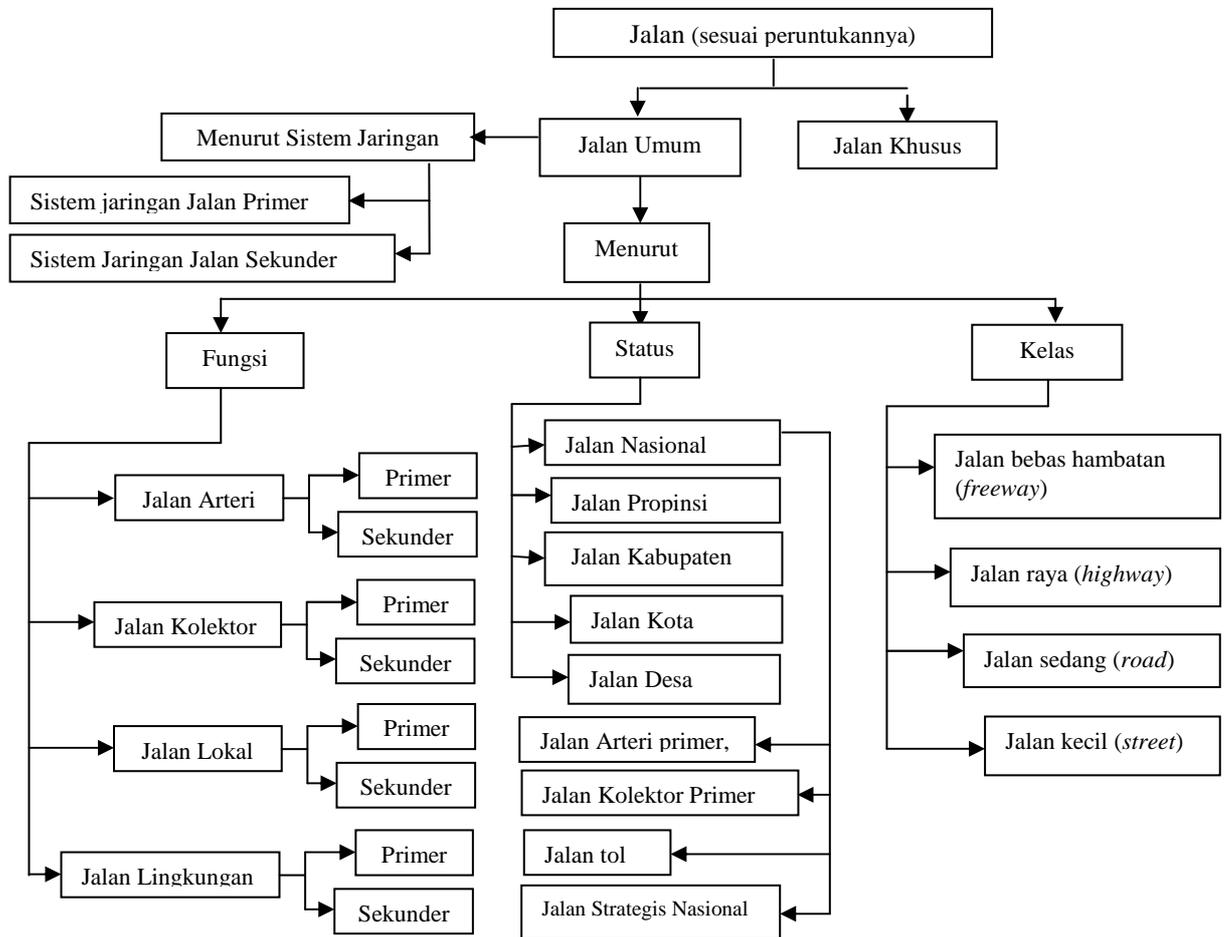
Pada bagian ini dijelaskan dasar hukum sistem penggolongan jalan di Indonesia. Pengenalan sistem penggolongan jalan ini dimaksudkan untuk memberikan gambaran terkait objek penelitian yang dilaksanakan. Selain itu dijelaskan juga sistem penyelenggaraan jalan di Indonesia dengan maksud memberikan gambaran posisi objek yang akan diteliti dalam siklus pembangunan jalan, serta menjelaskan sistem manajemen perkerasan jalan secara umum yang bertujuan memberikan penjelasan tentang tujuan dari sistem manajemen perkerasan jalan.

2.1.1 Landasan Hukum Jalan di Indonesia

Hingga saat ini, undang-undang (UU) dan peraturan pemerintah (PP) yang mengatur tentang infrastruktur jalan di Indonesia adalah UU No. 38 Tahun 2004 dan PP No. 34 Tahun 2006. Pasal 1 UU No. 38/2004 dan Pasal 1 PP RI No. 34/2006 menyebutkan 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, serta di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori, dan jalan kabel. Selain itu, pada peraturan tersebut jalan dibedakan menjadi jalan umum, jalan khusus dan jalan tol. Jalan umum adalah jalan yang diperuntukkan untuk kendaraan umum, jalan khusus adalah jalan yang dibangun oleh instansi, badan usaha, perseorangan, atau kelompok masyarakat untuk kepentingan sendiri. Sementara jalan tol adalah jalan umum yang merupakan bagian sistem jaringan jalan dan sebagai jalan nasional yang penggunaannya diwajibkan membayar tol. Untuk dapat membedakan jalan dari sistem jaringan, fungsi, status dan kelasnya perlu diuraikan klasifikasi jalan, sehingga JN yang dimaksud pada penelitian ini dapat dikenal secara baik.

Selain itu, menurut UU No. 38/2004 dan PP 34/2006, klasifikasi jalan umum di Indonesia terbagi berdasarkan sistem, fungsi, status dan kelas. Klasifikasi jalan umum berdasarkan sistem terbagi atas sistem jaringan jalan primer dan sekunder. Sementara klasifikasi jalan umum berdasarkan fungsi terbagi atas jalan arteri, kolektor, lokal dan lingkungan. Dan klasifikasi menurut status terbagi atas jalan nasional, provinsi, kabupaten, kota dan desa. Sedangkan klasifikasi jalan umum berdasarkan kelas jalan terbagi atas jalan bebas hambatan, jalan raya, jalan sedang dan jalan kecil. Mengacu pada uraian tersebut di atas, jalan nasional (JN) adalah

jalan arteri dan kolektor primer, jalan tol dan jalan strategis. Adapun klasifikasi jalan yang ada di Indonesia dapat digambarkan sebagaimana pada **Gambar 2-1**.



Gambar 2-1. Klasifikasi Jalan Menurut UU No. 38/2004 dan PP No. 34/2006

2.1.2 Sistem Penyelenggaraan dan Manajemen Perkerasan Jalan

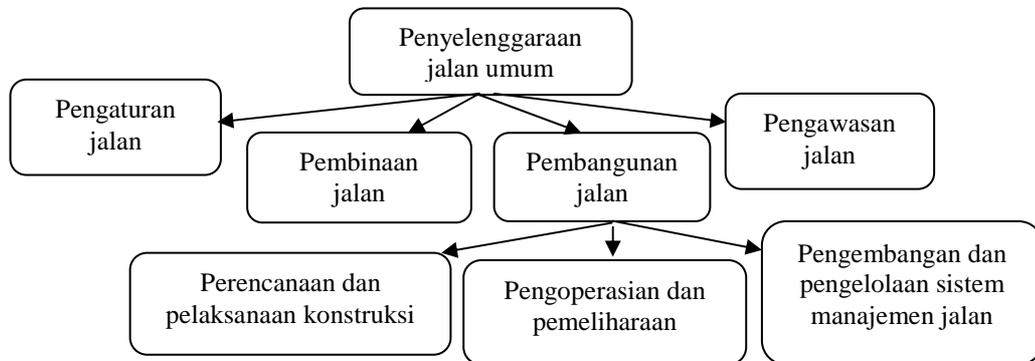
Pada UU No. 38/2004 dan PP No. 34/2006 disebutkan beberapa lingkup dari penyelenggaraan jalan, di antaranya:

- 1) pengaturan jalan,
- 2) pembinaan jalan,
- 3) pembangunan jalan, dan
- 4) pengawasan jalan.

Pada UU No. 38/2004 dan PP No. 34/2006 , disebutkan juga bahwa kegiatan pada lingkup pembangunan jalan terdiri dari 3 bagian, yaitu:

- a) perencanaan dan pelaksanaan konstruksi,
- b) pengoperasian dan pemeliharaan,

c) pengembangan dan pengelolaan sistem manajemen jalan sebagaimana dapat dilihat pada **Gambar 2-2**.



Gambar 2-2. Sistem Penyelenggaraan Jalan Umum di Indonesia (UU No.38/2004; PP No. 24/2006)

Menurut Vitillo (2013), manajemen perkerasan jalan adalah sebuah program untuk meningkatkan kualitas dan kinerja perkerasan jalan, dan meminimalkan biaya melalui pelaksanaan manajemen yang baik, yang terdiri dari:

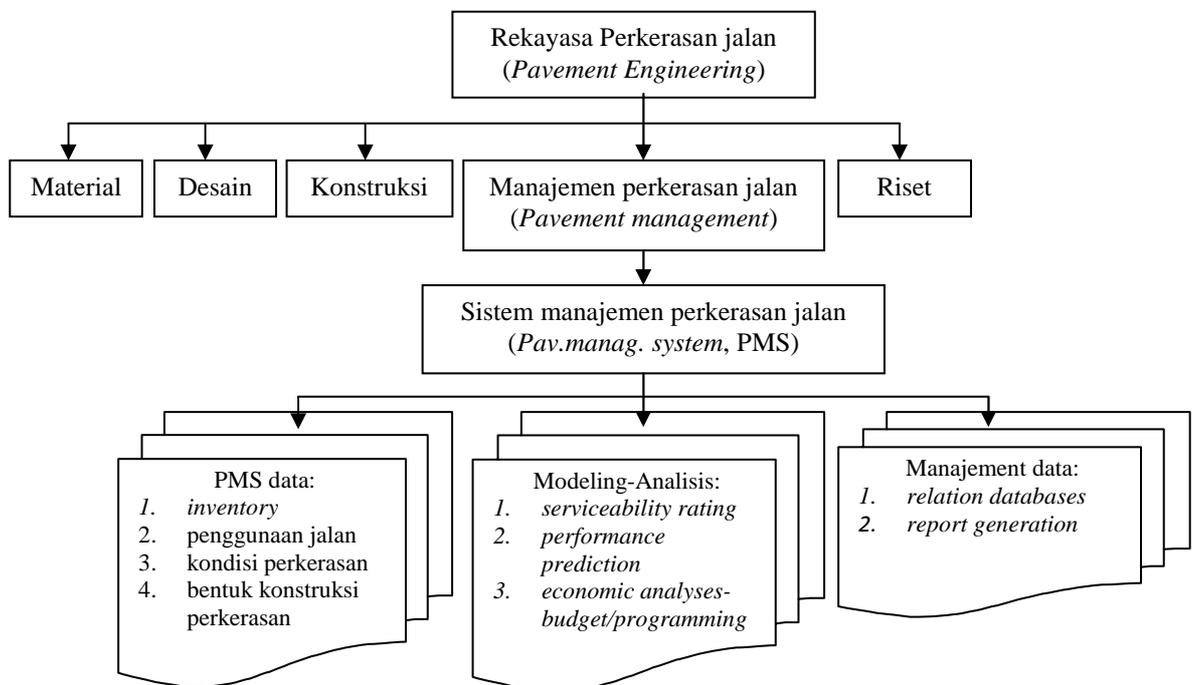
- 1) pengelolaan material,
- 2) desain,
- 3) pelaksanaan konstruksi,
- 4) manajemen perkerasan jalan, dan
- 5) riset dan pengembangan.

Sementara itu, sistem manajemen perkerasan jalan (*pavement management system/PMS*) adalah satu set prosedur untuk mengumpulkan, menganalisa, menjaga, dan melaporkan data perkerasan jalan, untuk membantu pengambil keputusan dalam memperoleh strategi yang optimal untuk menjaga kondisi perkerasan jalan agar mampu memberikannya selama periode waktu yang ditentukan dengan biaya paling murah (Vitillo, 2013). Sistem manajemen perkerasan jalan didesain untuk memberikan informasi yang objektif dan data yang berguna untuk analisis sehingga penyelenggara jalan dapat membuat biaya yang lebih efektif dan keputusan yang tepat terkait preservasi jalan. PMS tidak dapat membuat keputusan akhir, dia dapat memberikan dasar pemahaman yang informatif terhadap konsekuensi-konsekuensi yang mungkin pada keputusan-keputusan alternatif. Sistem manajemen perkerasan jalan adalah merupakan bagian dari rekayasa perkerasan jalan sebagaimana dapat dilihat pada **Gambar 2-3**.

Pada bagian lain, Townes *et al.* (2004) menyebutkan PMS adalah sebuah proses atau metode yang dapat membantu pengambil keputusan di dalam mengefektifkan biaya untuk

menyediakan, mengevaluasi, dan memelihara perkerasan jalan agar kondisinya kuat. PMS memberikan satu proses yang sistematis dalam pengumpulan, mengelola, menganalisa, dan menyimpulkan informasi perkerasan jalan untuk mendukung pemilihan alternative dan pelaksanaan yang efektif terhadap konstruksi perkerasan, rehabilitasi, dan program-program pemeliharaan. PMS membantu memberikan jawaban terhadap pertanyaan berikut:

- 1) Bagaimana strategi umum M&R (*maintenance & rehabilitation*) yang paling efektif dari aspek biaya?,
- 2) Di mana (segmen jalan) yang membutuhkan M&R?, dan
- 3) Kapan waktu yang paling tepat untuk melakukan penanganan jalan?



Gambar 2-3. Hubungan antara Desain dan Sistem Manajemen Perkerasan dalam Ilmu Rekayasa Perkerasan (Vitulo, 2013 dan Townes *et al.*, 2004)

Townes *et al.* (2004) mengatakan, walaupun berbeda untuk setiap penyelenggara, dasar-dasar PMS adalah merupakan seperangkat database yang meliputi empat ciri umum data:

- 1) Inventarisasi data (meliputi, struktur perkerasan, geometry, kondisi lingkungan, dan yang lain),
- 2) Penggunaan jalan (volume lalu lintas dan beban, umumnya diukur dalam *equivalent single axle load-ESAL*),
- 3) Kondisi perkerasan (kualitas berkendara, kerusakan permukaan, friction, dan/atau kapasitas struktur), dan

- 4) Konstruksi perkerasan, riwayat maintenance, dan rehabilitasi.

2.2 NSPM Pengelolaan Jalan Nasional Non Toll (JNnt)

Pada pengelolaan JNnt, terdapat beberapa NSPM (norma, standard, prosedur, dan manual) yang sering digunakan sebagai rujukan, di antaranya:

- 1) Pt-T-01-2002-B tentang Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur (Kimpraswil, 2002).
- 2) Pd T-05-2005-B tentang Pedoman Konstruksi dan Bangunan: Perencanaan tebal lapis tambah perkerasan lentur dengan metode lendutan (DPU, 2005).
- 3) Permen.PU No. 15/PRT/M/2007, tentang Pedoman Survey Kondisi Jalan Tanah dan atau Kerikil dan Kondisi Rinci Jalan Beraspal untuk Jalan antar Kota.
- 4) NSPM No. 002/P/BM/2001, tentang Perencanaan Perkerasan Lentur (P2JN Jawa Barat, 2013).
- 5) Pengembangan Alat Benkelman Beam untuk Memprediksi Nilai *Structural Number* Perkerasan Jalan oleh Puslitbang jalan dan jembatan, Dep. PU (Sebayang *et al.*, 2008).
- 6) Permen PU No. 11/PRT/M/2010, tentang Cara dan Persyaratan Laik Fungsi Jalan.
- 7) Permen PU No. 13/PRT/M/2011, tentang Tata Cara Pemeliharaan dan Penilikan Jalan.
- 8) Permen PU No. 14/PRT/M/2010, tentang Standar Pelayanan Minimal Bidang Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang.
- 9) Kepmenkimpraswil No. 534/KPTS/M/2001, tentang Pedoman penentuan SPM bidang penataan ruang, perumahan dan permukiman dan pekerjaan umum.

2.2.1 Perencanaan Perkerasan Lentur Jalan

Dalam konsep manajemen kualitas menyeluruh atau *total quality management* (TQM), rancangan umur layan suatu infrastruktur menjadi penting (Hudson *et al.*, 1987). Menurut Hudson *et al.* (1987), rancangan atau desain adalah sebuah aktifitas khas level-proyek pada pengelolaan infrastruktur, termasuk konstruksi, pemeliharaan, dan rehabilitasi. Planning, budgeting, dan programming pemeliharaan dan rehabilitasi dapat dilakukan pada tingkat tertentu, akan tetapi, desain dapat diterapkan terhadap sebuah unit khusus infrastruktur atau proyek. Rangkaian proses adalah, desain, konstruksi, pemeliharaan, dan rehabilitasi.

Sementara itu, Chou (1992) menyebutkan bahwa prinsip dasar desain perkerasan jalan adalah menentukan ketebalan perkerasan untuk membatasi tegangan vertikal (tekanan) pada *subgrade* dan tegangan horizontal (regangan) pada lapisan bawah butiran beraspal oleh karena beban lalu lintas yang ditentukan. Batasan tegangan vertikal digunakan untuk menjaga agar *subgrade* tidak mengalami kegagalan, dan tegangan horizontal digunakan untuk menjaga permukaan butiran beraspal dari keretakan.

“The basic principle for the design procedure is to select a pavement thickness to limit the vertical strains (compressive) in the subgrade and the horizontal (tensile) strains at the bottom of the bituminous concrete induced by design vehicular traffic loads at select levels. The former limit is used to prevent the subgrade from experiencing shear failure, and the latter limit is used to prevent the bituminous surface course from cracking” (Chou, 1992).

Pada bagian lain, Kocks Consult GmbH-Koblenz dan Universitas SRL-Chisinau (2009) menyebutkan, “desain perkerasan jalan adalah sebuah proses pada pemilihan material perkerasan dan lapisan permukaan yang tepat untuk menjamin perkerasan jalan mampu bekerja dan membutuhkan pemeliharaan yang minimum atas beban kendaraan yang direncanakan selama umur desain yang ditentukan.” Sasaran dari kinerja adalah untuk: 1) memberikan keamanan dan kenyamanan berkendara terhadap pengguna jalan yang optimal sebagaimana fungsi yang direncanakan pada jalan, dan 2) mematuhi standar perkerasan dan petunjuk dan syarat-syarat lainnya dari pemerintah.

“Pavement design is a process of selection of appropriate pavement and surfacing materials to ensure that the pavement performs adequately and requires minimal maintenance under the anticipated traffic loading for the design period adopted. This selection process involves adoption of material types, thicknesses and configurations of the pavement layers to meet the design and performance objectives” (Kocks Consult GmbH-Koblenz dan Universitas SRL-Chisinau, 2009).

Secara umum, perencanaan perkerasan jalan dengan metode AASHTO, 1993 harus memiliki informasi (Bryce *et al.*, 2013; Garber dan Hoel, 2002; Zhang *et al.*, 2004; Kimpraswil, 2002):

- 1) Umur rencana (UR).
- 2) Beban lalu lintas rencana.
- 3) Modulus resiliensi tanah dasar.
- 4) PSI_0 (*initial present serviceability index*) dan PSI_T (*terminal present serviceability index*).
- 5) Reliabilitas (R).
- 6) Deviasi standar gabungan (S_0).
- 7) Kondisi drainase (m).
- 8) Kondisi lingkungan.

Adapun bentuk matematis perencanaan perkerasan lentur dapat dilihat pada Persamaan 2.1 (Bryce *et al.*, 2013; Garber dan Hoel, 2002; Zhang *et al.*, 2004; Kimpraswil, 2002)

$$\text{Log}W_{18} = Z_R * S_0 + 9,36 * \text{Log}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\text{Log}\left(\frac{APSI}{IP_0 - IP_f}\right)}{0,40 + \frac{1,094}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32\text{Log}M_R - 8,07 \quad (2.1)$$

di mana:

W_{18} = perkiraan jumlah beban sumbu standar ekuivalen 18-kip selama umur rencana (UR)

- Z_R = deviasi normal standar sebagai fungsi dari tingkat kepercayaan (R), yaitu dengan menganggap bahwa semua parameter masukan yang digunakan adalah nilai rata-ratanya (Sebayang *et al.*, 2008). Nilai Z_R dapat dilihat pada **Tabel 2-1**.
- S_0 = deviasi standar gabungan, pada Pt-T-01-2002-B biasanya untuk perkerasan lentur digunakan 0,4-0,5 (Sebayang *et al.*, 2008)
- M_R = modulus tanah dasar
- ΔPSI = $IP_0 - IP_t$ = kehilangan tingkat pelayanan (Sebayang *et al.*, 2008), yaitu perbedaan antara indeks permukaan awal (IP_0) dan indeks permukaan terminal (IP_t) (Kimpraswil, 2002) sebagaimana dapat dilihat pada **Tabel 2-2**, **Tabel 2-3**, dan **Tabel 2-4**.
- IP_f = indeks permukaan jalan hancur = 1,5 (Kimpraswil, 2002)
- SN = *structural number* = indeks tebal perkerasan (ITP) (Kimpraswil, 2002)
- Biasanya, $IP_0 = 4,2$, $IP_t = 2$ (Kimpraswil, 2002), sehingga $\Delta PSI = 4,2 - 2 = 2,2$

Tabel 2-1. Reliability (R) dan Nilai Z_0 (Kimpraswil, 2002; Garber dan Hoel, 2002; Lavin, 2003; Zhang *et al.*, 2004)

Reliability, R (%)	Standard Normal deviate, Z_R	Reliability, R (%)	Standard Normal deviate, Z_R
50	0.000	93	-1.476
60	-0.253	94	-1.555
70	-0.524	95	-1.645
75	-0.674	96	-1.751
80	-0.841	97	-1.881
85	-1.037	98	-2.054
90	-1.282	99	-2.327
91	-1.340	99.9	-3.090
92	-1.405	99.99	-3.750

Tabel 2-1 memperlihatkan bahwa nilai R sebanding dengan nilai negatif Z_R . Makin besar nilai R maka Z_R makin besar (negatif). Sementara itu, pada **Tabel 2-2** dapat dilihat beberapa nilai indeks permukaan awal (IP_0) permukaan jalan menurut jenis lapis perkerasannya. Secara umum, nilai IP_0 berbanding terbalik dengan kerataan permukaan jalan (IRI), makin besar nilai IP_0 makin kecil nilai IRI yang harus dipenuhi.

Tabel 2-2. Nilai Indeks Permukaan Awal (IP_0) (Kimpraswil, 2002)

Jenis lapis perkerasan	IP_0	Ketidak rataan (IRI), m/km
LASTON	≥ 4	$\leq 1,0$
	3,9-3,5	$> 1,0$
LASBUTAG	3,9-3,5	$\leq 2,0$
	3,4-3,0	$> 2,0$
LAPEN	3,4-3,0	$\leq 3,0$
	2,9-2,5	$> 3,0$

Selain IPo, komponen penting lainnya pada saat mendesain perkerasan jalan lentur adalah indeks permukaan terminal (IPt), dan koefisien drainase (m). Pada **Tabel 2-3** dapat dilihat IPt, yaitu nilai indeks permukaan terminal yang diharapkan terjadi pada akhir umur rencana jalan. Tabel 2-3 memperlihatkan bahwa makin tinggi kelas jalan dengan indikator LER (lalu lintas equivalen rata-rata) makin besar IPt yang disyaratkan. Selain itu juga, dapat dilihat bahwa makin rendah kualitas jalan makin rendah nilai IPt-nya.

Tabel 2-3. Nilai Indeks Permukaan Terminal (IP_T) (Sebayang *et al.*, 2008)

LER	Klasifikasi Jalan			
	Lokal	Kolektor	Arteri	Bebas Hambatan
<10	1,0-1,5	1,5	1,5-2,0	-
10-100	1,5	1,5-2,0	2,0	-
100-1000	1,5-2,0	2,0	2,0-2,5	-
>1000		2,0-2,5	2,5	2,5

Santos dan Ferreira (2012) memberikan nilai PSI awal (PSIo) dan PSI terminal (PSIT) menurut kelas jalan sebagaimana pada **Tabel 2-4**. Untuk jalan nasional (*national roads*), PSIo adalah 4,2 s/d 4,5 dan PSIT berada pada nilai 2, sementara jalan propinsi/kota/kabupaten memiliki PSIo dan PSIT masing-masing 4,2-4,5 dan 1,50.

Tabel 2-4. Nilai PSI Awal (PSIo) dan PSI Terminal (PSIT) (Santos dan Ferreira, 2012)

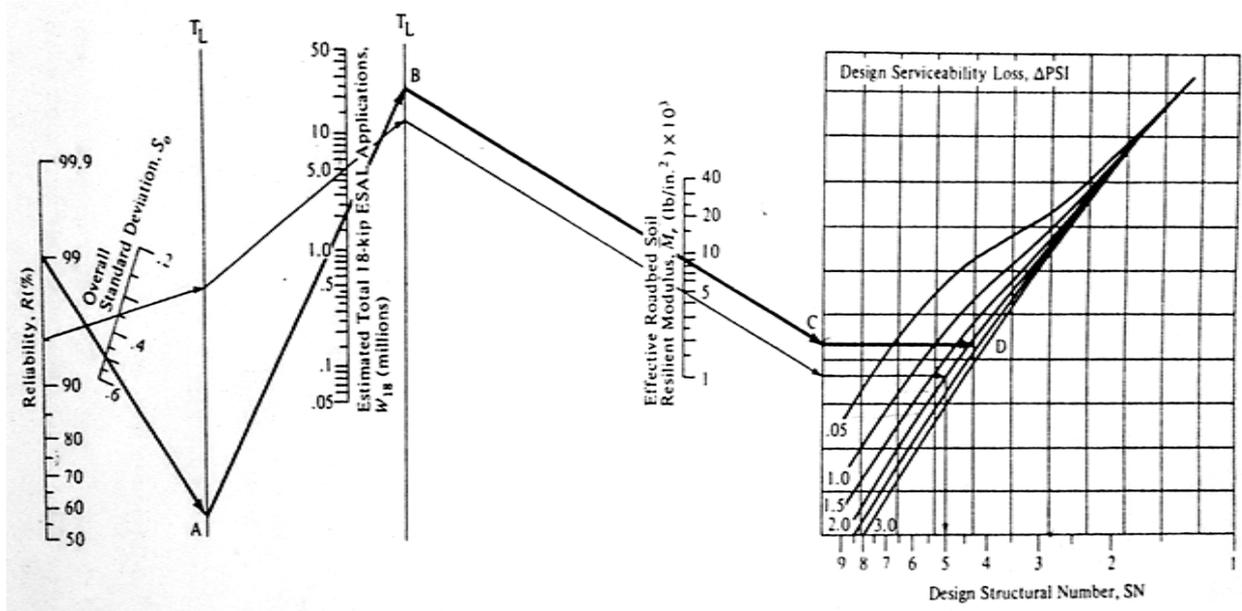
Klas jalan	PSIo	PSIT
Jalan raya (<i>Highways</i>)	4,2-4,5	2,5-3,0
Jalan nasional (<i>National roads</i>)	4,2-4,5	2,0
Jalan propinsi/kota/kabupaten (<i>Municipal roads</i>)	4,2-4,5	1,5

Selain menggunakan Persamaan 2.1, nilai SN dapat juga ditentukan menggunakan nomograph sebagaimana pada **Gambar 2-4**. Adapun tahapan penggunaan nomograph pada **Gambar 2-4** adalah sebagai berikut:

- 1) Menentukan W_{18} berdasarkan lalu lintas harian (LHR), pertumbuhan kendaraan tiap tahun (i), dan umur rencana (UR).
- 2) Menentukan R, So, PSIo, PSIT, MR
- 3) Menentukan SN. SN yang diperoleh adalah merupakan SN syarat atau minimum (Garber dan Hoel, 2002; Lavin, 2003; Zhang *et al.*, 2004).
- 4) Menentukan ketebalan lapisan perkerasan menggunakan Persamaan.2.2 (Kimpraswil, 2002; Garber dan Hoel, 2002; Zhang *et al.*, 2004; Sebayang *et al.*, 2008).

$$ITP = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3 \quad (2.2)$$

di mana a_1, a_2, a_3 = koefisien kekuatan relatif bahan perkerasan (berdasarkan besaran mekanistik), D_1, D_2, D_3 = tebal masing-masing lapis perkerasan, m_2, m_3 = koefisien drainase. Angka 1, 2, dan 3 masing-masing adalah indeks untuk lapisan permukaan, lapis pondasi, dan lapis pondasi bawah. Sementara itu, koefisien drainase (m) dapat dilihat pada **Tabel 2-5**.



Gambar 2-4. Nomograph Penentuan Nilai SN Perkerasan (Garber dan Hoel, 2002)

Tabel 2-5. Koefisien drainase (m) (AASHTO, 1993 *cit* Garber dan Hoel, 2002; Zhang *et al.*, 2004, Kimpraswil, 2002)

Kualitas drainase	Persentase Struktur Perkerasan Dipengaruhi Oleh Kadar Air yang Mendekati Jenuh			
	< 1%	1-5%	5-25%	>25%
Baik sekali	1,40-1,35	1,35-1,30	1,30-1,20	1,20
Baik	1,35-1,25	1,25-1,15	1,15-1,00	1,00
Sedang	1,25-1,15	1,15-1,05	1,00-0,80	0,80
Jelek	1,15-1,05	1,05-0,80	0,80-0,60	0,60
Jelek sekali	1,05-0,95	0,95-0,75	0,75-0,40	0,40

2.2.2 Tingkat Layanan Jalan

Pada Permenhub No. KM 14/2006, Pasal 6 ayat (2), disebutkan bahwa indikator tingkat pelayanan mencakup: a) kecepatan lalu lintas, b) nisbah volume/kapasitas (V/C ratio), c) kepadatan lalu lintas, dan d) kecelakaan lalu lintas. Sementara pada Pasal 9 ayat (1), disebutkan bahwa tingkat pelayanan yang diinginkan pada sistem jaringan jalan primer sesuai fungsinya, adalah: i) jalan arteri primer, tingkat pelayanan sekurang-kurangnya B, ii) jalan kolektor primer,

tingkat pelayanan sekurang-kurangnya B, dan iii) jalan tol, tingkat pelayanan sekurang-kurangnya B.

Apabila dikaitkan syarat minimal pelayanan dengan pelayanan minimal jalan nasional (JN), maka yang pertama dilakukan adalah menetapkan golongan jalan sebagai JN. Menurut PP No. 34/2006, Pasal 26, JN terdiri atas: a) jalan arteri primer, b) jalan kolektor primer yang menghubungkan antar ibu kota propinsi, c) jalan tol, dan d) jalan strategis nasional. Berdasarkan kategori JN menurut PP No. 34/2006 dan standar pelayanan minimal jalan menurut Permenhub No. KM 14/2006, pelayanan minimal JN adalah kategori B dengan karakteristik sebagaimana dapat dilihat pada **Tabel 2-6** s/d **Tabel 2-8**.

Tabel 2-6. Tingkat Pelayanan dan Karakteristik Operasi terkait Jalan Tol (Permenhub No. KM 14/2006)

Pelayanan	Karakteristik operasi terkait
A	a) Arus bebas b) Kecepatan lalu lintas ≥ 100 km/jam c) Volume lalu lintas 1400 smp per jam pada 2 lajur 1 arah
B	a) Arus stabil dengan kecepatan tinggi b) Kecepatan lalu lintas ≥ 90 km/jam c) Volume lalu lintas maksimal 2000 smp per jam pada 2 lajur 1 arah
C	a) Arus masih stabil b) Kecepatan lalu lintas sekurang-kurangnya ≥ 80 km/jam c) Volume lalu lintas pada 2 lajur 1 arah tidak melebihi 75% dari kapasitas (yaitu 1500 smp per jam per lajur atau 3000 smp per jam untuk 2 lajur)
D	a) Arus mendekati tidak stabil dan peka terhadap perubahan kondisi b) Kecepatan lalu lintas umumnya berkisar 65 km/jam c) Volume lalu lintas sekitar 0,9 dari kapasitas d) Arus puncak 5 menit tidak melebihi 3600 smp per jam untuk 2 lajur 1 arah
E	a) Arus tidak stabil b) Kecepatan lalu lintas antara 50-60 km/jam c) Volume lalu lintas mendekati kapasitas, sekitar 2000 smp per jam per lajur per arah
F	a) Arus tertahan b) Kecepatan lalu lintas < 50 km/jam

Tabel 2-7. Tingkat Pelayanan dan Karakteristik Operasi terkait Jalan Arteri Primer (Permenhub No. KM 14/2006)

Pelayanan	Karakteristik operasi terkait
A	a) Arus bebas b) Kecepatan lalu lintas ≥ 100 km/jam c) Jarak pandang bebas untuk mendahului harus selalu ada d) Volume lalu lintas mencapai 20% dari kapasitas (yaitu 400 smp per jam 2 arah) e) Sekitar 75% dari gerakan mendahului dapat dilakukan dengan sedikit atau tanpa tundaan
B	a) Awal dari kondisi arus stabil b) Kecepatan lalu lintas ≥ 80 km/jam c) Volume lalu lintas dapat mencapai 45% dari kapasitas (yaitu 900 smp per jam, 2 arah)
C	a) Arus masih stabil b) Kecepatan lalu lintas ≥ 65 km/jam c) Volume lalu lintas dapat mencapai 70% dari kapasitas (yaitu 1400 smp per jam, 2 arah)

Tabel 2-7. Tingkat Pelayanan dan Karakteristik Operasi terkait Jalan Arteri Primer (Permenhub No. KM 14/2006) (Lanjutan)

Pelayanan	Karakteristik operasi terkait
D	a) Mendekati arus tidak stabil b) Kecepatan lalu lintas umumnya turun sampai 60 km/jam c) Volume lalu lintas dapat mencapai 85% dari kapasitas (yaitu 1700 smp per jam, 2 arah)
E	a) Kondisi mencapai kapasitas dengan volume mencapai 2000 smp per jam, 2 arah. b) Kecepatan lalu lintas pada umumnya berkisar 50 km/jam c) Volume lalu lintas mendekati kapasitas, sekitar 2000 smp per jam per lajur per arah
F	a) Kondisi arus tertahan b) Kecepatan lalu lintas < 50 km/jam c) Volume di bawah 2000 smp per jam.

Tabel 2-8. Tingkat Pelayanan dan Karakteristik Operasi terkait Jalan Kolektor Primer (Permenhub No. KM 14/2006)

Pelayanan	Karakteristik operasi terkait
A	a) Kecepatan lalu lintas \geq 100 km/jam b) Volume lalu lintas sekitar 30% dari kapasitas (yaitu 600 smp per jam /lajur)
B	a) Awal dari kondisi arus stabil b) Kecepatan lalu lintas \geq 90 km/jam c) Volume lalu lintas tidak melebihi 50% kapasitas (yaitu 1000 smp per jam/lajur)
C	a) Arus stabil b) Kecepatan lalu lintas \geq 75 km/jam c) Volume lalu lintas tidak melebihi 75% dari kapasitas (yaitu 1500 smp /jam/lajur)
D	a) Mendekati arus tidak stabil b) Kecepatan lalu lintas sekitar 60 km/jam c) Volume lalu lintas sampai 90% dari kapasitas (yaitu 1800 smp/jam/lajur)
E	a) Kondisi mencapai kapasitas dengan volume mencapai 2000 smp/jam/lajur b) Kecepatan lalu lintas berkisar 50 km/jam
F	a) Arus tertahan, kondisi terhambat (congested) b) Kecepatan lalu lintas < 50 km/jam

Mengacu pada UU No. 38/2004, PP No. 34/2006, dan Permenhub No. KM 14/2006 terkait kelas jalan dan standar pelayanan, maka JN memiliki tingkat pelayanan minimal B dengan karakteristik sebagaimana terlihat pada **Tabel 2-9**, di mana persyaratan minimal pelayanan jalan nasional (JN) adalah: a) Kondisi arus: stabil, b) Kecepatan minimal: 80 km/jam, dan c) Volume lalu lintas: 900 smp/jam/lajur.

Tabel 2-9. Karakteristik Pelayanan Minimal Jalan Nasional (Diolah berdasarkan Permenhub No. KM 14/2006 dan PP No. 34/2006)

Jalan Nasional (PP No. 34/2006, Psl. 26)	Karakteristik Pelayanan Minimal (Permenhub No. KM 14/2006, Pasal 9 ayat (1))		
	Kondisi arus lalu lintas	Kec. minimal (km/jam)	Volume lalulintas (smp/jam/lajur)
Jalan Tol	stabil	90	2000
Jalan Arteri Primer	stabil	80	900
Jalan Kolektor Primer	stabil	90	1000

Dalam tingkat operasional, penilaian dan cara penanganan jalan diatur pada Peraturan Menteri PU Nomor 13 Tahun 2011. Pada bagian Lampiran Peraturan Menteri PU No. 13/PRT/M/2011 tersebut disebutkan cara mengkategorikan kondisi jalan menggunakan indikator RCI (*Road Condition Index*) sebagaimana dapat dilihat pada **Tabel 2-10**. Selain itu, pada aturan yang sama, kondisi jalan dapat juga dikategorikan menggunakan kombinasi RCI dan IRI sebagaimana dapat dilihat pada **Tabel 2-11**, di mana kondisi paling buruk yang mungkin diberikan pada jalan adalah “rusak berat”. Kedua sistem penilaian tersebut di atas akan menghadapi suatu kendala apabila permukaan jalan benar-benar hancur dan tak dapat dilalui.

Tabel 2-10. Nilai RCI dan Deskripsinya (Permen PU No. 13/PRT/M/2011)

No	Deskripsi jenis permukaan jalan dilihat secara visual	Deskripsi kondisi lapangan dilihat secara visual	Nilai RCI
1	Jalan tanah dengan drainase yang jelek, dan semua tipe permukaan yang tidak diperhatikan sama sekali	Tidak bisa dilalui	0-2
2	Semua tipe perkerasan yang tidak diperhatikan sejak lama (4-5 tahun atau lebih)	Rusak berat, banyak lobang dan seluruh daerah permukaan	2-3
3	PM (pemeliharaan berkala) lama, , latsbum lama, batu kerikil	Rusak bergelombang, banyak lobang	3-4
4	PM (pemeliharaan berkala) setelah pemakaian 2 tahun, latsbum lama	Agak rusak, kadang-kadang ada lobang, permukaan tidak rata	4-5
5	PM (pemeliharaan berkala) baru, latsbum baru, latsbutag setelah pemakaian 2 tahun	Cukup tidak ada atau sedikit sekali lobang, permukaan jalan agak tidak rata	5-6
6	Lapis tipis lama dari hotmix, latsbutag baru, latsbutag baru	Baik	6-7
7	Hotmix setelah 2 tahun, hotmix tipis di atas PM (pemeliharaan berkala)	Sangat baik, umumnya rata	7-8
8	Hotmix baru (lataston, laston), peningkatan dengan menggunakan lebih dari 1 lapis	Sangat rata dan teratur	8-10

Tabel 2-11. Penentuan Kondisi Ruas Jalan (B,S,RR,RB) Berdasarkan Nilai RCI atau IRI vs Volume Lalu Lintas (LHRT) (Permen PU No. 13/PRT/M/2011)

RCI	IRI	Lalu lintas harian rata-rata tahunan (LHRT) [smp/hr)									
		0-100	100-300	300-500	500-1000	1000-2000	2000-3000	3000-12000	> 12000		
7,26 ≤RCI< 10	0 ≤IRI< 3,5	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
6,93 ≤RCI< 7,20	3,5 ≤IRI< 4	B	B	B	B	B	B	B	B	B	S
5,74 ≤RCI< 6,87	4 ≤IRI< 6	B	B	B	B	B	B	B	B	S	S
4,76 ≤RCI< 5,69	6 ≤IRI< 8	B	B	B	B	S	S	S	S	S	RR
3,94 ≤RCI< 4,71	8 ≤IRI< 10	B	B	S	S	S	S	S	S	RR	RB
3,27 ≤RCI< 3,91	10 ≤IRI< 12	S	S	S	S	RR	RR	RR	RR	RB	RB
2,24 ≤RCI< 3,24	12 ≤IRI< 16	S	RR	RR	RR	RB	RB	RB	RB	RB	RB
1,54 ≤RCI< 2,22	16 ≤IRI< 20	RR	RR	RB	RB	RB	RB	RB	RB	RB	RB
0,95 ≤RCI< 1,53	20 ≤IRI< 25	RR	RB	RB	RB	RB	RB	RB	RB	RB	RB
RCI < 0,94	IRI ≥ 25	RB	RB	RB	RB	RB	RB	RB	RB	RB	RB

Permen PU No. 13/PRT/M/2011 juga memberi petunjuk terkait tindakan penanganan jalan berdasarkan persentase kerusakan lapis perkerasan permukaan berpenutup aspal/beton dan lapis permukaan yang tidak berpenutup aspal/beton sebagaimana dapat dilihat pada **Tabel 2-12** dan **Tabel 2-13**.

Tabel 2-12. Penentuan Program Penanganan Pemeliharaan Jalan Berpenutup Aspal/Beton Semen (Permen PU No. 13/PRT/M/2011)

Kondisi jalan	Persentase batasan kerusakan (persen terhadap luas lapis perkerasan permukaan)	Program penanganan
Baik (B)	< 6 %	Pemeliharaan rutin
Sedang (S)	6- < 11 %	Pemeliharaan rutin/berkala
Rusak ringan (RR)	11- < 15 %	Pemeliharaan rehabilitasi
Rusak berat (RB)	>15%	Rekonstruksi/peningkatan struktur

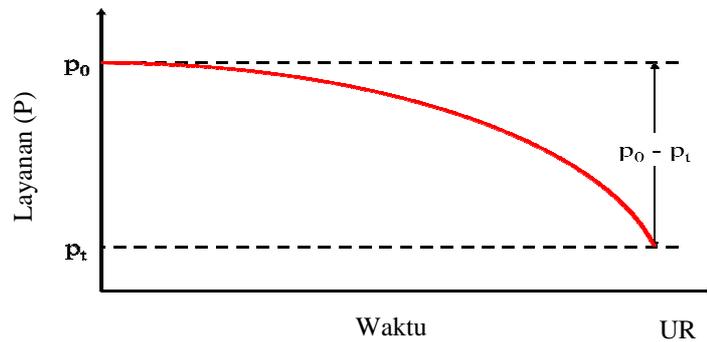
Tabel 2-13. Penentuan program penanganan pemeliharaan jalan tidak berpenutup aspal/beton semen (Permen PU No. 13/PRT/M/2011)

Kondisi jalan	Persentase batasan kerusakan (persen terhadap luas lapis permukaan)	Program penanganan
Baik (B)	< 11 %	Pemeliharaan rutin
Sedang (S)	11- < 16 %	Pemeliharaan rutin/berkala
Rusak ringan (RR)	16- < 23 %	Pemeliharaan rehabilitasi
Rusak berat (RB)	>23%	Rekonstruksi/peningkatan struktur

2.2.3 Kinerja Perkerasan Jalan

Kinerja fasilitas infrastruktur dapat dimaknai sejauh mana fasilitas mampu melayani pengguna dan mencapai tujuan fasilitas dibangun, yang diukur dengan akumulasi kualitas dan lamanya pelayanan yang diberikan kepada para penggunanya (Hudson *et al.*, 1987). Terdapat cara pandang yang sama dari beberapa teori dan peneliti yang beranggapan bahwa jalan setelah selesai dibangun dan dioperasikan atau digunakan akan mengalami penurunan kemampuan layan (*serviceability*) (AASHTO, 1993; Kimpraswil, 2002; Asphalt Institute Design Method; Hudson *et al.*, 1987; Santos dan Ferreira, 2012). Menurut Lavin (2003), kinerja perkerasan aspal biasanya dinyatakan dalam PSI (*pavement serviceability index*) yang dapat dijelaskan oleh kekasaran (*roughness*) dan kerusakan jalan (*distress*).

Pavement Interactive (2008) memberikan model penurunan layanan PSI sebagaimana dapat dilihat pada **Gambar 2-5**, di mana “ p_0 ” menggambarkan layanan terbaik setelah bangunan selesai dibangun dan “ p_t ” adalah layanan terminal yang diharapkan terjadi pada akhir masa layan rencana bangunan, sementara “ p_0-p_t ” adalah kehilangan layanan dari kondisi terbaik hingga kondisi terburuk atau terminal.



UR = umur rencana

Gambar 2-5. Typical Waktu vs PSI (AASHTO, 1993; *Pavement Interactive*, 2008)

Menurut *Pavement Interactive* (2008), di negara-negara yang memiliki beberapa musim seperti musim panas dan musim salju, faktor pengembangan (*swelling*) dan salju (*frost heave*) pada tanah menjadi komponen tambahan dalam menentukan indeks layanan atau PSI (*present serviceability index*) selain faktor beban (AASHTO, 1993) sebagaimana dapat dilihat pada **Gambar 2-6**. Secara numerik kehilangan layanan akibat beban (*loss due to traffics*) dan pembengkakan (*swell*) serta salju (*frost*) dapat dilihat pada Persamaan 2.3 (*Pavement Interactive*, 2008).

$$\Delta PSI = \Delta PSI_{\text{traffic}} + \Delta PSI_{(\text{swll}+\text{frost heave})} \quad (2.3)$$

di mana:

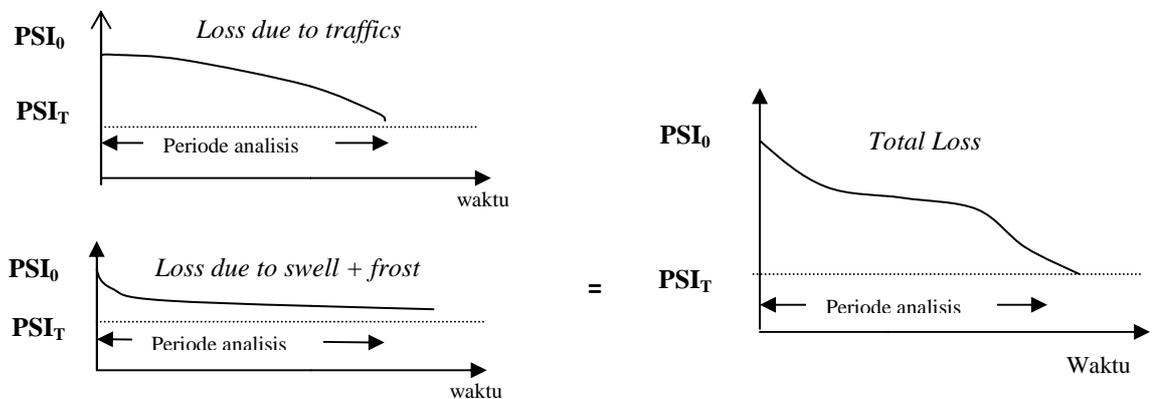
PSI_0 = layanan jalan yang baru

PSI_T = layanan jalan terminal

ΔPSI = *total loss of serviceability*

$\Delta PSI_{\text{traffic}}$ = *serviceability loss due to traffic (ESAL's)* dan

$\Delta PSI_{\text{swell/frost heave}}$ = *serviceability loss due to swelling and/or frost heave of roadbed soil*



Gambar 2-6. Kinerja Perkerasan Jalan (*Pavement Interactive*, 2008)

Selain itu, terdapat beberapa pendapat yang menyebutkan bahwa kemampuan layan dianggap sebagai kinerja perkerasan jalan yang terdiri dari kinerja fungsional dan struktural. Kinerja fungsional terkait dengan kemampuan permukaan perkerasan jalan memberikan rasa aman dan nyaman saat berkendara (*riding comfort*) dan kinerja struktural berkaitan dengan kemampuan struktur jalan memikul beban lalu lintas (Bryce *et al.*, 2013; Elseife *et al.*, 2013; Park *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2004; dan Garber dan Hoel, 2002).

Bennett *et al.* (2007) menyebutkan bahwa evaluasi perkerasan jalan ada 2 jenis, yaitu: evaluasi fungsional dan evaluasi struktural. Evaluasi perkerasan ini akan mencatat karakteristik-karakteristik yang mampu menggambarkan kinerja perkerasan melalui beberapa indeks.

1. Evaluasi fungsional, yaitu evaluasi berupa informasi tentang karakteristik perkerasan jalan yang secara langsung mempengaruhi keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan serta pelayanan jalan.
2. Evaluasi struktural, yaitu evaluasi berupa informasi tentang kinerja struktur perkerasan terhadap beban lalu lintas dan kondisi lingkungan. Dalam hal ini, survei katakteristik juga akan membantu dalam memperoleh informasi tentang kinerja struktur perkerasan, kerusakan perkerasan dan sifat mekanikal/ struktural jalan. Kerusakan perkerasan secara tidak langsung akan mempengaruhi masalah fungsional jalan seperti kegemukan pada jalan (*pavement bleeding*) akan mempengaruhi kekesatan permukaan jalan (*skid resistance*), dan retak pada sambungan jalan yang akan mempengaruhi ketidakrataan jalan (*road roughness*).

2.2.3.1 Kinerja Fungsional Perkerasan Jalan

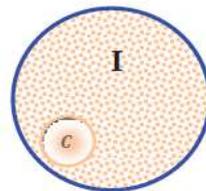
Menurut Bennett *et al.* (2007), kinerja fungsional jalan dapat diukur menggunakan variabel kekasaran jalan IRI. Indikator IRI juga digunakan dalam ISO 2631 untuk mengukur tingkat layanan permukaan jalan (Cantisasi dan Loprencipe, 2010). Berdasarkan standar pelayanan minimum (SPM) jalan, secara khusus terkait kondisi jalan dan kecepatan, disebutkan bahwa persyaratan aman dan nyaman saat berkendara pada kecepatan rencana menjadi indikator utama mengukur tingkat layanan (*serviceability*) suatu ruas jalan terhadap kepuasan pelanggan atau pengguna jalan (Permen PU No. 14/PRT/M/2010).

Kepuasan pengguna minimum dapat kaitkan dengan indikator utama SPM yang terdapat pada Pasal 5 butir (d), Permendagri No. 6 tahun 2007 tentang Petunjuk Teknis Penyusunan dan Penetapan SPM, yang menyebutkan bahwa “kepuasan konsumen menjadi salah satu indikator SPM”. Oleh karena itu, dengan memperhatikan Permen PU No. 14/PRT/M/20010 dan Permendagri No. 6/2007, maka dapat disimpulkan bahwa keamanan dan kenyamanan, serta kecepatan saat berkendara dapat digunakan mengukur tingkal layanan suatu ruas jalan.

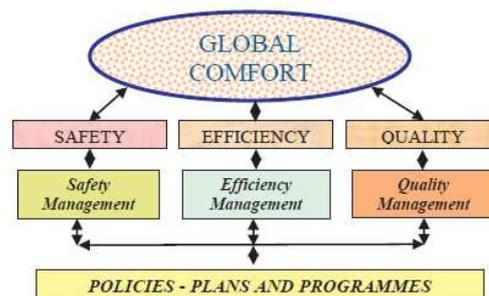
1) Metode Pengukuran Kinerja Fungsional Perkerasan Jalan

Bennett *et al.* (2007), Li (2004), Garber dan Hoel (2002), dan Sukirman (1992), mengatakan keamanan dan kenyamanan yang dirasakan si pengendara kendaraan dapat dipandang sebagai ukuran fungsional jalan. Pendapat lainnya mengatakan bahwa fungsi layan jalan dapat dijelaskan oleh tingkat kepuasan berkendara (*ride comfort*) (Yang *et al.*, 2009; Falou *et al.*, 2003; Uys *et al.*, 2007; Els, 2005; Corriere dan Vincenzo, 2012). Hal ini menunjukkan bahwa indikator fungsi layan adalah kepuasan, keamanan dan kenyamanan yang dapat diukur menggunakan intensitas getaran saat berkendara.

Corriere dan Vincenzo (2012) menyebutkan bahwa secara teori kepuasan dipandang menurut: keamanan, efisiensi, dan kualitas, yang dapat diformulasi secara kualitas sebagai sebuah “psiko-psikal (*psycho-physical*)”, yang mana orang dalam mengekspresikan kepuasannya berhubungan dengan tiga ukuran, yaitu: kendaraan, infrastruktur dan lingkungan sebagaimana terlihat pada **Gambar 2-7** dan **Gambar 2-8**.



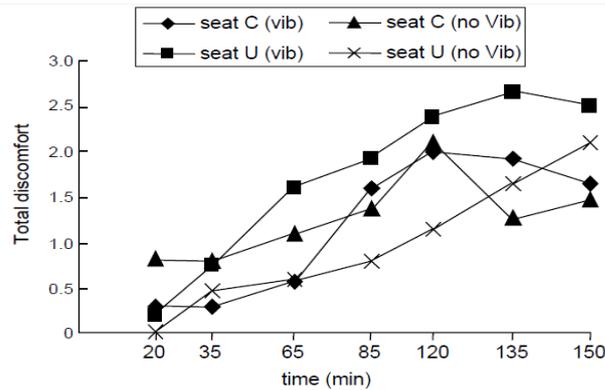
Gambar 2-7. Keadaan Tanpa *Discomfort* (I) dan Sub Bagian dari Konfigurasi *Comfort t* ($C \in I$) (Corriere dan Vincenzo, 2012)



Gambar 2.8. Karakteristik dari Kepuasan Global (Corriere dan Vincenzo, 2012)

Falou *et al.* (2003) mengatakan, rasa tidak menyenangkan berkendara terkait dengan: getaran (*vibration*), tekanan (*pressure*), kekusaran (*heat*), rasa nyeri pada perut (*cramp*), atau rasa perih (*tingling*). Untuk mengukur rasa tidak menyenangkan berkendara secara subjektif, Falou *et al.* (2003) memberi skala pada variabel penjelasnya antara 0-10, dengan 0 = *no discomfort* (menyenangkan); 2 = *noticeable discomfort* (rasa tidak menyenangkan nyata); 4 = *real pain* (rasa nyeri terjadi); 8 = *painfull* (menyakitkan); 10 = *unbearable* (tak tertahankan).

Percobaan dilakukan terhadap 11 orang selama 150 menit dan berulang 7 kali. Percobaan ke 1, 2, 3, 4, 5, 6, dan ke 7 dilakukan mengukur rasa menyenangkan berkendara secara subjektif pada 20 menit pertama, 35 menit, 65 menit, 85 menit, 120 menit, 135 menit, dan 150 menit sebagaimana pada **Gambar 2-9**.

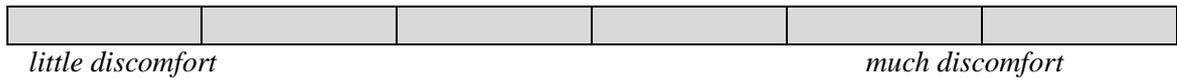


Gambar 2-9. Rating Subjektif Rasa tidak Menyenangkan pada Empat Kondisi Percobaan (Falou *et al.*, 2003)

Hasil yang diperoleh adalah rata-rata rasa tidak menyenangkan pada periode 1 (20 menit pertama) adalah $0,32 \pm 0,14$ dan pada periode 150 menit terakhir rasa tidak menyenangkan adalah $2,23 \pm 0,41$. Hal ini menggambarkan, bahwa pada 20 menit pertama perjalanan, rasa tidak menyenangkan mendekati nol (0) yang berarti perjalanan masih menyenangkan dan untuk 150 menit perjalanan rasa tidak menyenangkan berada pada angka 2,23 yang berarti rasa tidak menyenangkan sudah dapat dirasakan (*noticeable*).

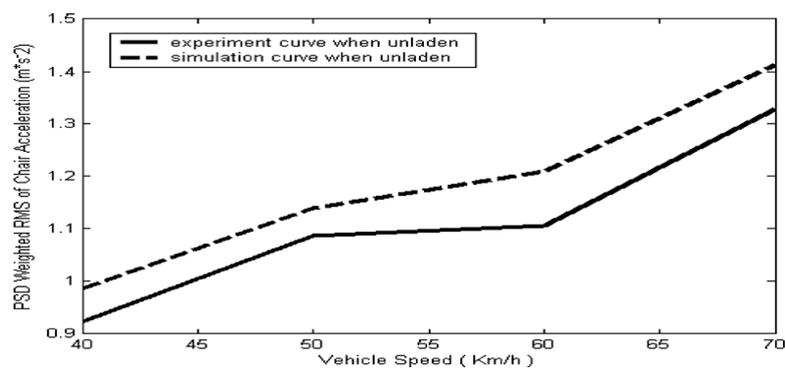
Pada bagian lain, Yang *et al.* (2009) menyebutkan bahwa rasa tenang berkendara (*ride comfort*) adalah salah satu faktor paling penting untuk mengevaluasi kinerja kendaraan mobil dan menjadi topik yang menarik perhatian para peneliti selama bertahun-tahun. Ada 2 metode yang digunakan untuk menginvestigasi rasa tenang berkendara, yaitu: 1) metode simulasi computer, dan 2) metode eksperimen jalan. Dikatakan bahwa metode eksperimen adalah pendekatan paling tepat sebab memberikan hasil yang berguna dan realistis. Meski demikian, metode tersebut biasanya sangat mahal dan terbatas dengan persyaratan keamanan. Selain itu, hasil eksperimen didasarkan pada: persyaratan percobaan kendaraan yang ditentukan, kecepatan kendaraan yang disyaratkan dan kondisi jalan yang ditentukan. Hasil eksperimen tidak dapat disamakan untuk suatu kondisi yang berbeda. Yang *et al.* (2009) mengukur *ride comfort* dengan menggunakan instrument intensitas atau besarnya getaran (*vibration*) saat berkendara dengan sebagaimana dapat dilihat pada **Gambar 2-10**, dengan ukuran skala sebagai berikut:

<i>Not uncomfortable</i>	= 0	= menyenangkan
<i>little uncomfortable</i>	= 1	= sedikit tidak menyenangkan
<i>fairly uncomfortable</i>	= 2	= rasa tidak menyenangkan sedang
<i>uncomfortable</i>	= 3	= tidak menyenangkan
<i>very uncomfortable</i>	= 4	= sangat tidak menyenangkan
<i>extremely uncomfortable</i>	= 5	= sangat amat tidak menyenangkan



Gambar 2-10. Skala Pengukuran Rasa Nyaman (Yang *et al.*, 2009)

Menurut Yang *et al.* (2009), getaran yang terjadi saat berkendara yang mengakibatkan gangguan atau rasa tidak enak tidaklah menjadi satu-satunya penjas *ride discomfort*. Dikatakan bahwa getaran pada mobil limusin dan mobil biasa tidak dapat disamakan. Hal ini dapat dijelaskan dengan menggunakan ilustrasi getaran pada mobil limusin dan mobil biasa, dengan menggunakan kondisi jalan yang dilewati dan kecepatan berkendara yang digunakan adalah sama. Hasil menunjukkan bahwa getaran pada mobil limusin 1 (pengaruh getaran kecil), sementara pada mobil biasa adalah 10 (pengaruh getaran besar). Hal ini terjadi disebabkan peredam (*suspension*) pada kedua mobil tersebut adalah berbeda. Namun demikian, untuk mengukur *ride discomfort*, variabel getaran menjadi salah satu pilihan walaupun bukan satu-satunya. Yang *et al.* (2009) menunjukkan bahwa getaran sangat dipengaruhi oleh kecepatan kendaraan. Hal ini dapat dilihat pada **Gambar 2-11**, di mana *acceleration* (m/s²) menunjukkan intensitas getaran (*vibration*) yang dirasakan pengendara kendaraan.



Gambar 2-11. Hubungan antara Kecepatan dan Getaran (Yang *et al.*, 2009)

Standar penilaian oleh Yang *et al.* (2009) dapat juga dibandingkan dengan penilaian berdasarkan ISO2631 sebagaimana ditunjukkan **Tabel 2-14**.

Tabel 2-14. Hubungan Penilaian *Objective* dan *Subjective* Menurut ISO2631 (Yang *et al.*,2009)

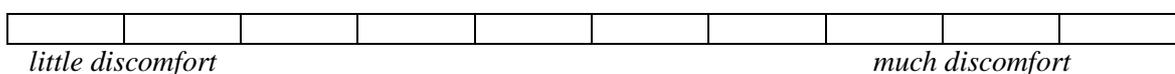
<i>Objective value</i> (ISO2631-m/s ²)	<i>Subjective comment</i>
<0,315	<i>Not uncomfortable</i>
0,315-0,63	<i>A little uncomfortable</i>
0,5-1,0	<i>Fairly uncomfortable</i>
0,8-1,6	<i>Uncomfortable</i>
1,25-2,5	<i>Very uncomfortable</i>
>2,0	<i>Extremely uncomfortable</i>

Pada bagian lain, Uys *et al.* (2007) mengatakan, salah satu petunjuk kepuasan berkendara (*ride comfort*) adalah *vertical acceleration*, di mana gambaran dan level penerimaannya diberikan pada standar ISO 2631-1, BS 6841 dan VDI 2057 sebagaimana dapat dilihat pada **Tabel 2-15**. Pendapat lain menyebutkan bahwa rasa nyaman berkendara adalah bagian dari ekspresi manusia akibat terjadinya getaran (*vibration*) saat berkendara.

Tabel 2-15. *Level of Acceptability of Ride Quality* (Uys *et al.*, 2007)

<i>Range ISO and BS weighted RMS of Vertical acceleration</i> (m/s ²)	<i>Acceptability</i>
<0,15	<i>Not uncomfortable</i>
0,315-0,63	<i>A little uncomfortable</i>
0,5-1,0	<i>Fairly uncomfortable</i>
0,8-1,6	<i>Uncomfortable</i>
1,25-2,5	<i>Very uncomfortable</i>
>2,0	<i>Extremely uncomfortable</i>

Sedangkan Els (2005) menyebutkan bahwa “*ride comfort = human response to vibration.*” Menurut Els (2005), ada empat metode untuk mengevaluasi secara objektif rasa nyaman berkendara, yaitu: AAP, ISO 2631 (1997), BS 6841 dan VDI 2057. ISO 2631 digunakan secara umum di Eropa dan British Standard BS 6841 digunakan di Inggris. Sementara, German dan Austria menggunakan *Verein Deutscher Ingenieure* atau *Society of German Engineers* VDI 2057, dan *Average Absorbed Power* (AAP) digunakan oleh Amerika Serikat dan NATO. Selain ukuran objektif terhadap rasa nyaman berkendara, Els (2005) juga menguraikan cara mengukur secara subjektif. Dalam mengukur secara subjektif rasa nyaman berkendara, Els (2005) menggunakan instrument pertanyaan terhadap sejumlah orang, di mana rasa nyaman dikelompokkan ke dalam skala sebagai sebagaimana pada **Gambar 2-12**.



Gambar 2-12. Skala Pengukuran Rasa Nyaman (Els, 2005)

Els (2005) juga memperlihatkan hubungan antara nilai subjektif dan objektif terhadap rasa aman dan nyaman berkendara sebagaimana diperlihatkan **Tabel 2-16**.

Tabel 2-16. Penilaian ISO2631 dan BS6841 dengan Pendapat Subjektif (Els, 2005)

<i>Subjective comment</i>	<i>Objective value (ISO2631 and BS6841 weighted overall vibration) (m/s²)</i>	<i>Subjective value obtained from present studi (%)</i>
<i>Not uncomfortable</i>	<0.,15	2-16
<i>A little uncomfortable</i>	0,315-0,63	3-32
<i>Fairly uncomfortable</i>	0,5-1,0	10-30
<i>Uncomfortable</i>	0,8-1,6	18-50
<i>Very uncomfortable</i>	1,25-2,5	30-70
<i>Extremly uncomfortable</i>	>2,0	48-75

Dari uraian tersebut di atas dapat dirangkumkan bahwa indikator layanan fungsional perkerasan jalan dapat diukur dari:

- a) Kepuasan pengendara.
- b) Intensitas getaran saat berkendara.
- c) Keamanan dan kenyamanan.
- d) Kecepatan saat berkendara.

Namun demikian, menurut Bennett *et al.* (2007) dan Sukirman (1992), layanan fungsional jalan dapat digambarkan oleh tingkat kerusakan permukaan jalan, seperti retak, lobang, alur roda kendaraan, dan kerusakan lainnya. Terdapat beberapa metode pengukuran terkait kondisi permukaan perkerasan jalan, di antaranya:

- a) Layanan perkerasan jalan atau *present serviceability index* (PSI) (Hudson *et al.*, 1987).
- b) Indeks kondisi perkerasan jalan atau *pavement condition index* (PCI) (US Army, 1982, 2001; Park *et al.*, 2007; Jimenez dan Mrawira, 2009).

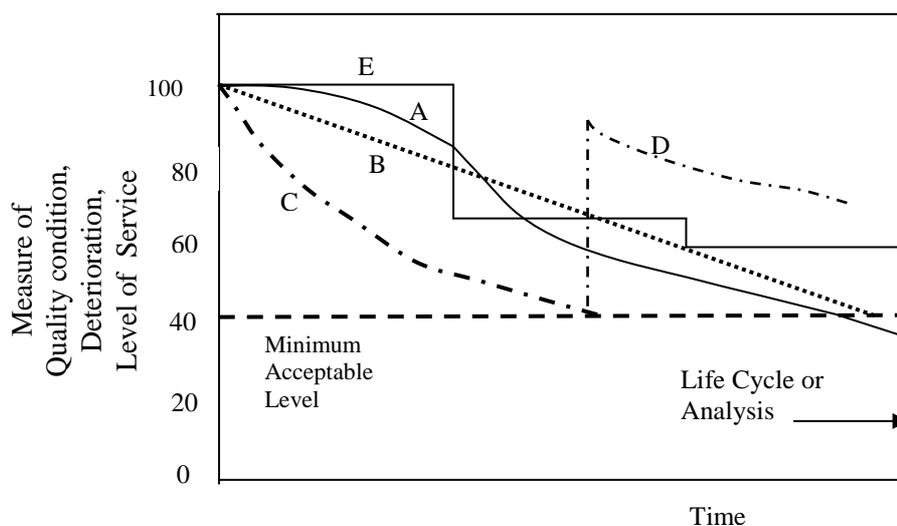
2) Kemampuan Layan Perkerasan Jalan/*Present Serviceability Index* (PSI)

Hudson *et al.* (1987) memberikan ilustrasi secara konseptual terhadap beberapa bentuk kurva kinerja sebagaimana dapat dilihat pada **Gambar 2-13**. Area di bawah masing-masing kurva pada **Gambar 2-13** merupakan akumulasi pelayanan atau kinerja. Menggunakan grafis pada **Gambar 2-13**, Hudson *et al.* (1987) mengidentifikasi secara konseptual kinerja infrastruktur bangunan sebagai berikut:

- a) Kondisi awal, tingkat layanan, dan kualitas yang dekat puncak skala (yaitu, 100), sama dengan fasilitas yang baru dibangun setelah melakukan pengujian dan pengawasan. Tingkat penerimaan minimal juga harus ditetapkan. Penerimaan minimal dinyatakan dengan angka

40, tapi tentu saja akan berbeda dengan banyak faktor, seperti kelas fasilitas, kebijakan lembaga, keamanan, dan ekonomi.

- b) Ada suatu kondisi yang memburuk seiring dengan waktu. Ini bisa mencerminkan tidak hanya dalam kondisi kerusakan fisik, tetapi juga tingkat layanan, fungsi, kualitas, kapasitas struktural, dan/atau keselamatan.
- c) Fasilitas ini mungkin atau mungkin tidak mencapai tingkat minimum yang dapat diterima sebelum akhir siklus hidup atau periode analisis. Hal ini dapat terjadi karena kemerosotan terus, keusangan fungsional, alasan keamanan, atau peristiwa bencana seperti kebakaran, banjir, gempa, atau bencana lainnya.
- d) Kemiringan dan bentuk riwayat penurunan kondisi menentukan kinerja. Sebuah kinerja fasilitas yang baik harus menyediakan tingkat layanan yang tinggi dan harus tetap dalam kondisi relatif baik dan dapat diterima hampir sepanjang umur pemakaian, seperti ditunjukkan oleh kurva A (bentuk lengkung), kurva B (bentuk linier), atau kurva E (bentuk trap/tangga). Kurva C menunjukkan kinerja fasilitas lebih buruk karena tingkat kemerosotan relatif lebih tinggi pada tahun-tahun awal.
- e) Dalam evaluasi layanan dan tinjauan terhadap trend kinerja dapat mengakibatkan kebijakan intervensi yang efektif untuk pemeliharaan, rehabilitasi dan renovasi, dan penggantian atau rekonstruksi yang didasarkan pada tingkat kerusakan terpilih. Sebuah restorasi utama dan intervensi rehabilitasi dapat memperpanjang umur pelayanan fasilitas, seperti kurva D yang dilakukan terhadap kurva C.



Gambar 2-13. Ilustrasi Konseptual Beberapa Bentuk Kurva Kinerja (Hudson *et al.*, 1987)

Terkait dengan kondisi infrastruktur jalan, terdapat beberapa pendekatan penilaian, di antaranya: 1) penilaian menggunakan *present serviceability index* (PSI) (Hudson *et al.*, 1987); 2) penilaian dengan menggunakan *pavement condition index* (PCI) (AASHTO, 1993; US Army, 1982,2001; Park *et al.*, 2007; Jimenez dan Mrawira, 2009; Koduru *et al.*, 2010; Hong dan Prozzi, 2010; Sun dan Gu, 2011; Suswandi *et al.*, 2008). AASHTO 1993 memperkenalkan indeks permukaan (IP) atau *present serviceability index* (PSI) berdasarkan pengamatan kondisi jalan meliputi kerusakan-kerusakan seperti retak-retak, alur, lubang, lendutan pada lajur roda, ketidakrataan permukaan dan sebagainya yang terjadi selama umur pelayanan. AASHTO *Road Test* selanjutnya memberikan persamaan PSI yang merupakan fungsi kerusakan perkerasan jalan antara lain: ketidakrataan, retak, alur, dan tambalan yang dinyatakan dalam Persamaan 2.4 (Hudson *et al.*, 1987).

$$PSI = 5,03 - 1,09 \log (1 + SV) - 0,01\sqrt{(C + P)} - 1,38 (RD)^2 \quad (2.4)$$

di mana:

PSI = *Present serviceability index*.

SV = *Slope variance* (derajat kemiringan) = 106 x populasi dari variasi kemiringan pada interval 1 ft.

C = *Cracking* (retak).

P = *Patching* (tambalan).

RD = *Rut dept* (kedalaman alur).

IRI = *international roughness index* (m/km).

Selanjutnya, Hall dan Munoz (1999) membuat suatu model persamaan PSI dalam bentuk polynomial X sebagaimana dapat dilihat pada Persamaan 2.5 s/d Persamaan 2.7.

$$PSI = 5 - 0.2937X^4 + 1.1771X^3 - 1.4045X^2 - 1.5803X \quad (2.5)$$

$$X = \text{Log} (1 + SV) \quad (2.6)$$

$$SV = 2.2704 \text{IRI}^2 \quad (2.7)$$

Selain memberikan pendekatan numerik penentuan PSI, Hudson *et al.* (1987) juga memberikan ilustrasi hubungan antara PSI dan kondisi permukaan jalan atau *pavement condition index* (PCI) sebagaimana pada **Gambar 2-14**.

3) Kondisi Permukaan Perkerasan Jalan/*Pavement Condition Index* (PCI)

Park *et al.* (2007) dalam penelitiannya memberikan suatu hubungan antara kekasaran permukaan jalan IRI dan PCI sebagaimana pada Persamaan 2.8 dan Persamaan 2.9. Dengan menggunakan batasan PCI maksimum = 100 dan IRI minimum 0,727, diperoleh K_1 dan K_2

masing-masing 100 dan -0,436 dengan $R^2 = 59\%$. Hal ini menunjukkan bahwa hanya 59% PCI dapat dijelaskan variabel IRI dan 41% tidak dihitung IRI pada PCI. Park *et al.* (2007) menyarankan, untuk meningkatkan determinasi PCI maka dibutuhkan indikator lain yang lebih luas.

$$PCI = K_1 IRI^{K_2} \quad \text{atau} \quad (2.8)$$

$$\text{Log PCI} = \text{Log } K_1 + K_2 \text{ Log IRI} \quad (2.9)$$

<i>Higher User Attitude Toward Pavement Functionality</i>		PCI	PSI			
<i>INCREASINGLY FAVOURABLE</i>	↑	100	5	Excellent	Satisfaction	<i>Satisfactory condition and Vehicle operating cost</i>
		80	4	Good		
		60	3	Fair		
<i>NEUTRAL</i>					Candidat	<i>User cost sharply Rising Complaints starting about condition</i>
	40	2	Poor			
<i>INCREASINGLY UNFAVOURABLE</i>	↓		1	Very Poor	Essential	<i>User cost excessive, frequent complaint</i>
		20				<i>Extreme discomfort Traffic slowdowns Extremely high user costs</i>
		0	0			

Gambar 2-14. Deskripsi PCI dan PSI pada Penilaian Perkerasan Jalan (Hudson *et al.*, 1987)

Park *et al.* (2007), juga membuat suatu pengelompokan kondisi jalan berdasarkan PCI dan IRI sebagaimana terlihat pada **Tabel 2-17**.

Tabel 2-17. Kualitas Perkerasan dalam Bentuk PCI dan IRI (Park *et al.*, 2007)

PCI	<i>Pavement Quality</i>	IRI
100	<i>Excellent</i>	0,727
85	<i>Very good</i>	1,055
70	<i>Good</i>	1,650
55	<i>Fair</i>	2,870
40	<i>Poor</i>	5,947
25	<i>Very poor</i>	17,500
10	<i>Failed</i>	>20
0		N/A (<i>not applicable</i>)

Pada bagian lain, Jimenez dan Mrawira (2009) menyajikan formula penentuan kondisi perkerasan jalan PCI sebagaimana pada Persamaan 2.10.

$$PCI = \alpha_1 (SAI) + \alpha_2 (PRI) \quad (2.10)$$

di mana:

SAI = *structure adequacy index*, diperoleh dari data FWD

PRI = *pavement roughness index*, diperoleh dari data IRI

α_1 dan α_2 merupakan faktor bobot (dipilih α_1 dan α_2 berturut-turut 0,6 dan 0,4), yang mana PRI_j ditentukan menggunakan Persamaan 2.11.

$$PRI_j = 100 \left[\frac{IRI_{maks} - IRI_j}{IRI_{maks} - IRI_{min}} \right] \quad (2.11)$$

di mana PRI_j = IRI pada segmen-j; IRI_j = nilai IRI hasil pengukuran pada segmen-j; IRI maksimum dan minimum = data IRI maksimum dan minimum yang terekam pada beberapa periode (tahun). Jimenez dan Mrawira (2009) dalam penelitiannya di Costa Rica menunjukkan bagaimana perubahan kondisi perkerasan (jalan) tanpa suatu perlakuan (tindakan pemeliharaan) dengan menggunakan data IRI pada tahun 2004 dan 2006 sebagaimana terlihat pada **Tabel 2-18**.

Selain itu, Jimenez dan Mrawira (2009) juga merekomendasikan beberapa jenis tindakan penanganan perkerasan jalan, besar biaya dan umur jalan untuk diperlakukan (diperbaiki) sebagaimana dapat dilihat pada **Tabel 2-19**.

Tabel 2-18. Perubahan Nilai Kondisi Perkerasan tanpa Perlakuan/Pemeliharaan (Jimenez dan Mrawira, 2009)

Group	ESAL (thousand)	Traffic class	PCI class	Condition class	Mean PCI 2004	Mean PCI 2006
1	>308	High	70-100	Good	77,9	74,5
2	>308	High	50-70	Fair	66,2	58,6
3	>308	High	30-50	Poor	53,0	41,5
4	>308	High	0-30	Very poor	40,6	27,0
5	131-308	Medium	70-100	Good	76,2	73,5
6	131-308	Medium	50-70	Fair	62,8	57,9
7	131-308	Medium	30-50	Poor	49,6	41,1
8	131-308	Medium	0-30	Very poor	35,6	25,1
9	<131	Low	70-100	Good	76,6	73,0
10	<131	Low	50-70	Fair	63,1	57,1
11	<131	Low	30-50	Poor	48,5	40,4
12	<131	Low	0-30	Very poor	37,5	24,9

ESAL = *equivalent single axle load* (dalam ribuan)

Tabel 2-19. Tipe Tindakan, Biaya dan Umur Jalan Saat Penanganan pada Kelas Jalan yang Berbeda (Jimenez dan Mrawira, 2009)

Traffic intensity	Treatment type	PCI		Treatment service life (years)	Treatment Costs (US\$/km/line)
		Start	End		
High	Preservation	75	85	4	20.000
	Minor maintenance	60	80	8	56.000
	Mayor Maintenanc	40	70	10	150.000
	Reconstruction	0	45	15	300.000
Medium	Preservation	70	85	4	20.000
	Minor maintenance	60	80	8	56.000
	Mayor Maintenanc	35	70	10	150.000
	Reconstruction	0	40	15	300.000
Low	Preservation	65	85	4	20.000
	Minor maintenance	55	80	8	56.000
	Mayor Maintenanc	30	70	10	150.000
	Reconstruction	0	35	15	300.000

Pada beberapa literatur lainnya, PCI ditentukan menggunakan acuan TM 5-623 (US Army, 1982); AASHTO, 1993; UFC 3-270-06 (US Army, 2001); ASTM STP 1486 (2007); Suswandi *et al.* (2008); Gharaibeh *et al.* (2010), dengan prosedur sebagai berikut:

1. Menentukan jumlah segmen ruas jalan (n). Jumlah N ditentukan berdasarkan total luasan jalan dan luas per segmen. Biasanya, satu segmen penilaian berkisar $2500 \text{ ft}^2 \pm 100 \text{ ft}^2$ ($275 \text{ m}^2 \pm 10 \text{ m}^2$). Sementara menurut Hudson *et al.* (1987), untuk kepentingan penelitian pada jalan beraspal, segmen jalan harus dibagi antara 20-200 meter dengan 5 unit per segmen (**Tabel 2-20**). Sementara pada Pt-T-01-2002-B (Kimpraswil, 2002), penilaian jalan dilakukan per 100 meter panjang.

Tabel 2-20. Rekomendasi Jumlah Sampel dan Metode Evaluasi *Non-Destructive* Perkerasana Jalan (Hudson *et al.*, 1987)

Kegunaan	Besar sampel	Level kualitas informasi (information quality level, IQL)	Metode evaluasi
Merencanakan ruas jalan	1-5% panjang ruas jalan (stratified random sampling)	IV atau III	FWD Catatan konstruksi DCP Survey visual
Memogram ruas jalan	Interval 0.3-1.0 km (min. 5 titik per section)	III atau II	FWD
Desain proyek	Interval 20-200 m (min. 5 points per section)	jalan pendukung III atau II jalan utama II atau I	FWD DCP + SN (pengujian sampel di lapangan + pengujian material)
Penelitian dan investigasi khusus	Interval 3-20 m	II atau I	Lendutan dengan NDT + pengujian sampel lapangan + pengujian material)

FWD = falling weight deflectometer; *DCP* = dynamic cone penetrometer, *SN* = structural number; *NDT* = non-destructive test; I-IV = level kualitas informasi

2. Menentukan jumlah minimum segmen jalan (n) yang diukur. Menurut TM 5-623 (US Army, 1982), nilai “n” ditentukan berdasarkan perbedaan antara nilai PCI tertinggi dan terendah pada kategori buruk dan sangat baik (**Gambar 2-15**). Jika terdapat nilai PCI kategori sangat buruk dan sangat baik sekali, maka dilakukan penilaian khusus. Selain itu, Hudson *et al.* (1987) juga merekomendasikan pemilihan atau penentuan sampel sebagaimana pada **Tabel 2-20**.
3. Menentukan kerapatan (*density*) dan keparahan kerusakan segmen/unit.
4. Menentukan *deduct value* (DV) tiap segmen/unit.
5. Menentukan *total deduct value* tiap segmen/unit.
6. Menentukan *corrected deduct value* (CDV) tiap segmen/unit.
7. Menentukan indeks kondisi segmen/unit (PCI_s) dengan menggunakan Persamaan 2.12.

$$PCIs = 100 - CDV \quad (2.12)$$

8. Selanjutnya PCI ruas jalan ditentukan menggunakan Persamaan 2.13.

$$PCI = \frac{\sum PCIs}{n} \quad (2.13)$$

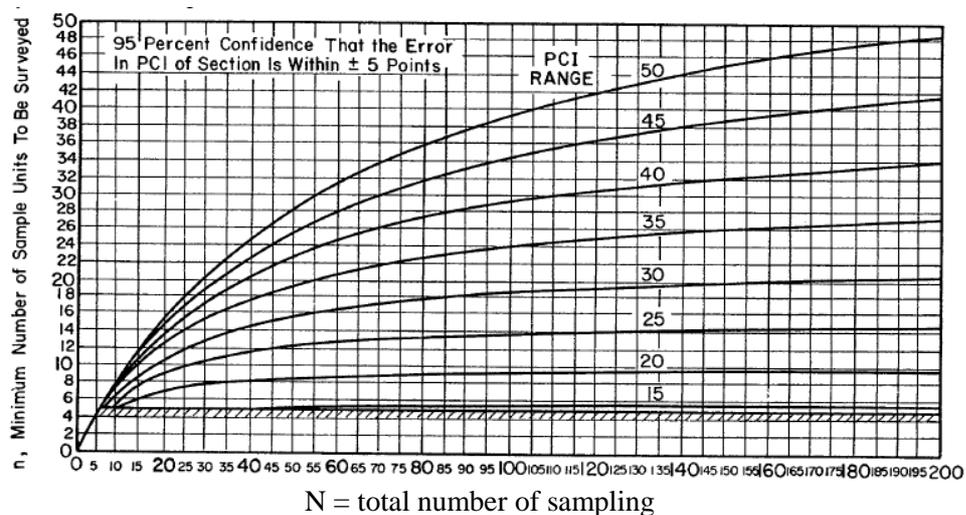
Kerapatan (*Density*)

Pada TM 5-623 (US Army, 1982), ada tiga cara menentukan kerapatan (*density*) kerusakan permukaan jalan, yaitu:

1. $density = \frac{\text{luas daerah rusak}}{\text{luas total unit}} \times 100\%$ (2.14)

2. $density = \frac{\text{jumlah lobang}}{\text{luas total unit}} \times 100\%$ (2.15)

3. $density = \frac{\text{panjang kerusakan}}{\text{luas total unit}} \times 100\%$ (2.16)



Gambar 2-15. Penentuan Jumlah Minimum Unit Sampel untuk Survey (US Army, 1982)

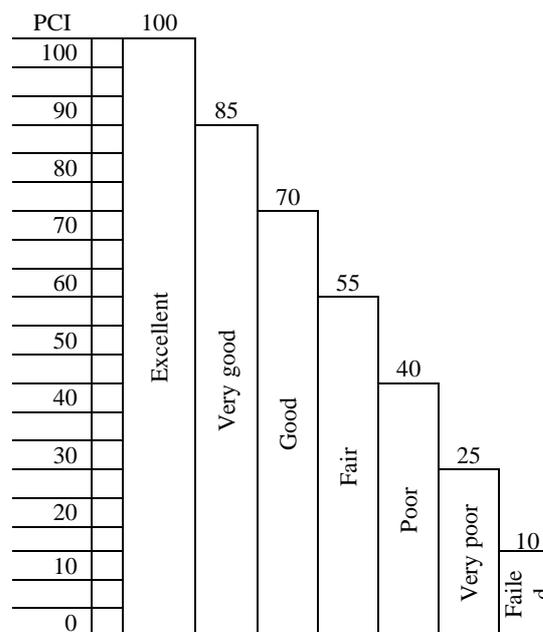
Penggunaan Persamaan 2.14, Persamaan 2.15, dan Persamaan 2.16 dapat dijelaskan sebagai berikut:

- 1) Jenis kerusakan yang diukur menggunakan Persamaan 2.14 adalah:
 - a) Retak kulit buaya (*alligator cracking*).
 - b) Retak blok (*block cracking*).
 - c) Amblas (*depression*).
 - d) Alur (*rutting*).
 - e) Tambalan (*patching*).
- 2) Jenis kerusakan yang diukur menggunakan Persamaan 2.15 adalah lubang pada perkerasan jalan.
- 3) Jenis kerusakan yang diukur menggunakan Persamaan 2.16 adalah retak memanjang dan retak melintang (*transv. and long.cracking*).

Tingkat Keparahan (*Severity*)

Tingkat keparahan (*severity*) kerusakan jalan secara umum ada 3 level, yaitu: 1) *low* (rendah), 2) *medium* (sedang), dan 3) *hight* (tinggi). Masing-masing tingkat keparahan kerusakan memiliki kriteria, di antaranya:

- 1) Kerapatan, lebar dan kedalaman retak sesuai pengamatan.
- 2) Diameter dan kedalaman lobang.
- 3) Kedalaman alur.



Gambar 2-16. Skala pada Pengelompokan PCI (Koduru *et al.*, 2010)

Menurut Shawn dan Khon (1985) cite Koduru *et al.* (2010), PCI dapat digolongkan sebagaimana pada **Gambar 2-16**. Pada bagian lain, Sun dan Gu (2011) membuat peringkat kondisi perkerasan jalan dengan menggunakan indikator: *roughness, deflection index, deterioration ratio, rut depth* dan *friction coefficient*. Pendekatan penilaian yang digunakan adalah *fuzzy logic* dan AHP (*analytical hierarchy process*) sebagaimana dapat dilihat pada **Tabel 2-21**

Tabel 2-21. Hasil Peringkat Delapan Jalan yang Dievaluasi Menggunakan Metode Fuzzy (Sun dan Gu, 2011)

Ruas jalan	Himpunan Keanggotaan Fuzzy	Setelah dilakukan MGP	Setelah DWCI	Rangking dgn DWCI	Rangking dengan MGP dan DWCI
A	[0.30, 0.11, 0.41, 0.10, 0.08]	Fair	0.22993	7	7
B	[0.27, 0.29, 0.24, 0.16, 0.04]	Good	0.23930	4	5
C	[0.36, 0.23, 0.18, 0.14, 0.09]	Very good	0.24194	3	3
D	[0.50, 0.24, 0.19, 0.07, 0.00]	Very good	0.27789	1	1
E	[0.37, 0.35, 0.15, 0.10, 0.03]	Very good	0.26197	2	2
F	[0.32, 0.30, 0.11, 0.17, 0.10]	Very good	0.23797	5	4
G	[0.18, 0.39, 0.20, 0.17, 0.06]	Good	0.23070	6	6
H	[0.14, 0.16, 0.20, 0.26, 0.24]	Poor	0.18000	8	8

MGP= *maximum grade principle*; DWCI= *defuzzification weight condition index*

Cantisani dan Laprencia (2010) mengatakan bahwa salah satu bagian penting dalam mencapai kualitas jalan adalah mengontrol getaran kendaraan berhubungan dengan kekasaran perkerasan jalan. Ketidakrataan perkerasan menyebabkan kendaraan bergetar signifikan dan biasanya berkaitan dengan peningkatan kerusakan kendaraan dan struktur jalan. Adalah fakta, bahwa kekasaran permukaan jalan menghasilkan beban dinamis pada pergerakan kendaraan dan menyebabkan ketegangan pada struktur jalan dan hal tidak menyenangkan (*discomfort*) pada pengguna. Hal menyenangkan sulit dinilai secara objektif sebab membutuhkan pertimbangan persepsi pengguna pada efek getaran, khususnya getaran yang terjadi pada kendaraan. Indikator yang bermanfaat untuk mengevaluasi secara objektif kekasaran jalan dan kualitas berkendara dapat diperoleh dengan sebuah persamaan penyelesaian yang menggambarkan sistem mekanikal dengan mengendarai sebuah kendaraan. **Tabel 2-22** menunjukkan batasan-batasan IRI yang diusulkan pada kecepatan tertentu dengan masing-masing kondisi (*very good, fair, mariore dan poor*), sedangkan batas IRI pada kecepatan yang berbeda dapat dilihat pada **Tabel 2-23**.

Sementara itu, menurut Peterson (1986) dan Omari dan Darter (1992) cite Aquiar-Moya *et al.* (2011), hubungan antara IRI dan RCI ditunjukkan oleh Persamaan 2.17 dan Persamaan 2.18.

$$RCI = 10 \text{Exp}^{(-0,18 \times IRI)} \quad (\text{Peterson, 1986}), \text{ atau} \quad (2.17)$$

$$RCI = 10 \text{Exp}^{(-0,26 \times IRI)} \quad (\text{Omari and Darter, 1992}) \quad (2.18)$$

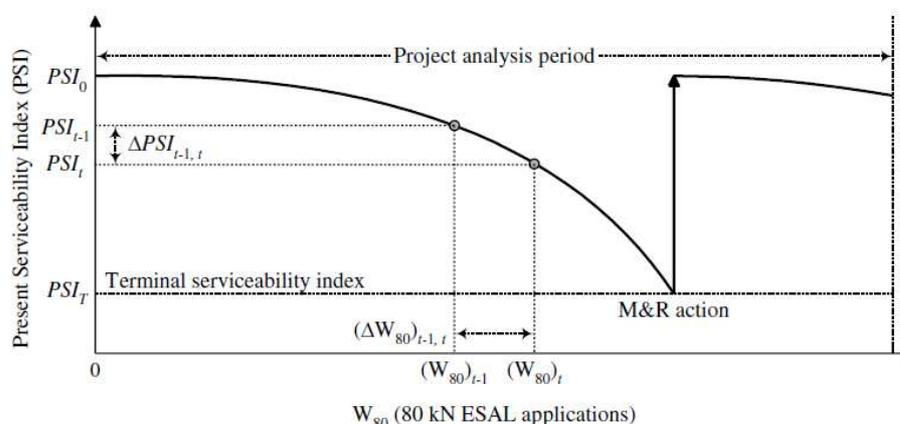
Tabel 2-22. Batas IRI yang Diusulkan Pada Beberapa Kecepatan (Cantisani dan Laprencipe, 2010)

Kualitas berkendara berdasarkan IRI	Kecepatan	Very good	Good/fair	Meriore	Poor
Batasan IRI pada kec. 80 km/jam (Yu dkk., 2006)		<1.43	1.43-2.84	2.85-4.05	>5.05
Batas IRI yang diusulkan pada kec.	90 km/j	<1.15	1.15-2.31	2.31-3.30	>3.30
	80 km/j	<1.42	1.42-2.84	2.84-4.06	>4.06
	70 km/j	<1.60	1.60-3.20	3.20-4.58	>4.58
	60 km/j	<1.87	1.87-3.73	3.73-5.33	>5.33
	50 km/j	<2.98	2.98-5.95	5.95-8.51	>8.51
	40 km/j	<3.41	3.41-6.83	6.83-9.75	>9.75
	30 km/j	<4.17	4.17-8.34	8.34-11.92	>11.92
ISO 2631: tingkatan menyenangkan		Menyenangkan	Sedikit tidak menyenangkan	Tidak menyenangkan sedang	sangat dan amat sangat tidak menyenangkan (<i>Very and extremely uncomfot</i>)

Tabel 2-23. Batas IRI untuk Kualitas Berkendara pada Kecepatan yang Berbeda (Cantisani dan Laprencipe, 2010)

Kualitas berkendara	Batas IRI pada Kecepatan berbeda (Km/jam)				
	120	100	80	70	60
Sangat Baik	<0.95	<1.14	<1.43	<1.63	<1.90
Baik	0.95-1.49	1.14-1.79	1.43-2.24	1.63-2.57	1.90-2.99
Cukup	1.50-1.89	1.80-2.27	2.25-2.84	2.58-3.25	3.00-3.79
Sedang saja	1.90-2.70	2.28-3.24	2.85-4.05	3.26-4.63	3.80-5.40
Buruk	>2.70	>3.24	>4.05	>4.63	>5.40

Pada bagian lain, Santos dan Ferreira (2012) mengatakan bahwa kurva kinerja perkerasan jalan PSI sangat dipengaruhi oleh beban lalu lintas sebagaimana dapat dilihat pada **Gambar 2-17**. Santos dan Ferreira (2012) memperkirakan nilai layanan saat pengukuran waktu “t” dengan menggunakan Persamaan 2.19.



Gambar 2-17. Kurva Kinerja Perkerasan Jalan Menurut AASHTO 1993 (Santos dan Ferreira, 2012)

$$PSI_t = PSI_0 - (4,5 - 1,5) \times A \quad (2.19)$$

di mana:

$$A = 10^{[(\log_{10}(W_{80t}) - ZR \times S_0 - 9,36 \times \log_{10}(SN_t + 1) + 0,2 - 2,32 \log_{10}(MR) + 8,07) \times (0,4 + 1094 / (SN + 1)^{5,19})]} \quad (2.19a)$$

PSI_t = layanan pada waktu “t” tahun

PSI_0 = layanan jalan baru

A = adalah faktor kondisi jalan, lingkungan, beban, dan tanah dasar.

2.2.3.2 Kinerja Struktur Perkerasan Jalan

Kinerja struktur perkerasan jalan dapat diukur dari kemampuan perkerasan jalan untuk memikul beban kendaraan menggunakan indikator kekuatan struktur atau *structural number* (SN) (Bryce *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2004; Garber dan Hoel, 2002) atau ITP (indeks tebal perkerasan) (Pt-T-01-2002-B *cite.* Kimpraswil, 2002). Li (2004) menyebutkan bahwa kapasitas struktur perkerasan didefinisikan dalam bentuk penurunan tegangan dan regangan pada perkerasan atau dinyatakan dalam bentuk *structural number* (SN). Menurut Li (2004), evaluasi kapasitas struktur perkerasan eksisting disyaratkan untuk menentukan strategi dan desain pemeliharaan dan rehabilitasi perkerasan jalan.

1) Kekuatan Efektif (SN_{ef}) Perkerasan Jalan

Terdapat beberapa formula dalam menentukan SN_{ef} . Menurut Bryce *et al.* (2013), kekuatan efektif perkerasan jalan (SN_{ef}) merupakan fungsi dari lendutan dan tebal perkerasan jalan yang ditentukan dengan Persamaan 2.20, di mana $k_1 = 0,4728$; $k_2 = -0,4810$; $k_3 = 0,7581$; H_p = *depth of pavement*; dan $SIP = peak deflection normalized to a 40-kN (9000-lb) load minus the deflection at 1,5 times the pavement depth normalized to a 40-kN (9000-lb) = D_0 - D_{1,5H_p}$.

$$SN_{ef} = k_1 \times FWD^{k_2} \times H_p^{k_3} \quad (2.20)$$

Sementara menurut Santos dan Ferreira (2012), kekuatan struktur jalan SN dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.21, dan beban pada saat “t” tahun dapat dihitung dengan Persamaan 2.22.

$$SN = \sum_{n=1}^N H_n \times C_n^e \times C_n^d \quad (2.21)$$

$$W_{80t} = 365 \times AADTh \times \frac{(1+gh)^{Yt} - 1}{gh} \times \alpha \quad (2.22)$$

Pada bagian lain, MassHighway (2006) menyebutkan bahwa SN_{ef} perkerasan jalan adalah merupakan akumulasi dari kekuatan efektif seluruh lapisan perkerasan jalan yang dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.23, di mana SN_{ef} = kekuatan efektif perkerasan jalan; $SN_{ef(i)}$ =

kekuatan efektif lapis perkerasan ke-i; a_{efi} = koefisien kekuatan relatif efektif lapis perkerasan ke-i; D_i = ketebalan lapis perkerasan ke-i ($i = 1,2,..n$).

$$SN_{ef} = \sum_{i=1}^n SN_{ef(i)} = \sum_{i=1}^n (a_{efi} \times D_i) \quad (2.23)$$

a) Reduksi Koefisien Kekuatan Relatif “a”

Pada penjelasan MassHighway (2006) disebutkan bahwa koefisien kekuatan relatif efektif (a_{ef}) ditentukan berdasarkan a_{desain} dan tingkat kerusakan perkerasan. Untuk menentukan a_{ef} dapat digunakan Persamaan 2.24, di mana a_{desain} = koefisien kekuatan relatif desain lapis perkerasan jalan (**Tabel 2-24**) dan FR = faktor reduksi (**Tabel 2-25**).

$$a_{ef} = a_{desain} \times FR \quad (2.24)$$

Tabel 2-24. Koefisien Kekuatan Relatif Lapisan Perkerasan Eksisting (MassHighway, 2006)

Komponen perkerasan	Koefisien lapisan (per inch)
Lapis permukaan (surface course):	
Hot Mix Asphalt (HMA)	0,44
Sand Asphalt	0,40
Base Course:	
HMA	0,34
Asphalt treated Penetrated Stone	0,24
Crushed stone/macadam	0,14
Sandy gravel	0,07
Sub-base:	
Crushed stone (dense graded)	
Crushed stone (dense graded)	0,14
Gravel	0,11
Sand/sandy clay	0,05 – 0,10

Tabel 2-25. Faktor Reduksi (FR) (MassHighway, 2006)

Kondisi perkerasan eksisting	Faktor reduksi (FR)
1. <i>HMA surface exhibits appreciable cracking and crack patterns, little or no spalling along the crack, some wheel path deformation, and is essentially stable</i> (Permukaan HMA menunjukkan retakan yang nyata dan pola retak tidak melihat celah retak ada atau tidak, sejumlah deformasi pada jalur roda kendaraan, dan pada dasarnya stabil/kokoh)	0,5-0,7
2. <i>HMA surface exhibits some fine cracking, small intermittent cracking patterns, and slight deformation in the wheel path, and obviously stable.</i> (Permukaan HMA menunjukkan sejumlah retak halus, pola retak kecil dan jarang, dan deformasi pada jalur roda kendaraan kecil, dan dengan nyata stabil/kokoh)	0,7-0,9
3. <i>HMA surface generally uncracked, little or no deformation in the wheel path, and stable</i> (Permukaan HMA secara umum tidak retak, deformasi pada jalur roda kendaraan sedikit atau tidak ada, dan stabil/kokoh.	0,9-1,0

Sebagai contoh: hasil pengamatan visual dan survey permukaan HMA menunjukkan *appreciable cracking*. Untuk lapisan HMA, “a” desain = 0,44 dan kondisi HMA adalah *appreciable cracking*, maka FR = 0,5-0,7 (gunakan FR = 0,6). Dengan demikian, a1 ef adalah: a1= 0,44 x 0,6 = 0,264

b) Reduksi Koefisien Kekuatan Relatif “a” Berdasarkan Pt T-01-2002-B

Selain metode reduksi MassHighway (2006), pada Pt T-01-2002-B (Kimpraswil, 2002) diberikan acuan dalam memperkirakan koefisien kekuatan relatif lapisan perkerasan jalan berdasarkan nilai lendutan dari FWD atau berdasarkan kondisi permukaan sebagaimana **Tabel 2-26**. Selain itu, pada Pt T-01-2002-B (Kimpraswil, 2002) juga ditemukan formula menentukan koefisien kekuatan relatif, khusus untuk pondasi atas dan pondasi bawah yang terdiri dari bahan agregat sebagaimana pada Persamaan 2.25 dan Persamaan 2.26, di mana: a₂ = koefisien kekuatan relatif pondasi atas (base), a₃ = koefisien kekuatan relatif pondasi bawah (sub base), E_{BS} = elastisitas pondasi atas, dan E_{SB} = elastisitas pondasi bawah.

$$a_2 = 0,249 \times (\text{Log}_{10}E_{BS}) - 0,977 \tag{2.25}$$

$$a_3 = 0,227 \times (\text{Log}_{10}E_{SB}) - 0,839 \tag{2.26}$$

Tabel 2-26. Koefisien Kekuatan Relatif a*.(Kimpraswil, 2002)

Bahan	Kondisi permukaan	“a*”
Beton aspal	Terdapat sedikit atau sama sekali tidak terdapat retak kulit buaya dan/atau hanya terdapat retak melintang dengan tingkat keparahan rendah < 10% retak kulit buaya dengan tingkat keparahan rendah dan < 5% retak melintang dengan tingkat keparahan sedang dan tinggi >10% retak kulit buaya dengan tingkat keparahan rendah dan/atau <10% retak kulit buaya dengan tingkat keparahan sedang dan/atau 5-10% retak melintang dengan tingkat keparahan sedang dan tinggi >10% retak kulit buaya dengan tingkat keparahan sedang dan/atau <10% retak kulit buaya dengan tingkat keparahan tinggi dan/atau >10% retak melintang dengan tingkat keparahan sedang dan tinggi >10% retak kulit buaya dengan tingkat keparahan tinggi dan/atau >10% retak melintang dengan tingkat keparahan tinggi	0,35-0,40
		0,25-0,30
Lapis permukaan beton		0,2-0,30
		0,14-0,20
Aspal		0,14-0,20
		0,08-0,15

a* = penilaian dilakukan tiap 100 meter

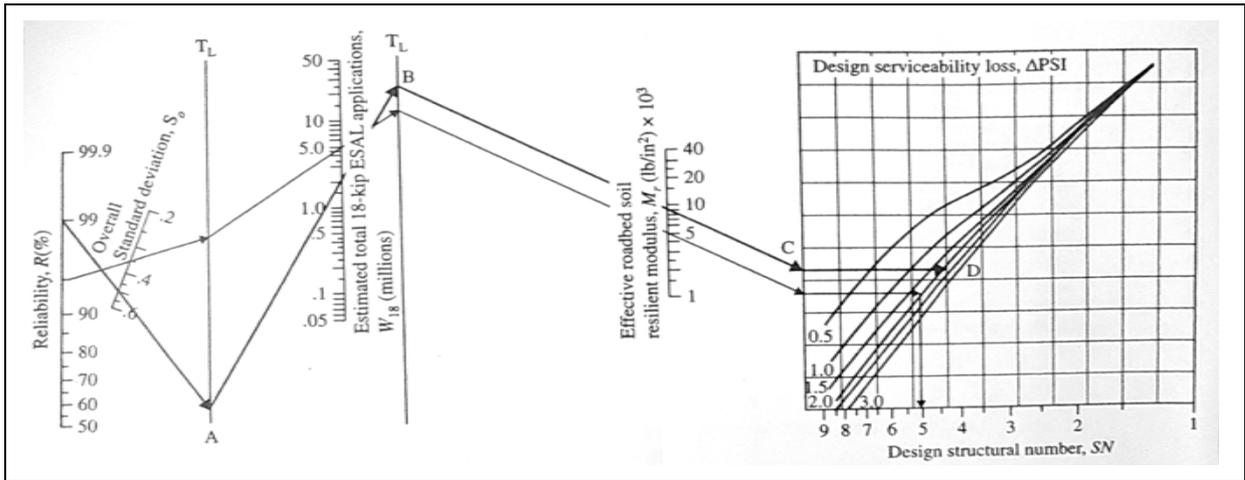
Sementara itu, nilai elastisitas (E) dapat dihitung berdasarkan nilai CBR yang dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.27, Persamaan 2.28, dan Persamaan 2.29. Menurut Virginia Department of Transportation (VDOT, 2003), untuk CBR > 10, nilai E ditentukan menggunakan Persamaan 2.27. Pada bagian lain, US Army Corp. and Eng. menyebutkan bahwa nilai E dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.28, sedangkan menurut Transportation and Road Research Laboratory (TRRL), nilai E dapat ditentukan menggunakan Persamaan.2.29 (Kocks Consult GmbH-Koblenz dan Universinj SRL-Chisinau, 2009).

$$E = 3000 \text{ CBR}^{0.65} \quad (2.27)$$

$$E = 5409 \text{ CBR}^{0.71} \quad (2.28)$$

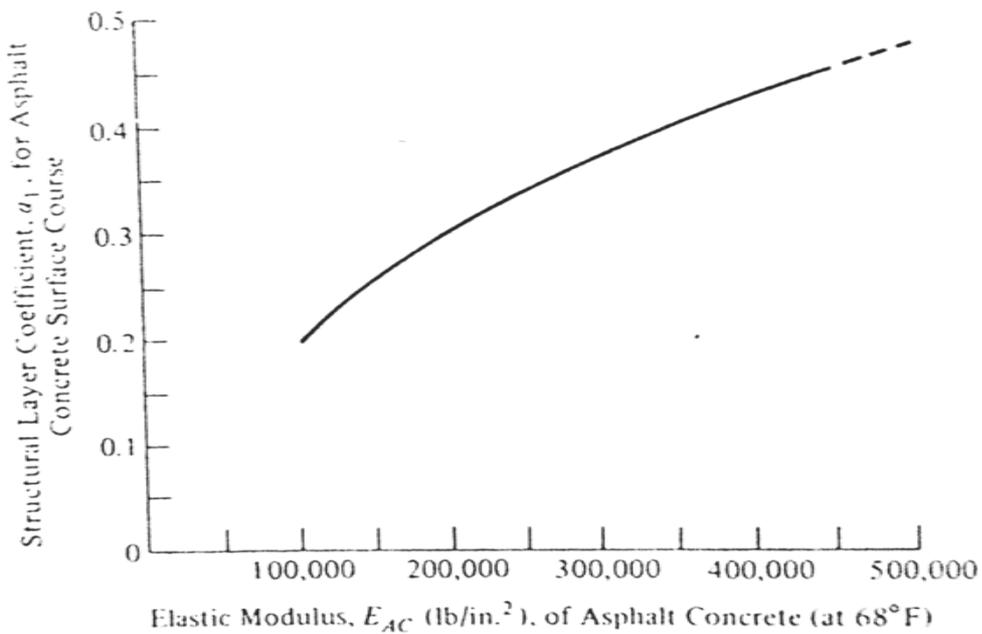
$$E = 2555 \text{ CBR}^{0.64} \quad (2.29)$$

Pada AASHTO (1993) dan Pt T-01-2002-B (Kimpraswil, 2002), dapat dilihat hubungan antara R, So, ESAL, Mr, ΔPSI, dan SN syarat sebagaimana pada **Gambar 2-18**.

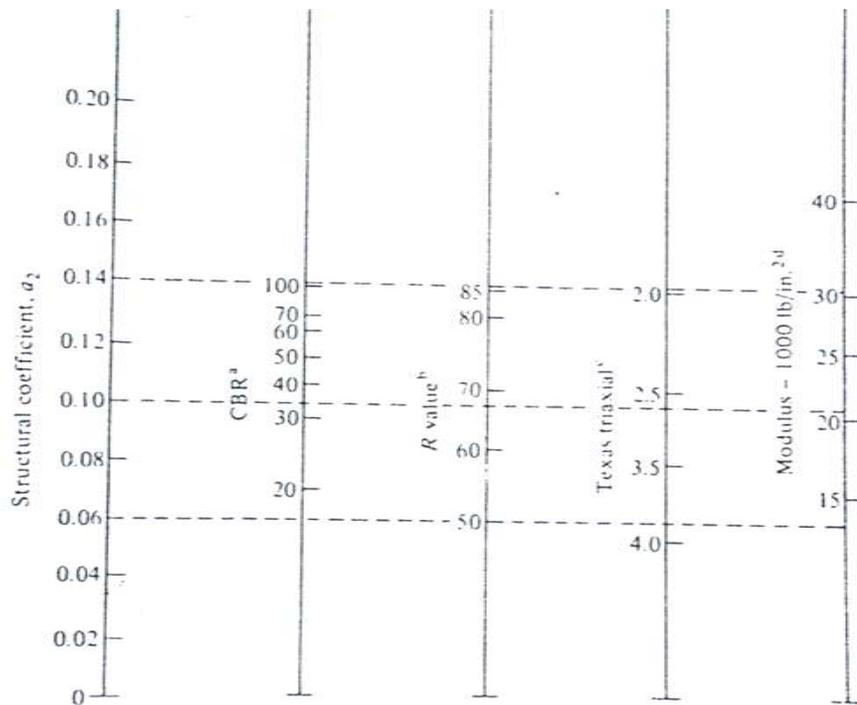


Gambar 2-18. Nomograph Penentuan SN (AASHTO, 1993; Garber dan Hoel, 2002)

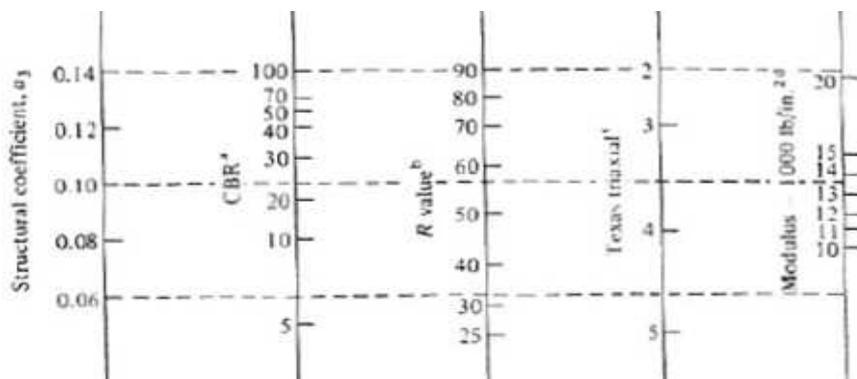
Sementara hubungan antara “a”, E, dan CBR dapat dilihat pada **Gambar 2-19**, **Gambar 2-20**, dan **Gambar 2-21**.



Gambar 2-19. Nomograph Hubungan antara Elastisitas dan a_1 (AASHTO, 1993; Garber dan Hoel, 2002)



Gambar 2-20. Nomogram Hubungan antara CBR dan a_2 (*granular*) (AASHTO, 1993; Garber dan Hoel, 2002)



Gambar 2-21. Nomograph Hubungan antara CBR dan a_3 (*granular*) (AASHTO, 1993; Garber dan Hoel, 2002)

c.) Evaluasi Koefisien Kekuatan Relatif “a” dengan Metode *Destructive*

Li (2004) mengatakan bahwa untuk mengevaluasi perkerasan jalan dapat menggunakan metode destructive, yaitu dengan melakukan uji DCP (*dynamic cone penetration*). Permukaan aspal di *core* untuk uji elastisitas dan pondasi jalan (agregat) di DCP untuk mengetahui daya dukung CBR. Dalam ASTM D3497 (Zhang et al., 2004), modulus elastisitas (E) dapat ditentukan dengan Persamaan 2.30.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (2.30)$$

di mana E = elastisitas (lb/in², kg/cm²), σ = tegangan (lb/in², kg/cm²), dan ε = regangan (in/in, cm/cm). Dengan diketahuinya E , maka nilai “a” dapat ditentukan dengan bantuan grafik **Gambar 2-19**. Sementara itu, DCP digunakan untuk menentukan nilai CBR. Dengan diketahuinya nilai CBR maka nilai “a” dapat ditentukan menggunakan Persamaan 2.25 dan Persamaan 2.26 atau menggunakan **Gambar 2-20** dan/atau **Gambar 2-21**. Secara praktek terdapat beberapa penelitian yang membuat hubungan antara DCP dan CBR dalam bentuk persamaan matematis sebagaimana dapat dilihat pada **Tabel 2-27**.

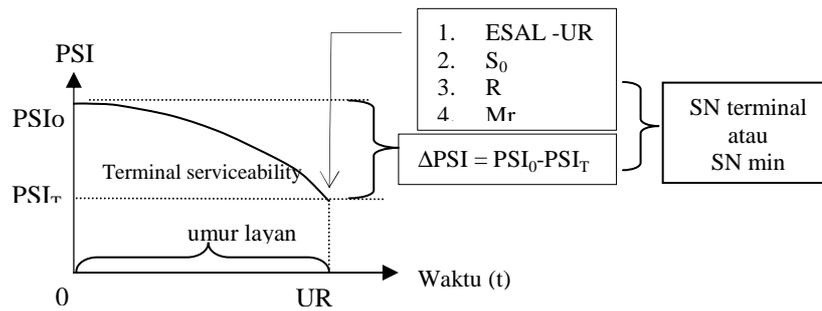
Tabel 2-27. Hubungan antara DCP dan CBR

No.	Bentuk hubungan CBR dan DCP	Penulis
1	$\text{Log (CBR)} = 2,81 - 1,307 \text{ Log (DCP)}$	Lab.Politeknik Negeri Kupang (2013)
2	$\text{Log (CBR)} = 2,81 - 1,307 \text{ Log (DCP)}$	Lab.Peralatan DPU-Cikampek (2013)
3	$\text{Log (CBR)} = 2,465 - 1,12 \text{ Log (DCP)}$	Chen (2009)
4	$\text{CBR} = 292 / \text{DCP}^{1.12}$ atau $292/(\text{PR})^{1.12}$	Chen (2009)
5	$\text{Log (CBR)} = 2,45 - 1,12 \text{ Log (DCP)}$	Livneh <i>et al</i> (1992) <i>cite.</i> Gabr <i>et al.</i> (2000)
6	$\text{Log (CBR)} = 2,55 - 1,14 \text{ Log (DCP)}$	Harison (1987) <i>cite.</i> Gabr <i>et al.</i> (2000)
7	$\text{Log (CBR)} = 2,62 - 1,27 \text{ Log (DCP)}$	Kleyn (1975) <i>cite.</i> Gabr <i>et al.</i> (2000)
8	$\text{Log (CBR)} = 1,4 - 0,55 \text{ log (DCP)}$	Gabr <i>et al.</i> (2000)

2) Kekuatan Minimum (SN min) Perkerasan Jalan

Menurut Hudson *et al.* (1987), batasan minimum setiap penilaian harus ditetapkan sebagai dasar untuk mengevaluasi kinerja aktual. Yang dimaksud kekuatan minimum perkerasan jalan (SNmin) adalah kekuatan yang disyaratkan untuk memikul sejumlah beban kendaraan pada akhir umur rencana dengan kondisi tertentu (Zhang *et al.*, 2004). Selain itu, SNmin dapat juga dijelaskan menggunakan konsep *serviceability*, di mana *terminal serviceability* adalah nilai penerimaan minimum sebelum rekonstruksi perkerasan jalan diperlukan (Garber dan Hole, 2002; Santos dan Ferreira, 2012). Pendapat lainnya juga menyebutkan bahwa kekuatan struktur minimum jalan adalah kekuatan perkerasan jalan pada saat kondisi terminal (Bryce *et al.*, 2013; Elseife *et al.*, 2013; Park *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2004). SN minimum dapat ditentukan dengan menggunakan prinsip keseimbangan antara beban luar dan kemampuan (*Japan Society of Civil Engineering*, JSCE, 2010; Feng *et al.*, 2010).

Hudson *et al.* (1987) mengatakan bahwa kinerja level penerimaan minimum seharusnya terjadi pada akhir umur rencana. Pada saat terminal, beban yang bekerja adalah akumulasi beban selama umur layan dengan pertumbuhan kendaraan “r” (% per tahun), dengan anggapan R, So, Mr, dan ΔPSI sesuai rencana. Informasi pada kondisi terminal dapat di lihat pada **Gambar 2-22**.



Gambar 2-22. Tipikal Waktu Layan (t) vs Layanan Perkerasan Jalan (PSI) (Santos dan Ferreira, 2012)

3) *Structure Condition Index (SCI)*

Chi *et al* (2014) menyebutkan model SCI dapat digunakan untuk mendukung sistem informasi dalam penanganan perkerasan jalan (*pavement management information system/PMIS*). Sebagai ilustrasi, model SCI yang dibangun menggunakan data SCI selama 4 tahun dapat digunakan untuk memperkirakan biaya perbaikan untuk beberapa tahun berikutnya. SCI adalah nilai perbandingan antara SN ef dan SN req. SN ef dihitung menggunakan informasi lendutan perkerasan jalan dan SN req. adalah SN yang disyaratkan saat mendesain yang dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.1 atau menggunakan nomograph **Gambar 2-4** atau **Gambar 2-18**. Sementara itu, Bryce *et al* (2013) mengatakan bahwa kinerja kekuatan struktur perkerasan jalan dapat mengurangi gap antara biaya yang direncanakan dan biaya proyek perbaikan yang dibutuhkan. Secara umum indeks kondisi struktur perkerasan jalan SCI ditentukan menggunakan Persamaan 2.31 (Chi *et al.*, 2014; Bryce *et al.*, 2013), di mana: SCI = *structural condition index*; SNef = *structural number effective*; dan SN req. = *structural number* yang disyaratkan.

$$SCI = \frac{SN_{ef}}{SN_{req}} \quad (2.31)$$

Nilai SCI = 0 menggambarkan daya dukung atau koefisien kekuatan relatif perkerasan jalan (a) tidak ada lagi atau 0 (nol), SCI = 1 menggambarkan daya dukung efektif perkerasan jalan eksisting sama dengan daya dukung syarat sesuai rencana, SCI < 1 menggambarkan daya dukung efektif perkerasan jalan eksisting di bawah daya dukung syarat sesuai rencana, sementara SCI > 1 menggambarkan daya dukung efektif perkerasan jalan eksisting lebih besar dari daya dukung syarat sesuai rencana.

2.3 Kerusakan Jalan

2.3.1 Pengertian Umum Kerusakan

Menurut Macarulla *et al.* (2013), kerusakan adalah bagian yang digunakan untuk mendefinisikan sebuah kelemahan atau kekurangan menurut fungsi/kegunaan, kinerja, aturan perundang-undangan bangunan, yang dapat terlihat dalam struktur, sistem, layanan atau dalam bentuk lainnya yang berpengaruh terhadap bangunan. Sedangkan Stephens (2004) menyebutkan bahwa suatu barang atau produk dikatakan rusak ketika produk tersebut tidak dapat menjalankan fungsinya dengan baik lagi. Pendapat lainnya mengatakan, kerusakan adalah ketidakmampuan suatu komponen berfungsi sebagaimana mestinya (Winarto, 2012). Menurut Winarto (2012), kondisi umum kerusakan dikaitkan dengan analisis kegagalan adalah:

1. Jika tidak dapat dioperasikan
2. Masih dapat dioperasikan, tapi tidak berfungsi semestinya
3. Kerusakan serius atau tidak aman digunakan

2.3.2 Indikator, Variabel dan Parameter Jalan Rusak

Menurut Bennett *et al.* (2007), indikator kerusakan jalan yang terkait dengan fungsional jalan adalah layanan dan keamanan, sementara indikator kerusakan terkait struktur perkerasan jalan adalah kemampuan dukung struktur yang terdiri dari sifat mekanik perkerasan (penurunan permukaan) dan kerusakan permukaan jalan, cacat permukaan, dan perubahan bentuk permukaan) sebagaimana dapat dilihat pada **Tabel 2-28**.

Tabel 2-28. Jenis Evaluasi Perkerasan Jalan (Bennett *et al.*, 2007)

Jenis Evaluasi	Fungsi Perkerasan	Karakteristik perkerasan	Indikator dan indeks
Evaluasi Fungsional	<i>Serviceability</i>	<i>Roughness</i>	IRI
			PSI
			QI
	<i>Safety</i>	<i>Tekstur</i>	<i>Makrotekstur</i>
			<i>Mikrotekstur</i>
<i>Skid resistance</i>		<i>Koefisien skid</i>	
Evaluasi Struktural	Kapasitas struktural	Sifat mekanik perkerasan	<i>Deflection</i>
		Kerusakan jalan	<i>Cracking</i>
			<i>Surface difect</i>

Dari beberapa sistem evaluasi dan penilaian jalan yang ada, indikator dan parameter serta kategori jalan rusak dapat dilihat pada **Tabel 2-29**.

Tabel 2-29. Indikator, Variabel dan Parameter Jalan Rusak

Indikator penilaian	Variabel	Parameter		Sumber
		rusak ringan	rusak berat	
Layanan (<i>Service</i>)	PSI	$1 < \text{PSI} \leq 2$	$0 \leq \text{PSI} \leq 1$	Hudson <i>et al.</i> (1987)
Kondisi permukaan jalan: berlubang, retak, ber-alur, dll	PCI, dan CDV	PCI = 25-40	PCI = 10-25	Park <i>et al.</i> (2007) Dirjen Prasarana Wilayah (2004) <i>cite.</i> Mulyono (2007) Koduru <i>et al.</i> (2010) TM 5-623 (US Army, 1982) UCF 3-270-06 (US Army, 2001)
		PCI = 25-55	PCI < 25	BC. Ministry of Transportation (2007)
		PCI = 30-50	PCI = 0-30	Jimenez dan Mrawira (2009)
Kekasaran/ ketidak-rataan permukaan jalan	IRI	$5.947 < \text{IRI} < 17.5$	$17.5 < \text{IRI} < 20$	Park <i>et al.</i> (2007)
		$7 < \text{IRI} \leq 12$	IRI > 12	DPU (2011a;2012) DPU (2011b) Permen PU No. 13/PRT/M/2011

PSI = *present serviceability index* (skala 0-5; 0 kondisi terburuk, dan 5 terbaik); PCI = *pavement condition index* (skala 0-100; 0 kondisi terburuk dan 100 kondisi terbaik); CDV = *corrected deduct value* (0-100%); IRI = *international roughness index* m/km (0 kondisi terbaik s/d tak hingga)

2.4 Definisi dan Kriteria Gagal/Kegagalan

Bagian ini menguraikan pandangan-pandangan terkait kegagalan, di antaranya: kegagalan berdasarkan arti kata tata bahasa, beberapa pandangan terhadap kegagalan, dan kegagalan atau kriteria gagal menurut peraturan atau pengguna.

2.4.1 Definisi Gagal/Kegagalan Menurut Arti Kata Tata Bahasa

Definisi kata “gagal” maupun “kegagalan” yang sesuai digunakan pada bangunan konstruksi menurut beberapa sumber tata bahasa, seperti: kamus besar bahasa Indonesia (KBBI, 2009), Merriam-Webster Dictionary, British Dictionary (*Collins English Dictionary*), Stedman's Medical Dictionary (2002), Denis Howe (2010), dan The Free Dictionary dapat dilihat pada **Tabel 2-30**.

2.4.2 Beberapa Pandangan Lain Terkait Kegagalan

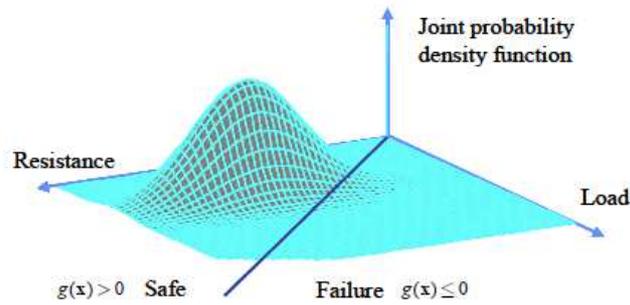
Menurut Hudson *et al.* (1987), kegagalan jalan dapat terjadi di mana kemampuan strukturalnya menurun hingga melampaui ambang batas minimal yang mengakibatkan kehancuran. Sementara itu, Keminetzky (1991) *cit.* Yates dan Lockley (2002), dan Tumilar (2006) menyebutkan bahwa kegagalan adalah ketidakmampuan bekerja, ketidak-cukupan kemampuan bekerja, atau kemampuan kerja berada di bawah harapan. Pendapat lainnya memandang bahwa kegagalan adalah terkait dengan kemampuan struktur, di mana disebutkan struktur dikategorikan mengalami kegagalan ketika tegangan akibat beban sama dengan kekuatan yang disyaratkan, atau perbandingan antara tegangan yang terjadi dan tegangan yang disyaratkan sama dengan satu ($R = 1$ adalah gagal) (Peapegem dan Degrieck, 2003).

Tabel 2-30. Definisi Kegagalan Menurut Arti Kata Tata Bahasa (Aksioma Kegagalan)

No	Pengertian “kegagalan”	Sumber
1	Gagal adalah tidak berhasil; tidak tercapai (maksudnya) Kegagalan adalah keadaan yang tidak berhasil: tidak tercapai (maksudnya)	KBBI, 2009
2	kegagalan adalah perihal gagal; ketidakberhasilan	KBBI, 2009
3	Kegagalan adalah: ketidakberhasilan mencapai tujuan yang diharapkan; ketidakmampuan untuk melakukan sebuah fungsi yang normal	Meriam-Webster Dictionary
4	Kegagalan adalah ketidakcukupan	British Dictionary
5	Kegagalan adalah ketidakmampuan berfungsi atau bekerja secara memuaskan	Stedman's Medical Dictionary (2002)
6	Kegagalan adalah ketidakmampuan sebuah sistem atau subsistem untuk berfungsi sebagaimana disyaratkan dalam batasan spesifikasi.	Denis Howe (2010)
7	Kegagalan adalah suatu tindakan/perbuatan yang tidak mencapai tujuan yang ditentukan	The Free Dictionary

Wardhana dan Hadipriono (2003) mengatakan bahwa kegagalan adalah ketidakmampuan suatu fasilitas konstruksi atau komponennya untuk berfungsi sebagaimana rencana atau persyaratan. Wardhana dan Hadipriono (2003) menyebutkan bahwa kegagalan berhubungan dengan dua kondisi, yaitu: 1) runtuh (*collaps*) dan 2) keadaan membahayakan (*distress*). Pertama, sebuah bangunan runtuh, ketika seluruh atau sebagian besar bagian struktur rubuh, di mana struktur kehilangan kemampuan untuk melakukan fungsinya. Runtuh diklasifikasikan menjadi 2 kategori, yaitu: i) runtuh total dan ii) runtuh sebagian. Secara umum runtuh total membutuhkan pembangunan ulang dan runtuh sebagian membutuhkan pembangunan ulang sebagian. Kedua, keadaan bahaya berhubungan dengan ketidak-mampuan melayani oleh suatu struktur atau komponennya yang mungkin atau mungkin juga tidak mengakibatkan suatu keruntuhan. Keadaan bahaya juga diartikan sebagai suatu kondisi khusus dari struktur yang mana mengalami sejumlah deformasi tanpa kehilangan sistem struktur.

Sedangkan Faber *et al.* (2004) mengatakan bahwa kegagalan terjadi jika beban yang ada melebihi kemampuan yang ada. Probabilitas kegagalan dan aman dapat dilihat pada **Gambar 2-23**. Peluang gagal berada pada wilayah beban (*load*) melebihi kapasitas (*resistance*) $\{g(x) \leq 0\}$, dan area aman berada pada wilayah beban di bawah kapasitas $\{g(x) > 0\}$. Prinsip ini digunakan sebagai acuan untuk mengatakan bahwa kemampuan efektif perkerasan jalan yang tersedia berada di bawah kemampuan minimalnya adalah kategori gagal.



Gambar 2-23. Probabilitas Kegagalan (Faber *et al.*, 2004)

Shohet (2006) mengelompokkan indikator penentu kinerja dalam kategori: aset bangunan, organisasi dan manajemen, kinerja manajemen dan efisiensi pemeliharaan. Kinerja manajemen diukur dari kinerja bangunan, yang dinyatakan dalam:

- i) bobot nilai kondisi sistem,
- ii) bobot kegagalan sistem, dan
- iii) bobot pemeliharaan preventif.

Shohet (2006) memberikan skala kinerja masing-masing sistem atau *performance* (P_n) 0-100 yang dihitung menggunakan Persamaan 2.32. $P_n < 60$ menggambarkan kinerja buruk atau berbahaya; $60 < P_n \leq 70$ menggambarkan deterioration; $70 < P_n \leq 80$ batas marginal; $P_n > 80$ adalah kondisi baik. $P_n = 40$ mengindikasikan kegagalan dan $P_n = 20$ kondisi kinerja yang buruk. Dimana $W(C^*)_n$ = bobot komponen sistem kondisi-n, $W(F^*)_n$ = bobot kegagalan sistem-n, $W(pm^*)_n$ = bobot pemeliharaan preventif sistem-n. $W(C^*)_n + W(F^*)_n + W(pm^*)_n = 1$.

$$P_n = C_n^* W(C^*)_n + F_n^* W(F^*)_n + PM_n^* W(pm^*)_n \quad (2.32)$$

Sedangkan BPI (*building performance index*) dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.33.

$$BPI = \sum_{n=1}^{10} P_n W_n \quad (2.33)$$

Tabel 2-31. Hasil Studi Kasus Kinerja Sistem dan BPI (Shohet, 2006)

<i>Building System</i>	(W_n)	P_n	$P_n(W_n)/100$
<i>Structure</i>	12,4	84,0	10,4
<i>Interior</i>	34,8	79,5	27,7
<i>Exterior</i>	5,3	84,2	4,5
<i>Fire protection</i>	2,2	75,0	1,7
<i>Water and sanitation</i>	7,6	68,8	5,2
<i>Elevator</i>	4,1	57,1	2,3
<i>Electrical system</i>	12,7	91,7	11,6
<i>Communication</i>	4,6	82,0	3,8
<i>HVAC</i>	13,7	85,0	11,6
<i>Medical gases</i>	2,6	100	2,6
BPI	100	$BPI = \sum_{n=1}^{10} P_n W_n =$	81,4

Sebagai ilustrasi, BPI suatu bangunan dengan 10 variable ($n = 10$) dapat dilihat pada **Tabel 2-31**. Hasil perhitungan pada **Tabel 2-31** menunjukkan bahwa bangunan berada pada kondisi baik ($BPI > 80$). Jika $BPI < 70$, maka diperlukan tindakan pemeliharaan korektif (Shohet, 2006).

Pada bagian lain, Hayden (2007) menyebutkan bahwa kegagalan dapat diartikan sebagai tidak tercapainya tujuan utama dari stakeholder pada sebuah proyek. Sedangkan menurut Douglas dan Ransom (2007), kegagalan bangunan terjadi ketika bangunan mengalami kehilangan kemampuan untuk bekerja sebagaimana dimaksudkan (desain). Berdasarkan hal tersebut, kegagalan bangunan dapat dikategorikan kedalam dua grup penting, yaitu kegagalan secara fisik (struktur) dan kegagalan performansi. Kegagalan struktur diakibatkan kehilangan karakteristik tertentu, seperti kekuatan, sementara kegagalan performansi dimaksudkan sebagai sebuah penurunan fungsi hingga di bawah batas penerimaan minimum.

Kegagalan struktur diartikan dengan kelebihan beban batas elemen bangunan dari yang ditentukan, yang merusak stabilitas struktur bangunan. Dalam kenyataannya, hal ini sama dengan kerusakan yang meluas, keruntuhan sebagian atau seluruhnya bangunan, yang berdampak pada biaya perbaikan yang relative mahal untuk mengembalikan fungsi bangunan. Kegagalan fungsi dapat dipengaruhi oleh kegagalan dari elemen-elemen struktur (sebagaimana disebut sebelumnya), komponen non-struktur (elemen-elemen yang bukan pemikul beban atau peralatan).

“Building failure occurs when the building loses its ability to perform its intended (design) function. Hence, building failures can be categorized into the two broad groups of physical (structural) failures (which result in the loss of certain characteristics, e.g., strength) and performance failures (which means a reduction in function below an established acceptable limit)”(Douglas dan Ransom, 2007).

“Structural failure corresponds to the exceedance of ultimate limit state in many of the load-carrying elements, which compromise the structural stability of the building. In practice, this corresponds to extensive damage, partial or total collapse of the building, resulting in repair costs that are high relative to the of the building. Performance failure can be induced by the failure of structural elements (as per above), nonstructural component (non-load-bearing elements or equipment)”(Douglas dan Ransom, 2007).

Hal lain yang dianggap penting untuk dipahami dalam aspek rekayasa terkait kemampuan struktur memikul beban rencana adalah keterpaduan secara struktur (berat, gaya, dll) dan kegagalan secara struktur. *Structural integrity* adalah suatu karakteristik kinerja yang diberlakukan terhadap sebuah komponen, satu struktur tunggal, atau suatu struktur yang terdiri dari komponen-komponen yang berbeda. *Structural integrity* adalah kualitas bagian-bagian konstruksi untuk bekerja secara bersama-sama memikul beban, termasuk beratnya sendiri, menahan kerusakan atau tekukan. Hal itu menjamin bahwa konstruksi akan memenuhi fungsi

yang direncanakan, selama penggunaan yang layak, sepanjang umur rencana struktur. Bagian-bagian dikerjakan dengan structural integrity untuk menjamin bahwa kegagalan yang mengakibatkan bencana tidak terjadi, yang dapat mengakibatkan kerugian-kerugian dan korban, kerusakan, kematian, atau kehilangan secara moneter atau uang (Douglas dan Ransom, 2007). Sementara itu, Park *et al.* (2007) menggolongkan kegagalan perkerasan menjadi dua kelompok, yaitu:

- 1) Kegagalan struktural: menggambarkan ketidakmampuan struktur perkerasan memikul beban lalu-lintas
- 2) Kegagalan fungsional: menggambarkan struktur perkerasan jalan yang tidak mampu memberikan fungsinya pada pelayanan sebagaimana yang direncanakan: mengakibatkan rasa tidak nyaman pada penumpang atau kerusakan pada kendaraan akibat kekasaran yang melebihi batas.

Menurut Noon (2009), kegagalan adalah ketidakmampuan bekerja, ketidak-cukupan kemampuan bekerja, atau kemampuan kerja berada di bawah harapan. Kegagalan dapat juga berupa kecelakaan (*accidents*), bencana atau malapetaka (*catastrophes*), bencana alam (*acts of God*), dan kadang-kadang kejahatan. Wang dan Li (2010) menyebutkan, jika dihubungkan kegagalan dengan keadaan yang membahayakan, beberapa indikator yang banyak digunakan pada keadaan bahaya (*distress*) perkerasan adalah:

- 1) *Fatigue cracking* (FC) (%),
- 2) *Rutting* (Inch, mm), dan
- 3) IRI (inc/mil atau m/km atau mm/m)

Sementara itu, Chen Dar-Hoe (2010) mengatakan, terlepasnya lapisan HRS segera setelah dibuka untuk lalu-lintas yaitu satu hari setelah dioperasikan pada ruas jalan di distrik Departemen Transportasi Texas (TxDOT) merupakan kegagalan prematur (*premature failure*). Pendapat ini secara tegas menyampaikan bahwa ada peristiwa kegagalan ditinjau dari aspek waktu, yaitu satu hari setelah dioperasikan. Sedangkan Arampamoorthy dan Patrick (2010) menyebutkan, perkerasan jalan dikelompokkan gagal apabila memiliki alur bekas roda kendaraan (*rutt dept*) > 20 mm.

2.4.3 Kegagalan Menurut Perundang-undangan

Pada UU No. 18/1999, Bab I Pasal 1 butir (6) disebutkan bahwa “kegagalan bangunan adalah keadaan bangunan yang setelah diserahkan terimakan oleh Penyedia Jasa kepada Pengguna Jasa menjadi tidak berfungsi baik secara keseluruhan maupun sebagian dan/atau tidak sesuai dengan ketentuan yang tercantum dalam kontrak kerja konstruksi atau pemanfaatannya yang

menyimpang sebagai akibat kesalahan Penyedia Jasa dan/atau Pengguna Jasa.” Dan pada penjelasannya (angka 6) disebutkan bahwa “kesalahan Penyedia Jasa adalah perbuatan yang dilakukan secara sadar dan direncanakan atau akibat ketidaktahuan atau kealpaan yang menyimpang dari kontrak kerja konstruksi sehingga menimbulkan kerugian. Kesalahan Pengguna Jasa adalah perbuatan yang disebabkan karena pengelolaan bangunan yang tidak sesuai dengan fungsinya.”

Pada bagian lain, PP No. 29/2000, sebagaimana telah dirubah dengan PP No. 59/2010, memuat bahwa “kegagalan bangunan merupakan keadaan bangunan yang tidak berfungsi, baik secara keseluruhan maupun sebagian dari sisi teknis, manfaat, keselamatan dan kesehatan kerja, dan atau keselamatan umum sebagai akibat kesalahan Penyedia Jasa dan atau Pengguna Jasa setelah penyerahan akhir pekerjaan konstruksi.” Pada penjelasannya disebutkan “cukup jelas,” artinya pemahaman kegagalan bangunan pada Peraturan Pemerintah dan penjelasannya adalah sama.

Sementara itu, menurut BS 7543 British Standar Institute (BSI) (2003), kriteria kegagalan adalah: a) membahayakan kehidupan, b) bahaya berhubungan dengan keberadaan fisik, c) resiko kesehatan, d) biaya perbaikan yang sangat tinggi, e) biaya yang tinggi untuk pemeliharaan kembali, f) gangguan pada penggunaan bangunan, g) membahayakan keselamatan, h) kondisi lain yang membahayakan tanpa kecuali (Flores-Colen *et al.*, 2010).

Menurut Japan Society of Civil Engineering (JSCE, 2010), untuk mencapai tingkat keamanan struktur, rasio (R) antara kapasitas dan beban kerja harus lebih besar dari 1, artinya $R = 1$ adalah kondisi kritis dan $R < 1$ akan berdampak gagal. Dan, terakhir, Macarulla *et al.* (2013) menyebutkan, ketidaksesuaian adalah kata yang digunakan dalam ISO 900-2005 (ISO 2005) untuk mendefinisikan kegagalan memenuhi suatu syarat.

2.5 Perkembangan *Ontolgy* dalam Industri Konstruksi

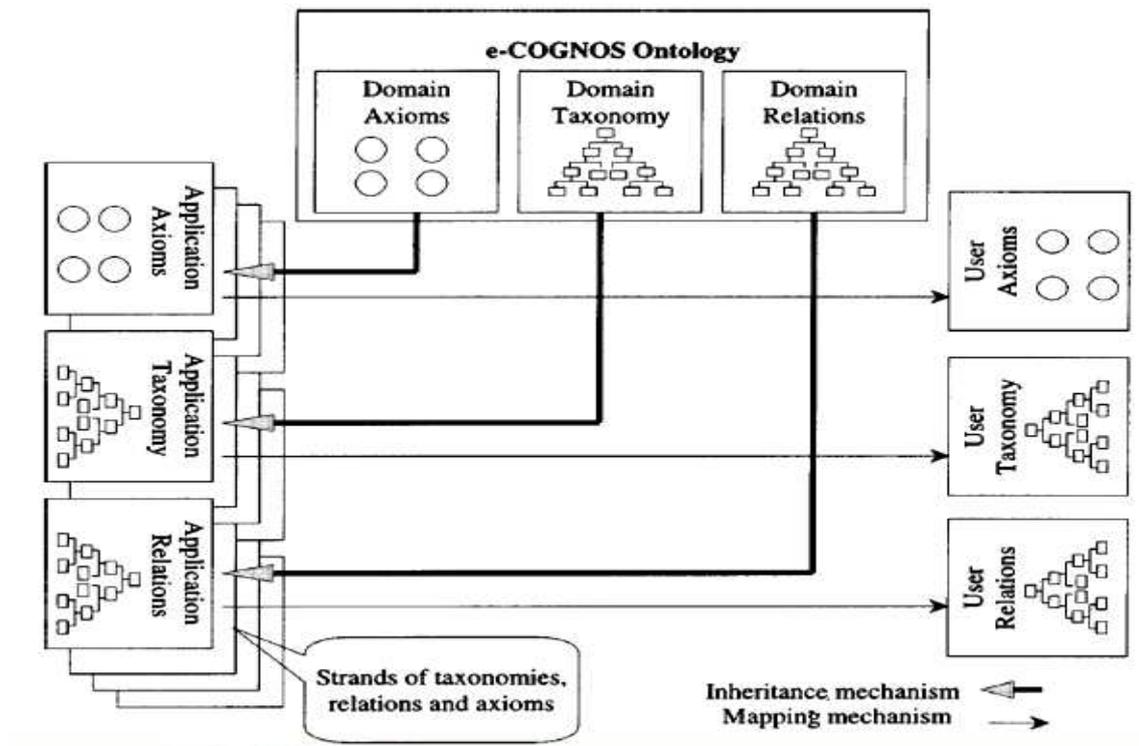
Filosofi adalah cara pandang atau cara berfikir. Filsafat dapat dipandang sebagai tiga hal, yaitu:

- 1) Filsafat sebagai kumpulan teori digunakan memahami dan mereaksi dunia pemikiran. Jika seseorang hendak ikut membentuk dunia atau ikut mendukung suatu ide yang membentuk suatu dunia, atau hendak menentang suatu sistem kebudayaan atau sistem ekonomi, atau sistem politik, maka sebaiknya mempelajari teori-teori filsafatnya. Inilah kegunaan mempelajari teori-teori filsafat ilmu.
- 2) Filsafat sebagai pandangan hidup. Filsafat dalam posisi yang kedua ini semua teori ajarannya diterima kebenarannya dan dilaksanakan dalam kehidupan. Filsafat ilmu sebagai pandangan hidup gunanya ialah untuk petunjuk dalam menjalani kehidupan.
- 3) Filsafat sebagai metodologi dalam memecahkan masalah.

Ada banyak cara menyelesaikan masalah, mulai dari cara yang sederhana sampai yang paling rumit. Bila cara yang digunakan amat sederhana maka biasanya masalah tidak terselesaikan secara tuntas. penyelesaian yang detail itu biasanya dapat mengungkap semua masalah yang berkembang dalam kehidupan manusia. Terkait kerusakan-kerusakan pada perkerasan jalan perlu dievaluasi lebih objektif dan komprehensif. Objektif jika nilai-nilai tidak tergantung pada subjek atau kesadaran yang menilai. Tolak ukur suatu gagasan berada pada objeknya, bukan pada subjek yang melakukan penilaian. Kebenaran tidak tergantung pada kebenaran pada pendapat individu melainkan pada objektivitas fakta. Komprehensif karena kerusakan jalan dinilai berdasarkan *ontology* ilmu pengetahuan yang dapat membedakan antara tercapainya tujuan atau tidak (Kim and Fisher, 2014)

Beberapa aplikasi *ontology* terkait industry konstruksi, di antaranya: “*distributed ontology architecture for knowledge management in highway construction*” (El-Diraby and Kashif, 2005); “*domain ontology for processes in infrastructure and construction*” (El-Gohary and El-Diraby, 2010); “*domain ontology for construction knowledge*” (El-Diraby, 2013); “*ontology for representing building users’ activities in space-use analysis*” (Kim dan Fisher, 2014). Menurut Gruber (1993) *cite*. El-Diraby dan Kashif (2005), dalam konteks informasi manajemen, *ontology* adalah sebuah spesifikasi konsep yang sangat jelas berdasarkan aturan. *Ontology* memberikan sebuah mekanisme untuk mengkategorikan/mengklasifikasikan domain ilmu/informasi menjadi konsep yang saling terkait. *Ontology* membangun informasi dalam bentuk hierarki konsep: taksonomi (*taxonomy*), aksioma (*axiom*), dan hubungan menurut arti kata (*semantic relationship*). Pengkonstruksian ini mengandalkan arti kata asli untuk dihadirkan dalam sebuah bentuk yang jelas untuk dapat diaplikasikan. El-Diraby dan Kashif (2005) mengatakan ada 3 level di dalam *ontology*, yaitu:

- 1) Level domain, adalah merupakan payung dari sesuatu bahasan dalam bentuk aksioma atau aturan, taksonomi (klasifikasi), dan hubungan.
- 2) Level aplikasi, adalah payung hukum yang umum berkaitan dengan tahap pelaksanaan.
- 3) Level user, adalah aturan-aturan yang berkaitan dengan pengguna sebagaimana dapat dilihat pada **Gambar 2-24**.

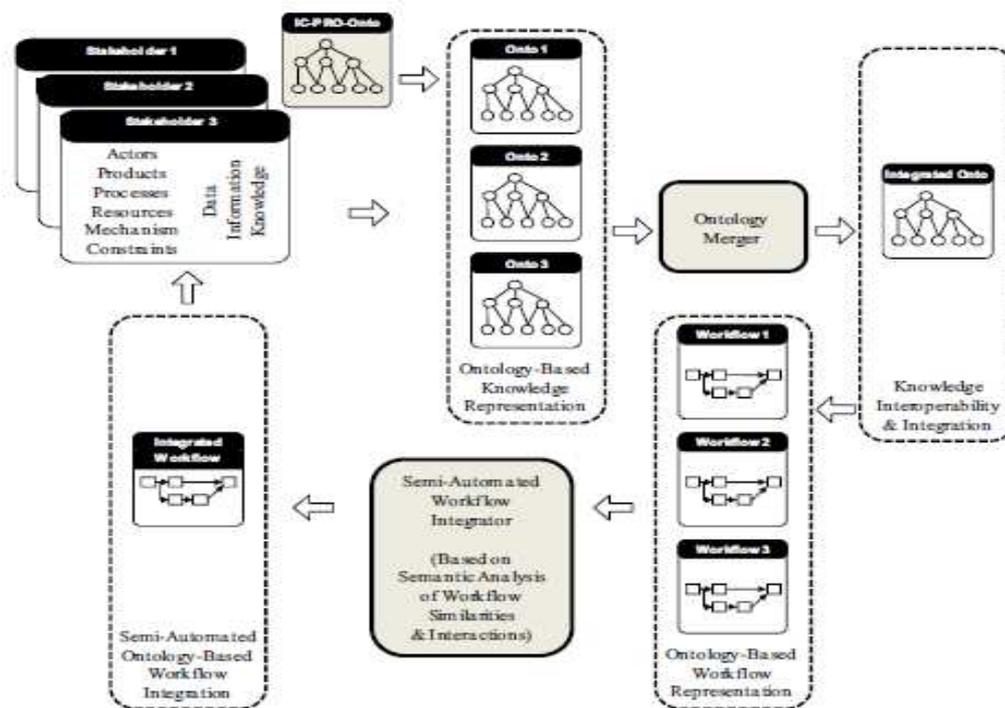


Gambar 2-24. Arsitektur *Highway Ontology* (HiOnto) (El-Diraby dan Kashif, 2005)

Sementara itu, El Gohary dan El Diraby (2010) mengatakan bahwa aksioma berguna untuk mendapatkan arti kata dan hubungan-hubungan dari konsep. Aksioma merincikan definisi konsep dan hubungan menurut ontology dan batasan interpretasinya. Umumnya, dua tipe utama perumusan, yaitu:

- 1) Pembatasan aturan domain (*domain axiomatization*): mendefinisikan arti domain konsep dan batasan yang dimaksudkan berdasarkan interpretasinya, selain dari bagaimana konsep akan digunakan. Aksioma ini mendefinisikan arti kata pada konsep yang utama di dalam wilayah domain. Ini adalah aksioma level lebih tinggi yang menunjukkan aturan paling fundamental. Aksioma-aksioma dalam ontology dihadirkan dalam bahasa asli dan pengertian pertama secara logika (*first order logic-FOL*);
- 2) Pembatasan aturan aplikasi (*application axiomatization*): meliputi aturan yang lebih spesifik yang membatasi penggunaan domain konsep menurut perspektif penerapannya.

Siapapun dapat mendefinisikan aturan petunjuk, batasan spesifik penerapan, dan lain-lain, dengan demikian aturan penerapan boleh berubah tergantung pada skenario penerapannya. El Gohary dan El Diraby (2010) memberikan satu bagan kerja terintegrasi berdasarkan ontology sebagaimana pada **Gambar 2-25**.



Gambar 2-25. Bagan Kerja Terintegrasi Berdasarkan *Ontology* (El Gohary and El Diraby, 2010)

Pada bagian lain, El-Diraby (2013) dan Kim dan Fisher (2014) mengatakan bahwa satu *ontology* yang informatif adalah satu gambaran formal tentang apa yang diketahui terkait sebuah hal yang diperdebatkan. *Ontology* meliputi hierarki (*taxonomies*) sebuah konsep, bagaimana hubungan-hubungan di antara hierarki yang ada, dan aksioma (batasan) yang menggambarkan pola hubungan di antaranya. Domain *ontology* juga merupakan pandangan secara filosofis dan dianggap penting dalam pengkategorian secara universal sebuah hal yang diperdebatkan dengan sebuah domain yang jelas. Menurut El-Diraby (2013), inti sebuah *ontology* yang informatif adalah pandangan secara filosofis yang menghasilkan suatu konsep yang terstruktur. Pertanyaan utama pada suatu model berkaitan dengan universalitas konsep: Apakah sebuah model terjadi atau ada; Apakah orang meyakini model tersebut? Apakah model itu? Bagaimana caranya model itu berhubungan dengan yang lainnya? Apakah mereka berubah? Jika begitu, di bawah kondisi yang bagaimana?

Manfaat dari sebuah konstruksi *ontology* berlipat dua: 1) bermanfaat untuk menampilkan secara formal ilmu pengetahuan dalam menginterpretasikan dan menggunakan informasi, dan 2) bermanfaat untuk mendorong dialog antara pengguna terkait model secara *ontology* (artinya, apakah ilmu pengetahuan dalam konteks domain dan bagaimana menghadirkannya dalam konteks kontribusi secara filosofis) (El-Diraby, 2013).

2.6 Road Map, Findings, Gap Penelitian, dan Landasan Teori Penelitian

Bagian ini bertujuan untuk menghadirkan rangkuman teori dan penelitian yang sudah ada terkait definisi/kriteria gagal/kegagalan, metode evaluasi perkerasan jalan, dan klasifikasi kondisi perkerasan jalan yang dapat menunjukkan kelemahan dan peluang mengatasinya.

2.6.1 Road Map Penelitian

Berdasarkan literature yang ada, definisi, kriteria gagal dan kegagalan dapat dirangkum sebagaimana dapat dilihat pada **Tabel 2-32**.

Table 2-32. Road Map Definisi/Kriteria Gagal/Kegagalan

Penulis	Definisi/kriteria gagal/kegagalan
Hudson <i>et al.</i> (1987)	Kegagalan didefinisikan sebagai kemampuan struktur yang berada di bawah kemampuan minimum penerimaan yang mengakibatkan kehancuran
Faber <i>et al.</i> (2004)	Kegagalan struktur terjadi ketika beban melebihi kemampuan
Keminezky (1991) <i>cite.</i> Yates and Lockley (2002); Tumilar (2006)	Kegagalan adalah perbuatan manusia dan didefinisikan sebagai kehilangan kemampuan, tidak mampu bekerja, ketidakmampuan, kehilangan kekuatan
UU No. 18/1999	“Kegagalan bangunan adalah keadaan bangunan yang setelah diserahkan ... menjadi tidak berfungsi baik secara keseluruhan maupun sebagian dan/atau tidak sesuai dengan ketentuan,...”
PP No. 59/2010	“Kegagalan bangunan merupakan keadaan bangunan yang tidak berfungsi baik secara keseluruhan maupun sebagian dari sisi teknis, manfaat,..”
Wardhana and Hadipriono (2003)	Kegagalan adalah ketidakmampuan fasilitas atau komponennya sesuai dengan desain atau persyaratan yang mengakibatkan keruntuhan atau tidak aman.
Peapegem dan Degrieck (2003)	Gagal jika $R = 1$; R adalah rasio antara kemampuan aktual dan kemampuan minimum
Shohet (2006)	Kinerja bangunan < 40 adalah kategori gagal; 0=terburuk, dan 100 terbaik
Park <i>et al.</i> (2007)	Kegagalan struktur menggambarkan ketidakmampuan struktur perkerasan jalan memikul beban kendaraan. Kegagalan fungsional menggambarkan ketidakmampuan struktur perkerasan jalan memberikan layanan sebagaimana diinginkan: menyebabkan ketidaknyamanan pengendara, atau menyebabkan kendaraan kesulitan karena kekasaran jalan melebihi batas.
Hayden (2007)	Kegagalan dapat diartikan sebagai tidak tercapainya tujuan utama dari stakeholder pada sebuah proyek
Douglas dan Ransom (2007)	Kegagalan bangunan terjadi ketika bangunan mengalami kehilangan kemampuan untuk bekerja sebagaimana dimaksudkan (desain).
Noon (2009)	Kegagalan adalah ketidaksesuaian, kinerja di bawah kinerja rencana
Wang and Li (2010)	Kegagalan adalah situasi yang berbahaya
Japan Society of Civil Engineering (JSCE, 2010)	Untuk suatu keamanan, rasio (R) antara kapasitas dan beban kerja harus lebih besar dari 1, artinya $R = 1$ adalah kondisi kritis dan $R < 1$ akan terjadi kegagalan
Flores-Colen <i>et al.</i> (2010)	Failure criteria (British Standard/BS-7543) 1. danger to life 2. risk to physical integrity 3. health risk 4. very high repair cost 5. high cost due to maintenance recurrence 6. interruption of the building's use 7. compromised safety 8. and other situations with no exceptional problems
KBBI (2009)	Kegagalan adalah keadaan yang tidak berhasil mencapai tujuan
Merriam-Wenster Dictionary	Kegagalan adalah: ketidak berhasilan mencapai tujuan yang diharapkan; ketidak mampuan untuk melakukan sebuah fungsi yang normal
Stedman's Medical Dictionary (2002)	Kegagalan adalah ketidakmampuan berfungsi atau bekerja secara memuaskan

Table 2-32. Road Map Definisi/Kriteria Gagal/Kegagalan (Lanjutan)

Penulis	Definisi/kriteria gagal/kegagalan
Denis Howe (2010)	Kegagalan adalah ketidakmampuan sebuah sistem atau subsistem untuk berfungsi sebagaimana disyaratkan dalam batasan spesifikasi
Park <i>et al.</i> (2007)	PCI < 10
TM 5-623 (US Army, 1982)	PCI < 10
UFC 3-270-06 (US Army, 2001)	PCI < 10
Macarulla <i>et al.</i> (2013)	Kegagalan adalah ketidaksesuaian dengan persyaratan atau spesifikasi

Beberapa literatur memberikan definisi atau kriteria kegagalan pada bangunan konstruksi. Pada penelitian ini, pendapat tertua tentang kegagalan merujuk pada Hudson *et al.* (1987). Hudson *et al.* (1987) mendefinisikan kegagalan sebagai suatu kondisi di mana kemampuan struktur berada di bawah kemampuan minimum penerimaan yang mengakibatkan kehancuran. Apabila definisi ini diterapkan pada bangunan gedung tentu tidak terlalu sulit karena apabila kemampuan struktur berada di bawah kemampuan minimum, bangunan tersebut akan runtuh dengan sendirinya dan tidak dapat berfungsi lagi. Sayangnya, definisi kegagalan tersebut masih sulit diterapkan pada perkerasan jalan, karena Hudson *et al.* (1987) hanya memberikan batasan penerimaan minimum dengan indikator kinerja PSI yang secara umum merepresentasikan kemampuan fungsional perkerasan jalan dengan faktor penjas IRI, retak, lobang, dan alur.

Kemudian, Keminetzky (1991) *cite.* Yates dan Lockley (2002), dan Tumilar (2006) menyebutkan bahwa kegagalan adalah perbuatan manusia yang didefinisikan sebagai kehilangan kemampuan, tidak mampu bekerja, ketidakmampuan, kehilangan kekuatan. Definisi yang hampir sama diberikan oleh Noon (2009) yang menyebutkan kegagalan adalah ketidaksesuaian, kinerja di bawah kinerja rencana. Jika dicermati secara faktual di lapangan, definisi kegagalan yang relevan digunakan pada perkerasan jalan adalah “tidak mampu bekerja, ketidakmampuan, atau kinerja di bawah kinerja rencana” karena dapat diukur dan memiliki acuan yang jelas. Sementara unsur kehilangan kemampuan, kehilangan kekuatan, dan ketidaksesuaian kurang tepat digunakan untuk mengukur kegagalan karena batasannya kurang jelas. Umumnya setiap komponen struktur bangunan akan mengalami kehilangan kemampuan, kehilangan kekuatan sesuai dengan umur penggunaannya dengan kata lain akan mengalami penurunan kondisi (*deterioration*). Namun demikian, definisi yang diberikan oleh Keminetzky (1991) juga masih sulit diimplementasikan karena variabel operasional dari kriteria “tidak mampu bekerja, ketidakmampuan, atau kinerja di bawah kinerja rencana” belum dirumuskan, pada hal kriteria-kriteria tersebut berpeluang dirumuskan sebagaimana kinerja perkerasan jalan menurut Hudson *et al.* (1987), yaitu PSI atau PCI.

Pada perkembangannya, tahun 1999, Pemerintah bersama Dewan Perwakilan Rakyat Republik Indonesia (DPR RI) mensyahkan undang-undang tentang Jasa Konstruksi yang

dikenal dengan UU No. 18/1999. Pada UU No. 18/1999 disebutkan bahwa “Kegagalan bangunan adalah keadaan bangunan yang setelah diserahkan ... menjadi tidak berfungsi baik secara keseluruhan maupun sebagian dan/atau tidak sesuai dengan ketentuan...” Kemudian, UU tersebut dijabarkan dalam bentuk Peraturan Pemerintah yang dikenal dengan PP No. 29/2000 sebagaimana telah diubah menjadi PP No. 59/2010 tentang Pelaksanaan Jasa Konstruksi menyebutkan “Kegagalan bangunan merupakan keadaan bangunan yang tidak berfungsi baik secara keseluruhan maupun sebagian dari sisi teknis, manfaat,..” Namun, ditingkat operasional, seperti pada Peraturan Menteri No. 13/PRT/M/2011, kegagalan bangunan belum dirumuskan secara jelas.

Wardhana and Hadipriyono (2003) menyebutkan bahwa kegagalan adalah ketidakmampuan fasilitas atau komponennya sesuai dengan desain atau persyaratan yang mengakibatkan keruntuhan atau tidak aman. Pada definisi ini, kegagalan memiliki 2 dampak yang mungkin yaitu runtuh sebagai konsekuensi kegagalan struktur atau tidak aman sebagai konsekuensi ikutan kegagalan struktur. Bangunan runtuh dipastikan tidak dapat berfungsi, sementara bangunan tidak aman digunakan dapat dimaknai bangunan tidak kuat lagi, artinya sangat berpotensi untuk runtuh. Definisi kegagalan ini memberi kontribusi dalam membangun variabel operasional kegagalan terkait dengan perkerasan jalan seperti kegagalan struktur dan kegagalan fungsional. Peapegem dan Degrieck (2003), mengemukakan bahwa peristiwa gagal terjadi jika $R = 1$, yaitu kemampuan aktual sama dengan kemampuan minimum. Sementara Faber *et al.* (2004) mengungkapkan, kegagalan struktur terjadi ketika beban yang ada melebihi kemampuan struktur.

Pendapat lain menyebutkan, kinerja bangunan < 40 adalah kategori gagal; skala 0 = terburuk, dan 100 terbaik (Shohet, 2006). Sementara Hayden (2007) mengatakan kegagalan dapat diartikan sebagai tidak tercapainya tujuan utama dari stakeholder pada sebuah proyek. Pendapat Hayden (2007) dianggap kurang tepat diterapkan karena berfokus pada proyek sementara kegagalan perkerasan jalan berfokus pada pasca proyek atau pengoperasian. Pada bagian lain, Douglas dan Ransom (2007) menyebutkan kegagalan bangunan terjadi ketika bangunan mengalami kehilangan kemampuan untuk bekerja sebagaimana dimaksudkan (desain). Pendapat Douglas dan Ransom (2007) sangat berpeluang diterapkan dalam mengkonstruksi kegagalan perkerasan jalan, alasannya adalah ada pernyataan yang jelas antara kehilangan kemampuan dan ketentuan rencana/desain. Sedangkan menurut Park *et al.* (2007), kegagalan struktur menggambarkan ketidakmampuan struktur perkerasan jalan memikul beban kendaraan. Kegagalan fungsional menggambarkan ketidakmampuan struktur perkerasan jalan memberikan layanan sebagaimana diinginkan: menyebabkan ketidaknyamanan pengendara, atau menyebabkan kendaraan kesulitan karena kekasaran jalan melebihi batas. Terkait

perkerasan jalan, $PCI < 10$ adalah kategori gagal, di mana PCI merupakan fungsi dari IRI. Sementara $PCI < 10$ adalah kategori perkerasan jalan gagal di mana PCI adalah fungsi dari kerusakan permukaan jalan, seperti retak, lobang, alur dan kerusakan lainnya (US Army, 1982, 2001).

Selain definisi/kriteria gagal/kegagalan menurut beberapa pendapat tersebut di atas, terdapat beberapa definisi gagal atau kegagalan menurut arti kata tata bahasa. Pada Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI, 2009), kegagalan adalah keadaan yang tidak berhasil: tidak tercapai (maksudnya). Sedangkan menurut Merriam-Wenster Dictionary, kegagalan adalah: ketidak berhasilan mencapai tujuan yang diharapkan; ketidak mampuan untuk melakukan sebuah fungsi yang normal. Pada bagian lain disebutkan kegagalan adalah ketidakmampuan berfungsi atau bekerja secara memuaskan (Stedman's Medical Dictionary, 2002).

Pendapat lain mengatakan kegagalan adalah ketidakmampuan sebuah sistem atau subsistem untuk berfungsi sebagaimana disyaratkan dalam batasan spesifikasi (Denis Howe, 2010). Menurut Wang and Li (2010), kegagalan adalah situasi yang berbahaya. Kriteria gagal ini juga terdapat pada British Standard/BS-7543 yang menyebutkan bahwa salah satu kriteria gagal adalah membahayakan (Flores-Colen *et al.*, 2010). Secara operasional, Japan Society of Civil Engineering (JSCE, 2010) menyebutkan untuk suatu keamanan, rasio (R) antara kapasitas dan beban kerja harus lebih besar dari 1, artinya $R = 1$ adalah kondisi kritis dan $R < 1$ akan terjadi kegagalan. Terakhir, Macarulla *et.al.* (2013) menyebutkan kegagalan adalah ketidaksesuaian dengan persyaratan atau spesifikasi.

Selain pandangan terhadap kegagalan, juga penting dipelajari metode evaluasi perkerasan jalan. Beberapa metode evaluasi perkerasan jalan dapat dirangkum sebagaimana pada **Tabel 2-33**.

Tabel 2-33. Road Map Metode Evaluasi Perkerasan Jalan

Penulis/acuan	Metode penilaian	Komentar
Hudson <i>et al.</i> (1987)	$PSI = 5,03 - 1,09 \log(1+SV) + 0,01(C+P)^{1/2} - 1,38R^2$	Penilaian kemampuan layan jalan berdasarkan kondisi permukaan jalan, kurang mampu menggambarkan kemampuan struktur perkerasan jalan
US Army (1982, 2001); Suswandi <i>et al.</i> (2008); Gharaibeh <i>et al.</i> (2010)	$PCI = 100 - CDV$	Evaluasi perkerasan jalan berdasarkan kondisi permukaan seperti retak, lobang, alur dan kerusakan permukaan lainnya.
Park <i>et al.</i> (2007)	$PCI = 100 IRI^{(-0,436)}$	Evaluasi perkerasan jalan dengan mengandalkan tingkat kerataan permukaan
Gabr <i>et al.</i> (2000)	$\log(CBR) = 1,4 - 0,55 \log(DCP)$	Hubungan antara CBR dan DCP
DPU (2013)	$\log(CBR) = 2,81 - 1,307 \log(DCP)$	Hubungan antara CBR dan DCP
Jimenez dan Mrawira (2009)	$PCI = 0,60SAI + 0,40PRI$	Evaluasi kondisi perkerasan jalan secara terintegrasi antara fungsional dan struktural
Aquiar-Moya <i>et al.</i> (2011)	$RCI = 10e^{(-0,26IRI)}$	Evaluasi perkerasan jalan berdasarkan kerataan permukaan jalan

Tabel 2-33. Road Map Metode Evaluasi Perkerasan Jalan (Lanjutan)

Penulis/acuan	Metode penilaian	Komentar
Bryce <i>et al.</i> (2013); Chi <i>et al.</i> (2013, 2014)	$SCI = \frac{SN_{ef}}{SN_{req}}$	Evaluasi kemampuan struktur dengan membandingkannya dengan kemampuan yang disyaratkan
MassHigway (2006)	$SN_{ef} = \sum_{i=1}^n SN_{ef(i)} = \sum_{i=1}^n (a_{efi} \times D_i)$	Evaluasi kemampuan struktur efektif
Santos dan Ferreira (2012)	$SN = \sum_{n=1}^N H_n \times C_n^e \times C_n^d$	Evaluasi kemampuan struktur
Bryce <i>et al.</i> (2013)	$SN_{ef} = k1 \times FWD^{k2} \times Hp^{k3}$	Evaluasi kemampuan struktur efektif berdasarkan lendutan

2.6.2 Findings

Berdasarkan road map penelitian dapat dirangkum:

1. Kegagalan adalah keadaan yang tidak mencapai tujuan yang ditetapkan; ketidakberhasilan mencapai tujuan yang diharapkan.
2. Kegagalan perkerasan jalan adalah penurunan kemampuan hingga di bawah batas penerimaan minimum. Dalam sistem perencanaan perkerasan lentur, kehilangan maksimum layanan ($\Delta PSI = PSI_0 - PSI_T$) sudah ditentukan. Nilai ΔPSI sangat menentukan kebutuhan minimum kekuatan perkerasan jalan atau kebutuhan syarat ($SN_{req.}$) sebagaimana dapat dilihat pada **Gambar 2-18**. **Gambar 2-18** dapat memperlihatkan bahwa SN efektif adalah relevan digunakan untuk menjelaskan kemampuan layan PSI yang pada prakteknya, PSI secara umum ditentukan oleh IRI dan retak-retak, lobang, dan alur, dan belum ada penilaian PSI yang mengkorelasikan secara langsung dengan $SN_{req.}$ Oleh karena itu PSI perlu dievaluasi menggunakan kemampuan layan fungsional dan struktural.
3. Secara teoritis, bentuk-bentuk kriteria gagal yang dianggap dapat diterapkan untuk mengevaluasi perkerasan jalan adalah kemampuan struktur berada di bawah kemampuan minimum rencana, runtuh, sangat tidak nyaman digunakan, tidak aman/membahayakan digunakan, dan biaya perbaikan sangat tinggi.
4. Dalam prakteknya, ukuran gagal pada perkerasan jalan adalah $PCI < 10$, dan ukuran gagal lainnya adalah $R < 1$, yaitu suatu ukuran gagal terkait kemampuan struktur.
5. Pada sistem kategori kondisi perkerasan yang ada sebagaimana dirangkum pada **Tabel 2.34**, secara umum PCI dan PSI dijelaskan oleh IRI dan/atau retak, lobang, alur, dan kerusakan-kerusakan permukaan perkerasan lainnya, dan tidak ada yang mewakili variabel SN sebagai representasi PSI. Dengan demikian kategori gagal yang ada dianggap kurang komprehensif

karena variabel penjelasnya kurang lengkap dan landasan kategori gagal kurang memiliki acuan.

6. Untuk menghindari kriteria gagal yang multi tafsir, maka konsep kegagalan pada perkerasan jalan dikonstruksi menggunakan ontologi kegagalan, yaitu konsep kegagalan yang dibangun berdasarkan pengertian kata menurut tata bahasa (*first order logic*-FOL). Berdasarkan arti kata secara tata bahasa, aksioma kegagalan adalah keadaan tidak berhasil mencapai tujuan. Di dalam prinsip ontologi, FOL menjadi pedoman utama dalam menyusun suatu konsep.

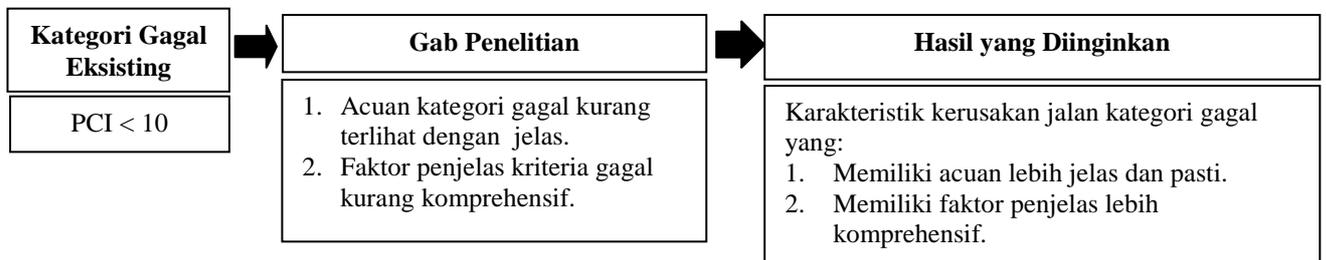
2.6.3 Gap Penelitian

Jika kegagalan dimaknai secara semantik, maka kegagalan adalah keadaan tidak berhasil mencapai tujuan. Dalam konteks “keadaan tidak berhasil mencapai tujuan”, kegagalan dapat digambarkan oleh capaian terhadap target. Apabila kegagalan dikaitkan dengan perkerasan jalan, maka dari aspek perencanaan yang menjadi tujuan suatu perkerasan jalan adalah keadaan aman dan nyaman digunakan, dan perkerasan jalan kuat hingga umur rencananya. Dengan demikian, aman dan nyaman adalah menjadi indikator fungsional dan struktur kuat adalah indikator kemampuan struktur perkerasan jalan. Menurut beberapa literatur, penilaian kondisi perkerasan jalan akan lebih komprehensif apabila aspek fungsional dan strukturalnya diintegrasikan. Persoalannya adalah bagaimana cara mengetahui bahwa capaian sudah sesuai target. Di dalam perencanaan perkerasan jalan, instrument yang dapat digunakan sebagai target minimum yang harus dipenuhi adalah layanan terminal yang dikenal dengan terminal *present serviceability index* (PSI_T). Dengan demikian, untuk mengetahui perkerasan jalan gagal atau tidak dapat diukur dari capaian atau *present serviceability index* (PSI) dan PSI_T , di mana perkerasan jalan kategori gagal ketika PSI tidak mencapai PSI_T ($PSI < PSI_T$).

Prinsip tersebut di atas belum terlihat pada ukuran kategori gagal menurut referensi yang sudah ada, yaitu $PCI < 10$, akibatnya kategori gagal tersebut ($PCI < 10$) menjadi *debatable*. Selain itu, penggunaan kategori gagal $PCI < 10$ dianggap kurang mencerminkan prinsip utama gagal secara komprehensif. Penilaian akan lebih komprehensif apabila mempertimbangkan aspek fungsional dan struktural (Bryce *et al.*, 2013; Elseife *et al.*, 2013; Mariani *et al.*, 2012), sementara PCI adalah representasi kemampuan fungsional perkerasan jalan (Bennett *et al.* 2007; Park *et al.*, 2007; Sukirman, 1992). Memang, Jimenez dan Mrawira (2009) pada penelitiannya di Costa Rica menentukan PCI sebagai gambaran kemampuan fungsional dan struktural perkerasan jalan dengan faktor penjelas variabel IRI dan FWD secara bersamaan atau terintegrasi. Namun, pada evaluasi tersebut tidak terlihat evaluasi capaian target, hasil penelitiannya hanya membuat rekomendasi jenis penanganan berdasarkan nilai PCI, peningkatan nilai kondisi PCI berdasarkan jenis penanganan, dan besarnya biaya per kilo meter tiap jenis penanganan. Namun

demikian, dalam konteks penelitian ini, formula yang digunakan Jimenez dan Mrawira (2009) sangat bermanfaat sebagai petunjuk metode evaluasi kondisi perkerasan jalan yang mengintegrasikan kemampuan fungsional dan struktural perkerasan jalan.

Uraian tersebut di atas secara tegas menunjukkan bahwa perkerasan jalan kategori gagal yang ada saat ini, yaitu $PCI < 10$ perlu dikembangkan agar acuannya lebih jelas dan pasti, dan variable penilaian kemampuan perkerasan jalan lebih komprehensif. Dengan demikian, gap penelitian ini adalah acuan kriteria gagal eksisting belum terlihat secara jelas, dan faktor penjelas kriteria gagal yang ada kurang komprehensif sebagaimana dapat dilihat pada **Gambar 2-26**.



Gambar 2-26. Kondisi Eksisting, Gap, dan Hasil Penelitian yang Diharapkan

Tabel 2-34. Metode Pengukuran, Indikator, dan Deskripsi Kondisi Perkerasan Jalan

No	Indikator	Skala	Deskripsi	Variabel bebas	Metode/alat pengukuran	Waktu yang dibutuhkan	Biaya yang diperlukan	Aspek yang diukur/ulasan singkat	Sumber
1	RCI	0-10	0-2= tidak dapat dilewati 2-3= rusak berat 3-4= rusak bergelombang 4-5= agak rusak 5-6= cukup 6-7= baik 7-8= sangat baik 8-10= sangat rata dan teratur	Retak, lobang, ketidakrataan permukaan (IRI)	Pengamatan langsung di lapangan	Relatif cepat	Relatif murah	Aspek fungsional/ulasan singkat	Permen PU No. 13/PRT/M/2011
		0-10	5.74 ≤RCI<10 = baik 3.94 ≤RCI<5.69 = sedang 3.27 ≤RCI<3.91 = rusak ringan RCI<3.24= rusak berat	Retak, lobang, ketidakrataan permukaan (IRI)	Pengamatan langsung di lapangan	Relatif cepat	Relatif murah	Aspek fungsional/ulasan singkat	Permen PU No. 13/PRT/M/2011
2	PCI = 100-CDV	0-100	80-100= sangat baik 60-80= baik 40-60= sedang 20-40= buruk 0-20= sangat buruk	Retak, lobang, alur, dan kerusakan permukaan lainnya	Pengukuran langsung di lapangan	Relatif sedang	Relatif sedang	aspek struktural yang mempengaruhi aspek fungsional (Bennett et al., 2007; Sukirman, 1992)	Hudson at al. (1987)
		0-100	85-100 = excellent 70-85 = very good 55-70 = good 40-55 = fair 25-40 = poor 10-25 =very poor <10 = failed	Retak, lobang, alur, dan kerusakan permukaan lainnya	Pengukuran langsung di lapangan menggunakan meteran	Relatif sedang	Relatif sedang	aspek struktural yang mempengaruhi aspek fungsional (Bennett et al., 2007; Sukirman, 1992)	US Army (1982; 2001)
3	PCI =K1 (IRI) ^{K2}	0-100	85-100 = excellent 70-85 = very good 55-70 = good 40-55 = fair 25-40 = poor 10-25 =very poor <10 = failed	IRI	NASRA	Relatif cepat	Relatif murah	Aspek fungsional	Park et al. (2007)
4	PSI = 5,03 – 1,09 log (1 + SV) – 0,01√(C + P) – 1,38 (RD) ²	0-5	4-5 = sangat baik 3-4 = baik 2-3 = sedang 1-2 = buruk 0-1 = sangat buruk	IRI, retak, tambalan, alur	NASRA, dan pengukuran langsung dilapangan menggunakan meteran	relatif lama	relatif mahal	aspek fungsional	Hudson et al. (1987)

Tabel 2-34. Metode Pengukuran, Indikator, dan Deskripsi Kondisi Perkerasan Jalan (Lanjutan)

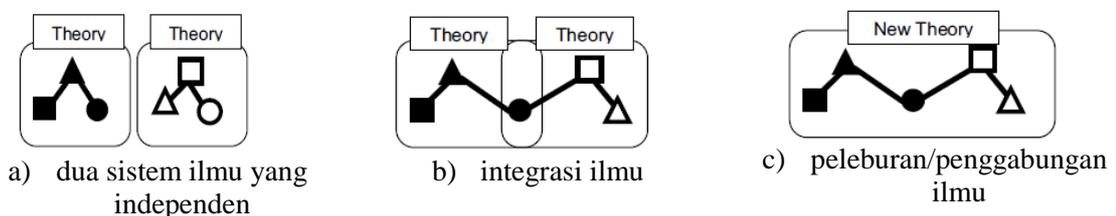
No	Indikator	Skala	Deskripsi	Variabel bebas	Metode/alat pengukuran	Waktu yang dibutuhkan	Biaya yang diperlukan	Aspek yang diukur/ulasan singkat	Sumber
5	$PCI = a_1SAI + a_2PRI$		70-100 = very good 50-70 = goog 30-50 = poor 0-30 = very poor	SAI menggunakan FWD, dan RRI menggunakan IRI	NASRA untuk IRI dan FWD untuk SAI	Relatif sedang, karena ada 2 alat yang harus dioperasikan	Relatif sedang, karena ada 2 peralatan yang dioperasikan	Aspek fungsional, dan aspek kekuatan struktur perkerasan secara menyeluruh	Jimenez dan Mrawira (2009)
6	$SN_{ef}^n = \sum_{i=1}^n SN_{ef(i)}$ $= \sum_{i=1}^n (a_{efi} \times D_i)$	0-10	0= hancur 10 = sangat kuat	koefisien kekuatan relatif lapisan (a) dan ketebalan lapisan (D)	Destruktif (DCP)	Relatif sedang	Relatif sedang	Aspek struktur perkerasan jalan secara berlapis	MassHighway (2006); Garber dan Hoel (2002)
					Non-destructive (FWD)	Relatif cepat	Relatif murah	Aspek struktur perkerasan jalan seluruh lapisan (total)	Garber dan Hoel (2002)
7	$SCI = \frac{SN_{ef}}{SN_{req}}$	0-3	>-1 = tidak gagal 1 = kritis <1 = gagal	SN ef dan SN req. atau minimum	SNef diperoleh melalui destructive atau non destructive test, SNreq. diperoleh dari dokumen rencana	relatif sedang	relatif sedang	Aspek struktur	Bryce et al. (2013); Chi et al. (2013, 2014)

2.6.4 Landasan Teori Penelitian

Beberapa teori yang dapat digunakan untuk merumuskan karakteristik kerusakan jalan kategori gagal (KKJKG) dapat dikelompokkan menjadi 3 bagian, yaitu:

- (1). Teori yang menguraikan domain aksioma dan taksonomi kegagalan,
 - (2). Teori yang dapat menjelaskan aplikasi aksioma dan taksonomi kegagalan, dan
 - (3). Teori yang menjelaskan aplikasi hubungan antara domain aksioma dan taksonomi kegagalan.
- 1) Teori yang menguraikan domain aksioma dan taksonomi kegagalan: definisi gagal dan kegagalan secara semantik atau pengertian gagal dan kegagalan menurut pengertian pertama tata bahasa (*first order logic*) (**Tabel 2-30**; Noon, 2009; Keminetzky, 1991 *cite*. Yates dan Lockley, 2002 dan Tumilar, 2006).
 - 2) Teori yang dapat menjelaskan aplikasi aksioma dan taksonomi kegagalan:
 - a) Indikator kemampuan fungsional perkerasan jalan:
 - a. Keamanan dan kenyamanan yang dirasakan si pengendara kendaraan dapat dipandang sebagai ukuran fungsional jalan (Bennett *et al.*, 2007; Park *et al.*, 2007; Li, 2004; Garber dan Hoel, 2002; dan Sukirman, 1992),
 - b. Ukuran pelayanan ditentukan kualitas layan (*service quality*) yang diukur dengan 5 dimensi (Aryani dan Rosinta, 2010), yaitu:
 1. *Tangible*,
 2. *Empathy*,
 3. *Reliability*,
 4. *Responsiveness*,
 5. *Assurance*.
 - c. Fungsi layan jalan dapat dijelaskan oleh tingkat kepuasan berkendara (*ride comfort*) (Yang *et al.*, 2009; Falou *et al.*, 2003; Uys *et al.*, 2007; Els, 2005; Corriere dan Vincenzo, 2012),
 - b) Definisi kekuatan struktur perkerasan jalan (Bryce *et al.*, 2013; Douglas dan Ransom, 2007; Li, 2004; Garber dan Hoel, 2002),
 - c) Kategori kegagalan fungsional perkerasan jalan (US Army, 1982, 2001; Park *et al.*, 2007),
 - d) Kategori umum kegagalan struktur (Hudson *et al.*, 1987; Faber *et al.*, 2004, JSCE, 2010).

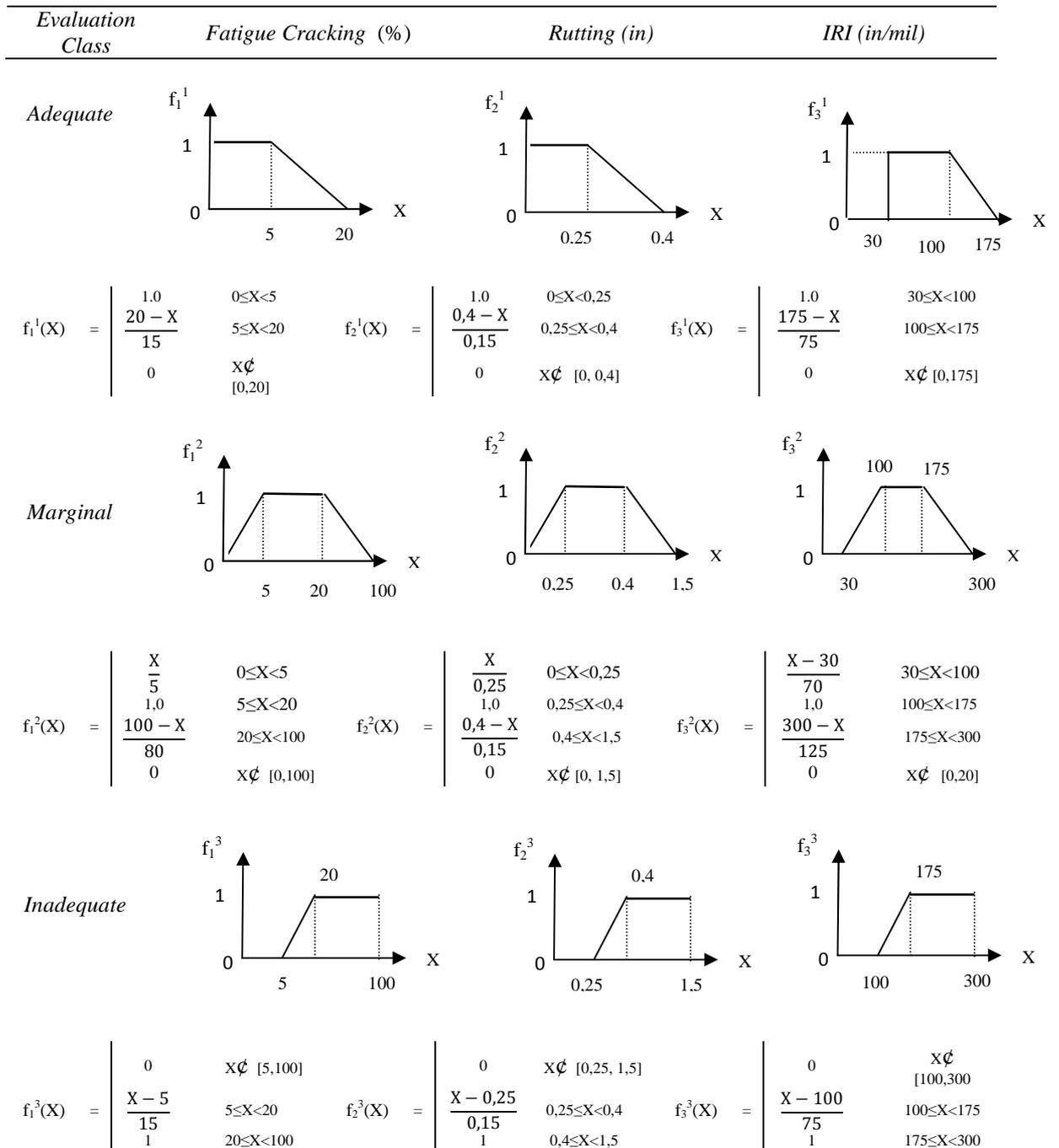
- 3) Teori yang menjelaskan aplikasi hubungan antara domain aksioma dan taksonomi kegagalan:
- Metode evaluasi fungsional perkerasan jalan dengan menggunakan indikator PCI (US Army, 1982, 2001; AASHTO 1993),
 - Metode evaluasi kekuatan efektif struktural perkerasan jalan snef (mashighway, 2006),
 - Metode evaluasi kekuatan struktur perkerasan jalan dengan indikator SCI (Bryce *et al.*, 2013; Chi *et al.*, 2014, 2013),
 - Metode penentuan kemampuan layan perkerasan jalan sebagai fungsi dari kerataan perkerasan jalan dan kerusakan permukaan (Hudson *et al.*, 1987). Selain itu, Hudson *et al.* (1987) juga membuat suatu perbandingan antara PSI (dalam skala 0-5) dan PCI (dalam skala 0-100) sebagaimana pada **Gambar 2-14**,
 - H. Elmaraghy dan W. Elmaraghy (2006) menyebutkan bahwa dalam mendesain perlu mengintegrasikan pengetahuan terkait “*product’s life cycle*”. Pada penelitian ini, *product’s life cycle* dipandang sebagai manfaat jalan (*outcome*) selama umur layannya yang dapat diukur dari layanan jalan (*present serviceability index*, PSI) (Macarulla *et al.*, 2013). Dalam konteks optimasi sistem, *outcome* yang mengacu pada perencanaan perlu dievaluasi. Pada penelitian ini, *outcome* pengelolaan jalan dievaluasi dengan mengintegrasikan faktor fungsional dan struktural jalan. Adapun metode pengintegrasian pengetahuan dapat dilihat pada **Gambar 2-27** (H. Elmaraghy dan W. Elmaraghy, 2006),
 - Metode penggabungan penilaian fungsional dan struktural perkerasan jalan (Jimenez dan Mrawira, 2009), dan
 - Metode normalisasi satuan-satuan ukuran kerusakan perkerasan jalan kedalam satuan indeks sebagaimana dapat dilihat pada **Gambar 2-.28** (Wang dan Li, 2010).



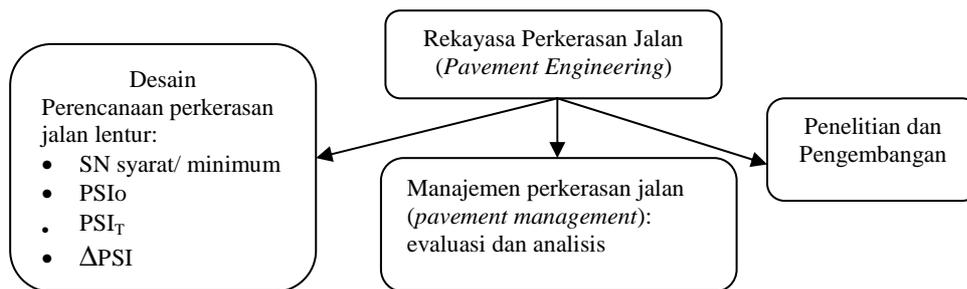
Gambar 2-27. Konsep Pengintegrasian Ilmu (H. ElMaraghy dan W. ElMaraghy, 2006)

Dalam kaitannya dengan pembentukan karakteristik kerusakan jalan kategori gagal, ilmu yang perlu diintegrasikan dan digabung adalah: 1) ilmu perencanaan: pemahaman terhadap variabel-variabel dasar-dasar perencanaan jalan, seperti: layanan awal dan layanan terminal, *structural number* perkerasan jalan dan yang lain, dan 2) ilmu manajemen perkerasan jalan:

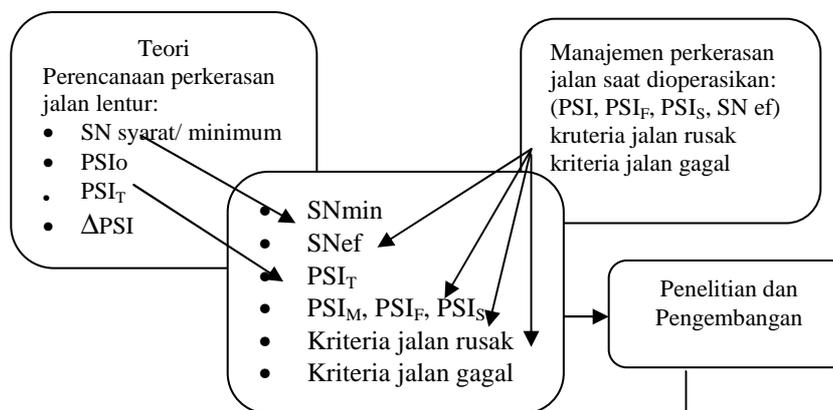
interpretasi layanan dalam realitas pengoperasian jalan, seperti layanan fungsional dan struktural, dan analisis kerusakan jalan dan kriteria jalan gagal. Adapun penggabungan ke dua ilmu pokok tersebut dapat dilihat pada **Gambar 2-29**. Yang menjadi tantangan penelitian ini adalah bagaimana mengintegrasikan teori yang ada untuk membangun karakteristik kerusakan jalan kategori gagal yang lebih komprehensif.



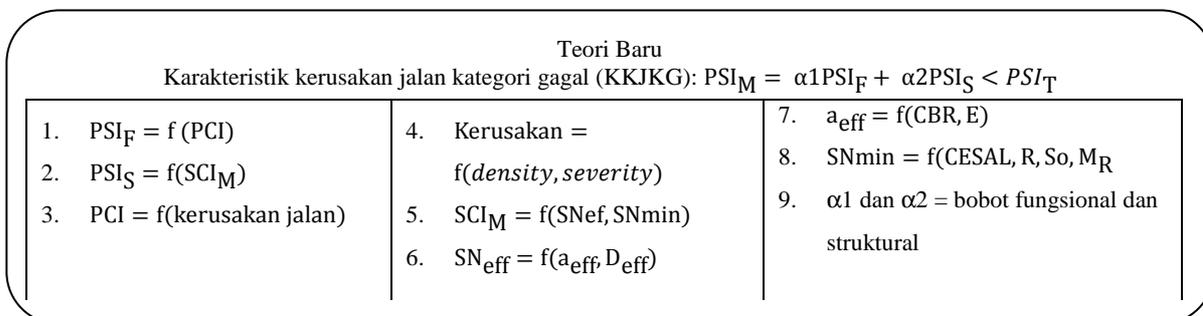
Gambar 2-28. Fungsi Bobot *Whitenization* Penilaian Kinerja Perkerasan (Wang dan Li, 2010)



a) Dua Teori Independent dalam Pengembangan Evaluasi Perkerasan Jalan



b) Dua Teori Berintegrasi



c) Penggabungan Teori

Gambar 2-29. Pengintegrasian Teori yang Diusulkan

2.7 Kerangka Pikir Penelitian

Pada penelitian ini, karakteristik kerusakan jalan kategori gagal (KKJKG) dikonstruksi berdasarkan ontologi kegagalan perkerasan jalan. Pendekatan ontologi dapat memberikan sebuah mekanisme untuk mengkategorikan/mengklasifikasikan domain ilmu/informasi menjadi konsep yang saling terkait. Prinsip ontologi adalah membangun informasi dalam bentuk hierarki konsep: taksonomi (*taxonomy*), aksioma (*axiom*), dan hubungan menurut arti kata (*semantic relationship*). Pada ontologi kegagalan, kegagalan dikonstruksi dengan mengandalkan arti kata

asli “kegagalan” yang dihadirkan dalam sebuah bentuk yang jelas untuk dapat diaplikasikan. Konstruksi ontologi kegagalan terdiri dari 3 level, yaitu:

- 1) Level domain,
- 2) Level aplikasi, dan
- 3) Level pengguna.

Masing-masing level terdiri dari aksioma atau batasan, taksonomi atau bentuk kegagalan secara praktis, dan hubungan antara aksioma dan taksonomi sebagaimana dapat dilihat pada **Gambar 2-30**.

2.7.1 Level Domain Kegagalan

Domain kegagalan terkait: aksioma, taksonomi, dan hubungan antara aksioma dan taksonomi kegagalan.

- 1) Domain aksioma kegagalan

Pada penelitian ini, yang menjadi aksioma kegagalan adalah “keadaan tidak berhasil mencapai tujuan minimum yang ditetapkan”. Dalam konteks perkerasan jalan, aksioma ini sangat sesuai digunakan karena di dalam setiap perencanaan struktur perkerasan jalan selalu ada batasan minimum yang ditentukan yang direpresentasikan oleh layanan terminal PSI_T (*terminal present serviceability index*). Variabel PSI_T hampir tidak pernah dimanfaatkan di dalam mengontrol PSI (*present serviceability index*) perkerasan jalan. Dengan adanya batasan minimal yang jelas maka hasil yang ada dapat dibandingkan apakah mencapai target minimal atau tidak. Ketika batasan minimal tidak tercapai atau kemampuan perkerasan jalan turun hingga di bawah batas penerimaan minimum yang sudah ditentukan, maka keadaan tersebut dapat dikelompokkan ke dalam keadaan tidak berhasil mencapai tujuan minimum yang ditetapkan dan dikategorikan gagal.

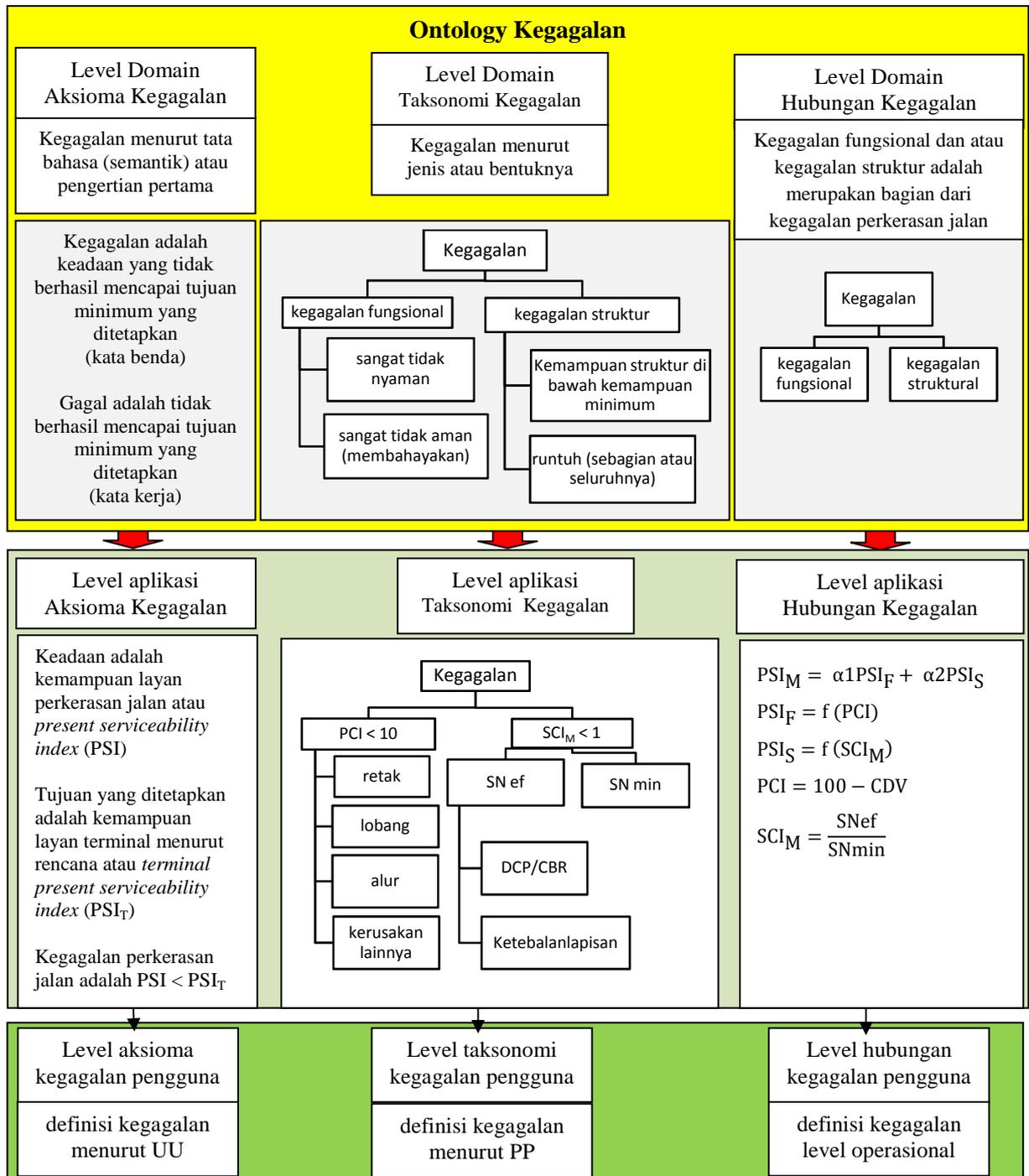
- 2) Domain taksonomi kegagalan

Taksonomi kegagalan perkerasan jalan dapat dikelompokkan menjadi:

- a) Kegagalan fungsional: sangat tidak aman dan sangat tidak nyaman digunakan.
- b) Kegagalan struktur: kemampuan struktur yang ada berada di bawah kemampuan struktur minimum, dan runtuh.
- c) Biaya perbaikan sangat tinggi.

- 3) Domain hubungan antara aksioma dan taksonomi kegagalan

Kegagalan fungsional dan/atau kegagalan struktural adalah merupakan bagian dari kegagalan layanan perkerasan jalan.



Gambar 2-30. Konstruksi *Ontology* Kegagalan pada Perkerasan Jalan

2.7.2 Level Aplikasi Kegagalan

Aplikasi kegagalan terdiri dari: aplikasi aksioma, aplikasi taksonomi, dan aplikasi hubungan antara aksioma dan taksonomi kegagalan.

1) Aplikasi aksioma kegagalan

Untuk menghindari pengertian yang multi tafsir terkait kegagalan perkerasan jalan, maka kegagalan perkerasan jalan dikonstruksi menggunakan ontologi kegagalan, yaitu suatu konsep yang mengandalkan pengertian kata pertama. Secara tata bahasa, kegagalan adalah keadaan tidak berhasil mencapai tujuan minimum yang ditetapkan. Dalam perencanaan perkerasan jalan, tujuan minimum yang ditetapkan adalah layanan terminal (PSI_T) yang direncanakan terjadi di akhir umur rencana, sementara layanan terbaik perkerasan jalan dinyatakan dalam PSI_0 , yaitu layanan perkerasan jalan sesaat baru dioperasikan. Kemampuan layanan perkerasan jalan PSI pada waktu tertentu PSI akan menurun dengan bertambahnya waktu pengoperasiannya, dan PSI akan sama dengan PSI_T pada akhir umur rencana. Dengan demikian perkerasan jalan yang memiliki PSI lebih rendah dari PSI_T ($PSI < PSI_T$) sepanjang periode umur rencana adalah kategori gagal.

2) Aplikasi taksonomi kegagalan

Perkerasan jalan yang mengalami kegagalan fungsional yaitu sangat tidak nyaman dan sangat tidak aman digunakan digambarkan oleh indeks kondisi permukaan dengan nilai $PCI < 10$. Sementara perkerasan jalan mengalami kegagalan struktur, yaitu kemampuan struktur yang ada berada di bawah kemampuan struktur minimum, dan runtuh digambarkan oleh nilai kekuatan efektif struktur (SN_{eff}) lebih rendah dari nilai struktur minimumnya (SN_{min}). SN_{eff} diperoleh secara destruktif melalui core aspal dan uji kepadatan menggunakan alat DCP (*dynamic cone penetrometer*), sementara SN_{min} adalah mengadopsi prinsip SN syarat ($SN_{req.}$) sebagaimana dimaksudkan dalam perencanaan perkerasan lentur (AASHTO, 1993). Dengan diketahuinya SN_{eff} dan SN_{min} , maka akan didapat suatu nilai perbandingan antara SN_{eff} dan SN_{min} yang disebut dengan SCI modifikasi (SCI_M). Dengan menggunakan indikator SN_{eff} , SN_{min} , maka $SN_{eff} < SN_{min}$ dikategorikan gagal, dengan demikian $SCI_M < 1$ adalah kategori gagal struktur.

3) Aplikasi hubungan antara aplikasi aksioma dan taksonomi kegagalan

Adapun hubungan antara aksioma dan taksonomi kegagalan perkerasan jalan dinyatakan dalam Persamaan 2.34 dan Persamaan 2.35.

$$PSI_M = \alpha_1 PSI_F + \alpha_2 PSI_S \quad (2.34)$$

$$PSI_M \begin{cases} > PSI_T : & \text{tidak gagal} \\ = PSI_T : & \text{kritis} \\ < PSI_T : & \text{gagal} \end{cases} \quad (2.35)$$

di mana: PSI_M adalah kemampuan layan perkerasan jalan modifikasi dari PSI, yaitu PSI terintegrasi antara PSI_F dan PSI_S . PSI_F dan PSI_S masing-masing merupakan fungsi dari PCI dan SCI_M sebagaimana pada Persamaan 2.36 dan Persamaan 2.37:

$$PSI_F = f(\text{PCI yang dinormalisasi}) \quad (2.36)$$

$$PSI_S = f(\text{SCI}_M \text{ yang dinormalisasi}) \quad (2.37)$$

di mana:

$$SCI_M = \frac{SN \text{ eff.}}{SN \text{ min.}} \quad (2.38)$$

di mana:

- PSI_F = layanan fungsional perkerasan jalan hasil normalisasi PCI
- PSI_S = kemampuan layan struktur perkerasan jalan hasil normalisasi SCI_M
- PCI = indeks kondisi permukaan jalan (*pavement condition index*) ditentukan berdasarkan Persamaan 2.12
- SCI_M = indeks kemampuan struktur perkerasan jalan (*structural condition index*) modifikasi terhadap Persamaan 2.31, di mana SNreq diganti dengan SN min.
- CDV = faktor pengurangan terhadap nilai kerusakan (*corrective deduct value*)
- SNef = nilai struktur efektif perkerasan jalan (*effective structural number*) ditentukan berdasarkan Persamaan 2.23.
- SNmin. = nilai struktur minimum perkerasan jalan (*minimum structural number*) diperoleh berdasarkan dokumen perencanaan perkerasan jalan yang dievaluasi
- aef(i) = koefisien kekuatan relatif perkerasan perkerasan jalan lapisan ke-i
- Dakt(i) = ketebalan perkerasan jalan aktual lapisan ke -i (hasil pengukuran)
- α_1, α_2 = masing-masing adalah bobot fungsional dan struktural perkerasan jalan

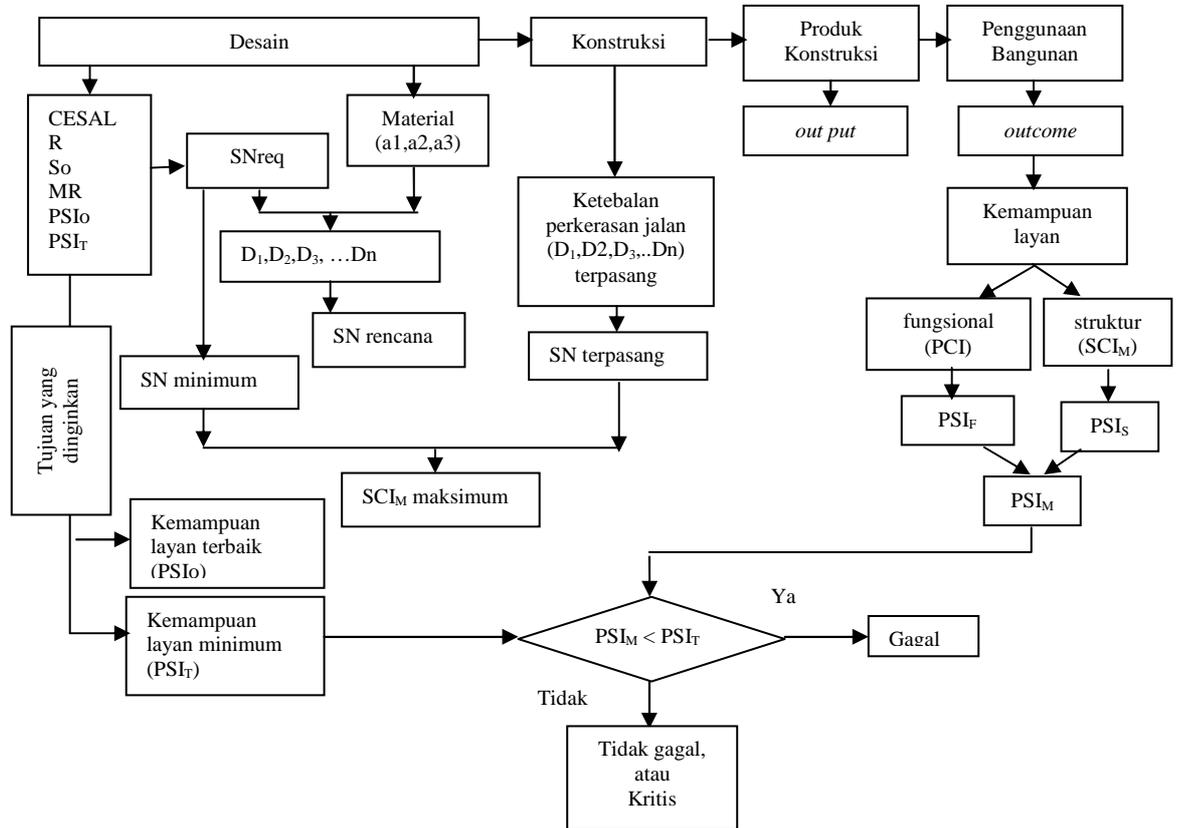
Pada penelitian ini, PCI memiliki skala 0-100: skala 0 adalah kondisi terburuk dan 100 adalah kondisi terbaik. Sementara SCI_M memiliki skala terburuk 0 dan skala terbesar akan ditentukan berdasarkan data perencanaan yang sudah pernah ada. Besaran α_1 dan α_2 akan ditentukan berdasarkan hasil verifikasi taksonomi kegagalan perkerasan jalan menggunakan ekspert.

2.7.3 Level Kegagalan Menurut Pengguna

Aksioma kegagalan menurut pengguna adalah kegagalan menurut Undang-undang, taksonomi kegagalan menurut pengguna mengacu pada peraturan pemerintah, dan hubungan aksioma dan taksonomi kegagalan menurut pengguna mengacu pada peraturan operasional yang lebih rendah dari aturan sebelumnya.

2.7.4 Kerangka Berpikir Perkerasan Jalan Kategori Gagal

Dari uraian tersebut di atas dapat dirangkumkan sistem berpikir terhadap perkerasan jalan kategori gagal sebagaimana pada **Gambar 2-31**.



Gambar 2-31. Kerangka Pikir Perkerasan Jalan Kategori Gagal

2.7.5 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan literatur dan kerangka pikir penelitian, bentuk atau taksonomi kriteria gagal dapat teridentifikasi dan dianggap sesuai diterapkan untuk mengevaluasi perkerasan jalan, yaitu:

- 1) Kriteria kemampuan struktur berada di bawah kemampuan minimum
- 2) Kriteria runtuh
- 3) Kriteria sangat tidak nyaman untuk digunakan
- 4) Kriteria sangat tidak aman/membahayakan untuk digunakan
- 5) Kriteria biaya perbaikan yang diperlukan sangat tinggi

Untuk memastikan kriteria gagal yang telah teridentifikasi, dilakukan uji signifikansi persetujuan pakar atau ekspert. Dengan demikian, hipotesis penelitian yang diajukan adalah:

- 1) H1-1: Kriteria kemampuan struktur berada di bawah kemampuan minimum adalah signifikan digunakan sebagai kriteria gagal pada perkerasan jalan
- 2) H2-1: Kriteria runtuh adalah signifikan digunakan sebagai kriteria gagal pada perkerasan jalan
- 3) H3-1: Kriteria sangat tidak nyaman untuk digunakan adalah signifikan digunakan sebagai kriteria gagal pada perkerasan jalan
- 4) H4-1: Kriteria sangat tidak aman/membahayakan untuk digunakan adalah signifikan digunakan sebagai kriteria gagal pada perkerasan jalan
- 5) H5-1: Kriteria biaya perbaikan yang sangat tinggi adalah signifikan digunakan sebagai kriteria gagal pada perkerasan jalan

Setelah diperoleh kriteria gagal yang signifikan disetujui oleh eksperet dan valid, selanjutnya komposisi bobot aspek fungsional (α_1) dan struktural (α_2) dalam mengevaluasi perkerasan jalan dapat dilakukan. Dengan didapatkannya α_1 dan α_2 , maka Persamaan 2.34 dapat dioperasikan untuk mengidentifikasi PSI_M kategori gagal ($PSI_M < PSI_T$).